



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

DISSERTATION

Möglichkeiten des vermehrten Einsatzes nachwachsender Rohstoffe im Bauwesen in
Südosteuropa

*Perspektiven und Untersuchungen zum Einsatz von Holzspanbeton im Wohnbau vor
dem Hintergrund vergangener und aktueller Bauweisen im Kosovo und spezieller
Berücksichtigung von Kurzumtriebsplantagen mit Pappelholz*

**ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der technischen Wissenschaften unter der Leitung von**

Prof. DDI Wolfgang Winter

E 259 2 Abteilung für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau
Institut für Architekturwissenschaften

**eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung**

von

DI Xhemajli Haxhimustafa

9027731

Rr. Mithat Frasheri 155

50000 Gjakove

Kosovo

Wien, Mai 2018

Zusammenfassung

Natürliche Ressourcen, wie Holz, gewinnen wieder mehr an Aufmerksamkeit, auch in Südeuropa. Es ist nicht immer einfach, festgefahrene Erfahrungen und Meinungen mit aktuellen Forschungsergebnissen zu konfrontieren und so auch neue Baumaterialien mit Holzzuschlägen, wie Holzbeton oder Holzzement, zu stärken.

In der Vergangenheit vorhandenes altes Wissen über diese Materialien sollen mit neuen Informationen und Erkenntnissen verbunden werden und so zu neuen Lösungen für moderne Baumaterialien führen.

Die Arbeit beginnt mit Basisinformationen, politischen und kultureller Geschichte des Kosovo. Es werden die verschiedenen Einflüsse der Kulturen im Laufe der Zeit von architektonischer Perspektive dargestellt. In zeitlichen Abfolgen werden die illyrischen, griechischen, römischen, slawischen und schließlich osmanischen Einflüsse kurz umrissen, im Zeitraum von 2000 v.Chr. bis zum 19. Jahrhundert. Der Hauptfokus liegt dabei auf kurzen geschichtlichen Hintergrundinformationen und baulichen Spuren. Die dabei verwendeten Materialien und unterschiedlichen Baustile werden kurz zusammengefasst.

Die Entwicklung des Urbanismus vervollständigt diesen Überblick. Als zwei gegensätzliche Beispiele werden der „Turbourbanismus“ in Prishtina, wo diese Form des Urbanismus seit fast zwanzig Jahren ein Phänomen ist (Vöckler, 2008) und der Urbanismus in der alten Stadt Gjakova, wo die osmanischen Einflüsse und die noch immer starke Selbstbestimmung der Familieneinheiten die das heutige Stadtbild stark beeinflussen und mit Bildern dokumentiert wird. Besonderes Augenmerk wird auf die Entwicklung des Bauwesens im Kosovo ohne Architekten gelegt, welche zu Herausforderungen für die urbanistische und Umweltpolitik führt. Die Gründe für Bautätigkeiten ohne Struktur sind hauptsächlich im steigenden Bedarf für Wohnraum und kaum vorhandenen finanziellen Mitteln zu finden.

Die unterschiedlichen Siedlungsräume (urban, rural und gebirgig) werden mit einigen typischen Gebäuden dargestellt, sowie den verwendeten Baumaterialien.

Das Baumaterial „Tarolit“ wird beschrieben, die Produktion wird dargestellt, sowie noch existierende oder wiederverwertete Gebäude aus Tarolit werden gezeigt.

Vorzugsweise wurden Pappelspäne für Tarolit verwendet, dies wird unter anderem auch in der Dissertation von Schmitz (1968) nachgewiesen.

In Kapitel 3 wird Holzbeton von den Grundlagen her beschrieben und im Sinne dieser Arbeit werden alte und neuere Erkenntnisse und Fakten über Holzbeton zusammengestellt.

Die Forstwirtschaft im Kosovo und die Holzressourcen werden als Einstieg für eine mögliche Kurzumtriebsanlage im Kosovo vorgestellt. Es werden Aspekte hinsichtlich der Wirtschaft und theoretische Modelle der Fraktalen Fabrik besprochen. Als letzter Schritt in diesem Kapitel zur Wiederbelebung von Industrie im Kosovo, wird ein Kostenplan für eine Produktionsanlage für Holz-Beton-Verbundkonstruktionen und Holzbetonplatten erarbeitet.

In Kapitel 5 werden die Entwicklung und experimentelle Untersuchungen von Holz-Beton-Deckenelementen mit Holzleichtbetoneinlagen ausführlich dargestellt. Sieben Deckenelemente wurde mit unterschiedlichen Verbundarten auf ihre Biegesteifigkeit hin untersucht und bis zum Bruch belastet. Die Ergebnisse werden in Form von Diagrammen und Tabellen, sowie ausführlichen Bildern und Zeichnungen vorgestellt.

Ein Anwendungsbeispiel für die entwickelten Deckenelemente wird abschließend mit Schwerpunkt auf die Verbindungsdetails als Projekt vorgestellt. Es ist ein Holztragewerk mit zwei Geschossen und soll als Kindergarten dienen.

Die Arbeit endet mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick für dieses Handbuch, einem neuen Zugang zur Erweiterung des Horizonts im Bereich des Bauwesens und möglichen Investitionen in einem Gebiet voller Ressourcen.

Die Ergebnisse sollen weitere Impulse für nachfolgende Forschungen und Arbeiten liefern, vor allem, da die Balken eine Innovation sind und zur Erhöhung der Tragfähigkeit und Biegesteifigkeit führen.

Abstract

Natural resources, like wood, receives more again more attention also in southern europe. But it is not easy to weaken stucked experiences and opinions with actual research results and to strengthen new building materials with wood additives, like wood concrete or wood cement.

In the past there was quite advanced knowledge in wood processing, this to combine with new informations, shall lead to new solutions in the use of building materials.

The work starts with basic informations, political and cultural history of Kosovo. Here the influences of different culturers, mainly on the buildings and infrastructure in Kosovo. In temporal sequences the illyrian, the greek, roman, slavonic and finally ottoman influences are shortly depicted in the period from 2000 before Christ until the 19. Century. The main focus is on the short historical background of the cultures and how they became settled. The used building materials and the different construction systems are also brief summarized.

The evolution of the urbanism is completing the overview. As two opposite examples the turbourbanism in the capital city Prishtina, , where the fenomen of urbanization is since almost twenty years an ongoing phenomenon (Vöckler, 2008), and the urbanism in the old town Gjakova, where the ottoman influence and the still strong self-determination of family units forms till today the appearance of this small town, are specified with visually examples. A special view will be given to the building evolution in Kosovo without architects, which lead to great challenges for the urbanism and environment politics, The reasons for an building activity without structure are mainly the increased demand for housing space and low financial budgets.

The different settlement areas (urban, rural and mountain) with some examples of typically buildings in those areas and the used buildingmaterials, are presented.

This building material „Tarolit“ is described, the production is presented and some still existing buildings made with „Tarolit“ or recycled „Tarolit“plates are shown at the end of this chapter. Poplar strands have been used for Tarolit, a wood cement product, which has been produced in Kosovo

In chapter three wood light concrete is described and presented from the scientific view. In the doctoral theses from Schmitz in the year 1968 the wood cement as a

building material is analyzed and different test methods are shown. Schmitz (1968) showed, that the use of poplar chips increases the bending tension strength. Those kind of poplar chips have been then used in the wood cement plates, which have been produced in the sixties and till the eighties in Kosovo, the so called „Tarolit“ plates.

The forestry in Kosovo and a short overview of the forestry industry there follow up in chapter four. It shows, that there are huge wood resources in Kosovo, but the ecological and economic factors in this context are still developing. There is also a short special excurs on the poplar wood, including its significance as an addition in cement bonded particle boards.

The work continues its red thread with a presentation of Kosovos economy in the context of the population- specific and geographical aspects. The rich mineral deposits in Kosovo are shown and on the other side the demographic structure of the population.

Further the possibilities to revitalize the production of cement bonded wood boards are described and calculated. It starts with an short introduction about the actual social and economic situation regarding to invest in a production facility. The laws in Kosovo, which have been adapted from the government to increase international finance investments are shown here. After the theoretical part the idea of short rotation forestry is analyzed in general and specific in this plan of reopening a plant for cement bonded wood boards with poplar chips from a short rotation nearby the factory. This chapter is finished with a costs projection.

In chapter five the development and testing of wood-concrete-compound ceiling elements with wood is described. The ceiling elements are made with trapezoid beams and under the thin concrete there is a wood-cement-plate integrated.

Seven ceiling elements have been build on the pattern of the developed elements. Always a pair of the elements was connected with different woodscrews or/and an additional wood-cement plate.

The elements have been tested on the short bending load until the rupture. The bending, the load and the deferral from the concrete to the wood beams are shown in specific charts and graphs.

The bending stiffness of each ceiling element was also compared in graphs with the theoretical values of the bending stiffness if the construction is not connected (Zero-Compound) and if the construction is completely connected (Stiff-Compound).

An application example for the developed and tested ceiling elements is presented. It is a kindergarden with one storey. The detailed way of connections are plotted and shown from different angles.

The work closes with an conclusion and preview for this kind of manual, for a new way of approach to open the horizons in investing and developing an applicable version of building industry in an area full of resources.

The results should give impulse for further research in this field, as mainly the form of the beams is innovative and it seems it has an impact on the workload and bending stiffness of the ceiling elements.

Inhaltsverzeichnis

1	Zur Arbeit	1
	1.1 Thematik und Motivation	1
	1.2 Zielsetzung	2
	1.3 Vorgehensweise	3
2	Zum Bauen im Kosovo	5
	2.1 Basisinformationen zum Kosovo	5
	2.1.1 Bodenschätze	7
	2.1.2 Bevölkerung und Siedlungsstruktur	8
	2.2 Historische Entwicklungen	14
	2.3 Tarolit - Vorfertigung im Sozialismus	51
	2.4 Bauen im Kosovo heute	59
3	Holzbeton – Entwicklungsansätze	66
	3.1 Grundlagen	66
	3.2 Untersuchungen zum Holzzement	78
	3.3 Anwendungen und Wiederverwertung von Tarolit	79
4	Fortswirtschaft und Wiederbelebungsstrategien von Industrie im Kosovo	84
	4.1 Forstwesen im Kosovo	84
	4.2 Strategien und Möglichkeiten zur Wiederbelebung der Bauindustrie im Kosovo	95
	4.2.1 Ökologische Faktoren	102
	4.2.2 Planung von Kurzumtrieb mit Pappeln im Kosovo	111
	4.2.3 Planung einer Produktionsanlage zur Herstellung von Holzbetondeckenelementen mit Holzleichtbeton	116

5	Entwicklung und Untersuchungen von Holz-Beton-Deckenelementen	129
5.1	Grundlagen und Begriffsbestimmungen	129
5.1.1	Holz-Beton-Verbundsysteme	129
5.1.2	Holz-Beton-Verbund in der Forschung	136
5.2	Entwicklung des Decken-Prototyps mit einer HLB-Verbundkonstruktion	153
5.3	Experimentelle Untersuchungen von entwickelten Deckenelementen	159
5.3.1	Beschreibung der Versuchskörper	159
5.3.2	Versuchsanordnung	175
5.3.3	Versuchsablauf	180
5.4	Ergebnisse und Auswertung	198
5.4.1	Vergleiche der Biegesteifigkeiten	204
5.4.2	Vergleich der Biegesteifigkeiten aller Bauträger	215
5.5	Anwendungsobjekt für die Prototypen der Deckenelemente mit Holzleichtbeton	217
6	Zusammenfassung und Ausblick	227

Abkürzungen

EltoBoard	Holzwollezementplatten hergestellt auf Eltomationanlagen
FEM	Finite Elemente Methode
HBV	Holz-Beton-Verbund
HLB	Holzleichtbeton
KN	Kilonewton
KZB	Kurzzeitdurchbiegung
M00 – M06	Messsensoren Durchbiegung
M40 – M43	Messsensoren Verschiebung zwischen Holz und Beton
NV	Nullverbund
P01A – P04B	Probekörper der Deckenelemente
SV	Starrer Verbund
TB	Totalbruch
WSCB	Wood Strand Cement Board
WWCB	Wood Wool Cement Board

1 Zur Arbeit

1.1 Thematik und Motivation

Die Herstellung von Holzzement hat in Südeuropa eine Tradition, die bis in die Zeit vor dem Zweiten Weltkrieg reicht und im Sozialismus ihre Hochblüte hatte. Eine Renaissance dieses Materials wird durch neue Forschungsergebnisse und ökologisch verbesserte Herstellungsmethoden durchaus als realistisch gesehen.

Ausgehend von dieser fast zwanzig Jahre dauernden Phase einer hoch industrialisierten Bewegung in einem Gebiet, wo vorwiegend Landwirtschaft und kleine Handwerksbetriebe vorhanden waren, wurde die Idee entwickelt, dieses Szenario in die heutige Zeit zu verlagern. Die Analyse und Beschreibung jener Holzzementproduktionsanlagen für die Firma Tarolit im Kosovo, welche zwischen den 60er bis zu den 90er Jahren in vollem Einsatz war, führte zum Wunsch Impulse zur Wiederbelebung dieser teilweise noch vorhandenen Infrastrukturen zu setzen.

Einige Herausforderungen, welche durch gezielte Maßnahmen auf verschiedenen Ebenen (politischer, gesellschaftlicher, globaler Ebene) in koordinierten Prozessen bewältigt werden können, sollen dargestellt werden. Wie die Urbanisierung, ein Phänomen, welches auch in südlichen Ländern von Europa immer stärker wird. Die Bevölkerung zieht vermehrt in die Städte. Der Wohnungsbau steht somit vor neuen Herausforderungen, da die Ansprüche der Menschen und die ökonomischen Voraussetzungen nicht immer realistisch zueinander im Verhältnis stehen. Dies führt zu Bauweisen, die weniger vom ästhetischen Blickpunkt bedenklich sind, sondern vor allem mehr von der statischen Perspektive her problematisch werden können. Vor allem im privaten Wohnbau wird ohne Professionisten gebaut und Architekten oder Bauingenieure werden kaum hinzugezogen.

Weiters ist Bauen ohne Architektur ein Bereich, welcher unter anderem auch zu Hindernissen für die Städteplanung führt. Vor allem Kai Vöckler (2008) hat mit dem Begriff „Turbourbanismus“ die unkontrollierten Bauten in den städtischen Gebieten im Kosovo bezeichnet. Als Hauptgründe dafür führt er fehlende städtische Planung und Kontrolle, starke Nachfrage nach Wohnraum und minimalen Einsatz von Architektur und statisch-konstruktiver Planung an.

Neuartige Bauweisen mit Bauteilen aus Holz und Holzzement in einer Gegend, wo Holz als natürliche Ressource zur Verfügung steht, sind Möglichkeiten der steigenden Nachfrage im Wohnungsbau im urbanen Raum in Südosteuropa, vor allem im Kosovo, nachzukommen.

Der Einfluss der Politik und die Verwaltung der natürlichen Ressourcen stellen Herausforderungen dar, die wie schon bei Somer (2008) beschrieben, manchmal nicht überwindbar sind. Eine fehlende Kontrolle bei der Planung und dem Bauwesen von staatlicher Hand, stellen noch immer eine Tatsache vor allem industriell unterentwickelten Ländern dar.

Zur Vertiefung in das Baumaterial Holzzement oder Holzbeton, soll auch dieses Material aus wissenschaftlicher und analytischer Perspektive dargestellt werden.

Im zweiten großen Bereich dieser Arbeit soll konkrete Innovationen im Bereich Wohnbau mit Anwendungsbeispielen analysiert und dargestellt werden. Statt den üblichen Baumaterialien Beton und Stahl, sollen Holz-Beton-Konstruktionen mit Holzleichtbeton entwickelt und untersucht werden.

1.2 Zielsetzung

Der Bogen, der von der Geschichte des Bauens im Kosovo, über neue Ansätze im Wohnungsbau mit Schwerpunkt Holzleichtbeton mit Betrachtung der wirtschaftlichen Voraussetzungen einer Produktionsstätte für Holzleichtbetonplatten geht, führt dazu, dass notwendige Impulse in das Bauwesen gebracht werden. Die Absicht dahinter ist, dass mit dieser Arbeit, im Sinne eines Handbuches, mögliche Investitionen in einem Gebiet, in welchem in der Vergangenheit bereits erfolgreich eine hochfunktionale Industrie im Bauwesen vorhanden war, unterstützt werden.

Ebenso soll mit Informationen, welche in jahrelanger Recherchearbeit unterstützt durch persönliche Erfahrungen, ein fundierter Überblick über Vorteile und Herausforderungen für neue Systeme im Bauwesen im südlichen Europa gegeben werden.

Daher soll neben der umfangreichen Bau-, Wirtschafts- und Sozialgeschichte und eines Planes zur Wiederbelebung einer Produktionsanlage und innovativen Ansätzen zur Gewinnung von natürlichen Ressourcen, als zweites übergeordnetes Ziel eine Entwicklung von Deckenelementen in HBV-Bauweise mit Holzleichtbetonplatten beschrieben werden.

1.3 Vorgehensweise

In dieser Arbeit wird versucht Bauen mit teilweise oder komplett vorgefertigten Deckenelementen und die notwendige Infrastruktur zur Herstellung dieser Elemente darzustellen. Zuvor werden die politischen, historischen und ökonomischen Voraussetzungen und Herausforderungen in einem historisch und politisch bewegten Gebiet, welches Entwicklungspotential hat, beschrieben.

Der Schwerpunkt liegt hierbei im Kosovo und dem Gebiet in Südosteuropa. Hier hat eine Holzzementproduktion existiert und die Kontextbedingungen (Ressourcen, Infrastruktur, Gesetzeslage) würde eine Neuauflage von ähnlichen, modernen Fertigungsanlagen begünstigen. Die Regierung ist bemüht mittels nationaler Entwicklungspläne, die reichhaltigen Waldvorkommen gut zu nutzen und fördert auch Klein- und Mittelbetriebe im Holzverarbeitenden Sektor.

Die Entwicklung von Prototypen von Deckenelementen im Holz-Beton-Holzleichtbetonverbund wird ausführlich dargestellt und diskutiert, sowie hinsichtlich ihrer Biegesteifigkeit und Kurzzeitbelastung mit den Durchbiegungen beschrieben.

Sie bilden den innovativen und in jahrelanger Entwicklungsarbeit entstanden Teil dieser Arbeit, welcher gleichzeitig ein wichtiger Impuls für kommende Forschungsarbeiten sein soll.

In einem Anwendungsbeispiel, ein Kindergarten, wird ein möglicher Einsatz der HBV-Deckenelementen mit Holzbetonplatten, demonstriert.

In Abbildung 1 sollen die miteinander verbundenen Themenbereiche, welche ein Kompendium für Hintergrundinformationen und die Entwicklung und Reform von industrieller Fertigung und Anwendung von innovativen Bauelementen bilden soll, dargestellt werden:

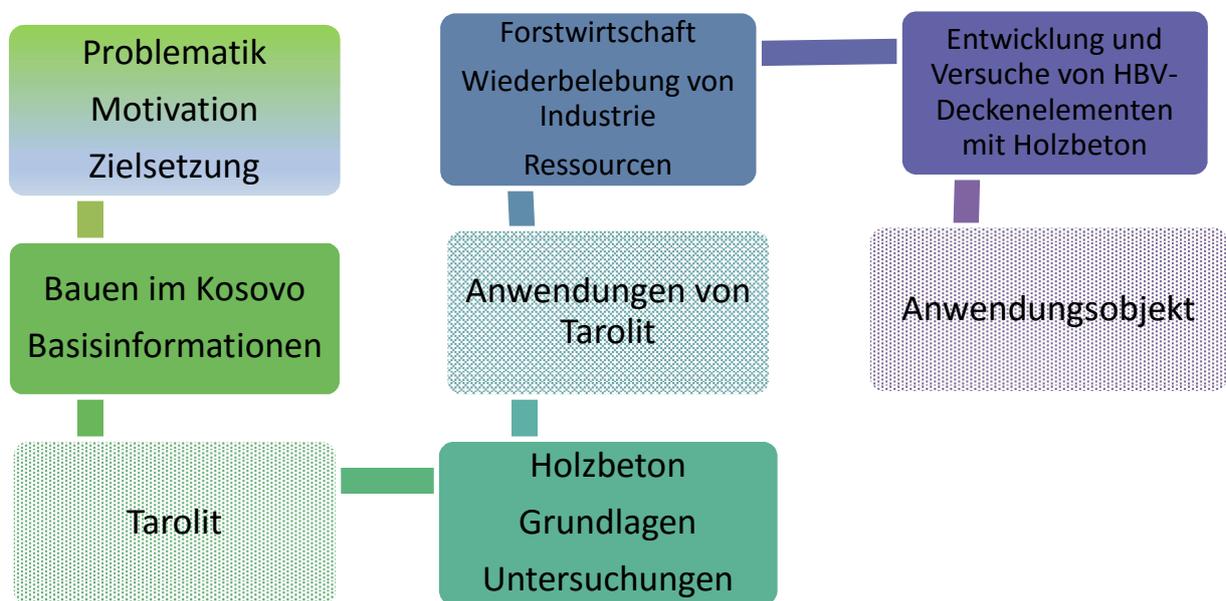


Abbildung 1: Sequentielle Darstellung der Themenbereiche der Arbeit

2 Zum Bauen im Kosovo

2.1 Basisinformationen zum Kosovo

Kosovo eine junge Republik, welche auf der Balkaninsel, südlich von Serbien liegt, und grenzt an den westlichen Grenzen an Albanien und Montenegro und an der südlichen Grenze an Mazedonien (Abb.2).

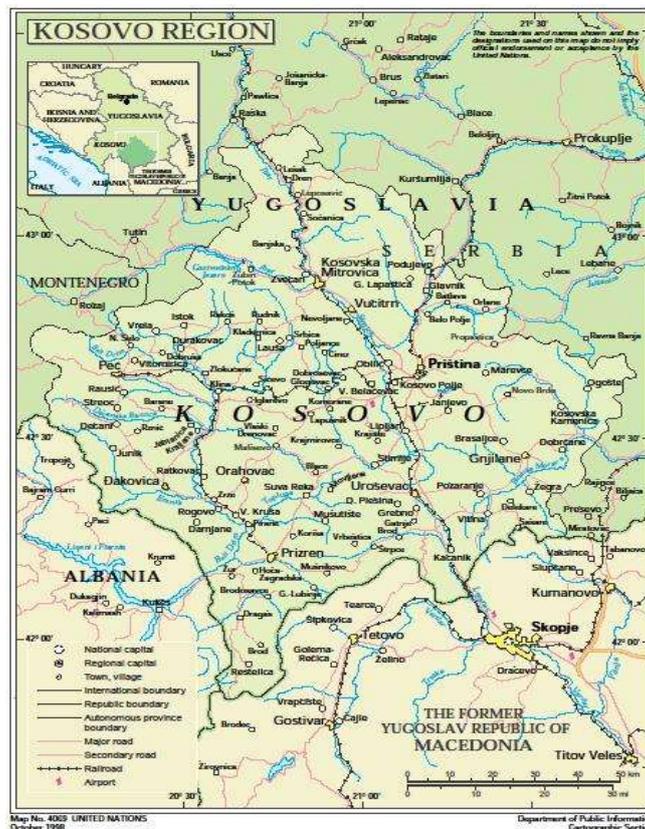


Abbildung 2: Geografische Darstellung des Kosovo

Staatsform	Republik
Regierungsform	Parlamentarische Demokratie
Staatsoberhaupt	Präsident Hashim Thaqi
Regierungschef	Premierminister Ramush Haradinaj
Fläche	10.887 km ²
Einwohnerzahl	1.771.604 (2016, Kosovo Agency for Statistics)
Bevölkerungsdichte	159,8 Einwohner pro km ²
BIP	5,5 Mrd € (2016)*
Pro Kopf Einkommen	4000 USD (2016)*
Währung	Euro
Unabhängigkeit	17. Februar 2008

* Quelle: IMF Aide Memoire 2008

(http://m.pristina.diplo.de/Vertretung/pristina/de/05/01-Wirtschaft/01-WiUebersicht/_wirtschafts_C3_BCbersicht-kosovo.html)

In seinen heutigen Grenzen besteht der Kosovo seit 1945 (Schmitt, 2008, S.35), dieser Festsetzung geht eine lange und ereignisreiche Geschichte voran. Es zählt zu den am dichtesten besiedelten Gebieten Südosteuropas.

Der Kosovo ist von Hoch- und Mittelgebirgen umschlossen und wird in zwei Hauptsiedlungskammern unterteilt, welche durch eine Mittelgebirgskette getrennt werden.

Die östliche Ebene, das Amselfeld (alb. *Fushë Kosove*) mit der Hauptstadt *Prishtine*. Die westliche Ebene, Dukagjinebene (alb. *Rrafshi i Dukagjinit*) mit dem Zentrum Prizren.

Wobei die westliche Ebene breiter und flacher ist, vom wichtigsten Fluss, dem weißen Drin durchzogen (er verbindet sich in Albanien mit dem schwarzen Drin) wird und somit ein sehr fruchtbares Gebiet ist.

An den Grenzen zu Albanien, Montenegro und Mazedonien – im Süden, Südwesten und Westen – dominieren karge Gebirgslandschaften.

Die höchsten Berge sind:

Gjeravica (in der Großgemeinde Pejë/Peć) 2656 m

Bistra (Ferizaj) 2640 m

Marjash (Pejë) 2530 m

Luboteni (Ferizaj) 2496 m und

Koproniku (Pejë) 2460 m.

(Kohl & Libal, 1992, S. 8)

Diese Gebirge schließen den Kosovo aber nicht vollkommen ab, eine ganze Reihe von Pässen erlauben einen überregional wichtigen Verkehr.

Die strategische Bedeutung des Kosovo erklärt sich aus seiner Lage an einer Drehscheibe von Handel und Verkehr.

Eine der wichtigsten West-Ost-Transversalen des Balkans verbindet die albanischen Küstenstädte Shkodra und Lezha mit Prizren. Es wurde eine Autobahn an dieser alten Straße (seit dem Mittelalter bekannt) gebaut, die Prishtina mit Tirana verbindet. (Schmitt, 2008, S 42).

Noch wichtiger ist die Nord-Süd-Transversale, die über das Amselfeld führt. Diese Straße ist eine Abzweigung von der seit dem Altertum bestehenden Heerstraße Saloniki-Skopje-Belgrad. Von der Römerzeit bis heute ist dies die wichtigste Straßenverbindung von der Ägäis zur Donau (Schmitt, 2008, S. 42).

2.1 Basisinformationen zum Kosovo

53 % der Fläche wird landwirtschaftlich genutzt, laut verschiedenen Erhebungen sind 40 – 60 % der Fläche im Kosovo Waldgebiet.

Das Klima ist ausgeprägt kontinental mit heißen Sommern und kalten Wintern; die Temperaturen liegen zwischen 35 Grad im Sommer und minus 18 Grad im Winter (Kohl & Libal, 1992, S.9). Der Niederschlagsdurchschnitt schwankt zwischen 600 mm/Jahr (Amselfeld) und 800 – 900 mm/Jahr (Dukagjinebene). Die Dukagjinebene genießt, wegen der Nähe zur Adria ein etwas milderes Klima (Schmitt, 2008, S. 112).

2.1.1 Bodenschätze

Der Kosovo ist reich an Kohlevorkommen und anderen Bodenschätzen, Kupfer, Chrom, Zink, Silber und Gold. In manchen Gegenden gibt es auch Uranvorkommen. Weiters gibt es Nickel, Magnesium, Eisen, Chrom, Mangan, Talk, Marmor, Bauxit, Kaolin und andere wichtige Bodenschätze.

(<https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Kosovo/Kosovska%20Mitrovica/Trepca-Komplex>)

Ein bekannter Begriff in diesem Zusammenhang ist die „Trepca“. Es ist dies keine einzelne Mine oder ein Bergwerk, sondern ein Oberbegriff für 40 Lagerstätten und Aufbereitungsanlagen im Kosovo für die oben genannten mineralischen, aber auch für nichtmineralische Rohstoffe.

Weitere Mineralien, die im Kosovo gefunden wurden sind Zinkblende, Bleiglanz, Pyrrhothin, Kupferkies, Arsenkies, Bergkristalle, Dolomit und Calcit, sowie Vivianitstufen.

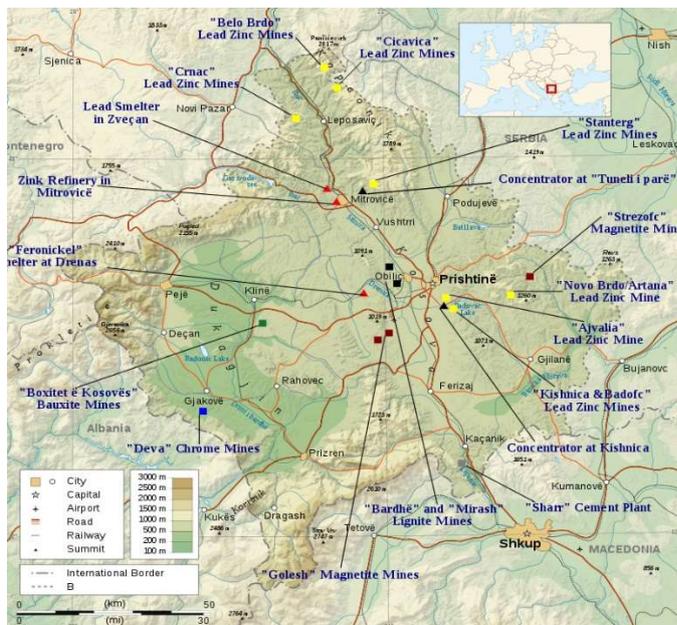


Abbildung 3: Bergbau im Kosovo

(https://de.wikipedia.org/wiki/Bodensch%C3%A4tze_des_Kosovo)

2.1.2 Bevölkerung und Siedlungsstruktur

Der Kosovo ist in 33 Kommunen aufgeteilt, diese hohe Anzahl ergibt sich aus der hohen Bevölkerungsdichte und einem Wiederaufbau der lokalen Behörden, welcher netzwerkartig abgedeckt werden soll.

Die Siedlungsstruktur im Kosovo setzen sich aus zwei parallelen an einer Nord-Süd-Achse aufgereihten Systemen größerer Siedlungen zusammen. Weitgehend städtelos ist das Mittelgebirgsgebiet, das Hochgebirge, das in einem weiten Bogen den Westen begrenzt, sowie das höhere Hügelland im Osten. Nördlich von Mitrovica verengt sich das Ibartal so stark, dass es nur eine spärliche Besiedelung zulässt (Schmitt, 2008, S. 40).

Der Kosovo hat in Europa einen der jüngsten Altersdurchschnitt. Die albanische Bevölkerung hatte hohe Geburtenraten. In Tabelle 1 ist die Bevölkerungsentwicklung in Zahlen abgebildet:

Jahr	Gesamt Population	Albaner	Serben	Andere	Gesamt
1953	808.000	68 %	24%	8 %	100 %
1961	964.000	67 %	23%	11%	100%
1971	1.244.000	74%	18%	8%	100%
1981	1.584.000	77%	13%	10%	100%
1991	1.956.000	82%	10%	8%	100%
2000	2.370.000	88%	7%	5%	100%
2011	1.739.000	93%	1,5%	5,5%	100%
2015	1.771.604	93%	1,5%	5,5%	100%

Tabelle 1: Bevölkerungswachstum im Kosovo zwischen 1953 und 2015 (Kosovo Agency of Statistics, 2017)

Die Natalität wird von vielen Faktoren beeinflusst, wie biologische, sozioökonomische und soziopsychologische, wie Fruchtbarkeit, Bereitschaft Kinder zu bekommen, Sterilität, Alter bei der ersten Heirat, damit verbunden die Fruchtbarkeitsphase etc. Es zählen dazu auch Faktoren, wie Bildung, Beschäftigung, Emanzipation der Frau, Lebensbedingungen, wie Wohnung, soziale Bindungen und urbane Strukturen (Islami, 2005, S. 62).

Als mögliche Basis für diese Entwicklung ist die gesellschaftliche Tradition im Kosovo zu betrachten, wo Heirat, Familie (insbesondere die Großfamilie) und Geburten hoch angesehen sind, mehr als Bildung oder erfolgreiche Berufstätigkeit (Islami, 2005, S. 77). Seit dem Jahr 2000 geht jedoch die Bevölkerung stetig zurück. Einerseits durch geringere Geburtenraten und hauptsächlich durch Emigration. In einem Bericht der Agentur für Statistik in Kosovo zur Bevölkerungsentwicklung (Parashikimi i Popullsise se Kosoves 2017 – 2061, Prishtine 2017) ist eine Bevölkerungsabnahme bis 1,5 Millionen prognostiziert, sowie eine Erhöhung des Altersdurchschnittes. Auch hier hauptsächlich durch die Migration.

In Abbildung 4 ist die Alterspyramide nach den Geschlechtern getrennt. Die Überproportionalität der Altersgruppe unter 19 Jahren, kann auch auf den hohen Anteil an Exilalbanern, die aus vorwiegend wirtschaftlichen Gründen im Ausland leben, zurückgeführt werden (Strategjija Sektoriale e Shendetesise, 2017).

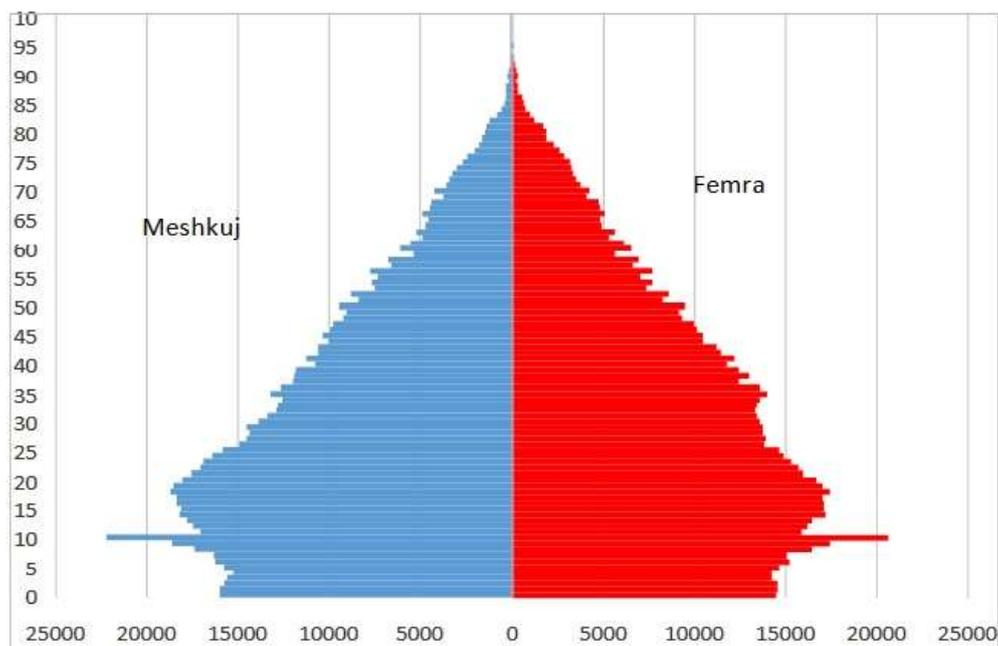


Abbildung 4: Alterspyramide für das Jahr 2016 nach Geschlechtern getrennt (Männer Frauen) aus dem Bericht Parashikimi i Popullsise se Kosoves (Kosovo Agency of Statistics, 2017)

Im internationalen Vergleich ist die junge und stark wachsende Bevölkerung im Kosovo nach verschiedenen Faktoren im Ländervergleich zu sehen (Tab.2) (Kosovo Agency of Statistics 2017).

Land	Ein- wohn. in Mill.	EW/ Km ²	Unter 15jähr. prozentualer Gesamtanteil	Leben- geburten/ 1000 EW	Totgeb. / 1000 EW	Durch- schnittliche Geburten pro Frau
Kosovo	1,8	158	50	19	4	2,1
Albanien	3,1	110	32	17	5	2,1
Kroatien	4,3	75	20	10	12	1,4
Slowenien	2,0	100	16	9	9	1,3
Griechenland	11,0	80	15	10	10	1,3
Italien	58,1	190	14	9	9	1,3
Schweden	8,9	20	18	10	11	1,6

Tabelle 2: Differenzierung der Bevölkerung nach Ländervergleich (Kosovo Agency of Statistics 2017)

Die Population des Kosovo ist im Zeitraum 1880 – 1980 um mehr als 600 % gewachsen. Um 1880 wurde geschätzt, dass im Kosovo ungefähr 240.000 Menschen lebten. Im Zeitraum 1961 – 1991, ist die Bevölkerung des Kosovo um 1.054.512 Personen gewachsen, was eine Verdoppelung in 30 Jahren bedeutet (Islami, 2005, S. 159).

Unter Berücksichtigung verschiedener Fluktuationen und Bedingungen, wie Emigration, drohende Kriegsgefahr ist die Bevölkerung des Kosovo im Zeitraum 1948 – 1991 laut der letzten Volkszählung 1991 von 733.034 auf 2.018.500 gewachsen, also um 1.285.466 Einwohner, oder um 175 % und das durchschnittliche Wachstum in diesem Zeitraum ist nicht unter 20 ‰ gefallen. Im Zeitraum 1981 – 1991 ist die Bevölkerung im Kosovo um 434.060 Menschen gewachsen oder um 27,3 % (Islami, 2005, S.88). Seit 2011 findet eine deutliche Abnahme der Bevölkerungszahlen statt (Kosovo Agency of Statistics, 2017)

Ethnische Minderheiten:

Es leben im Kosovo mehrheitlich Albaner und verschiedene Ethnien, wie Serben, Bosniaken, Goranci, Kroaten, Roma, Ashkali und Türken (Abb.5).

2.1 Basisinformationen zum Kosovo

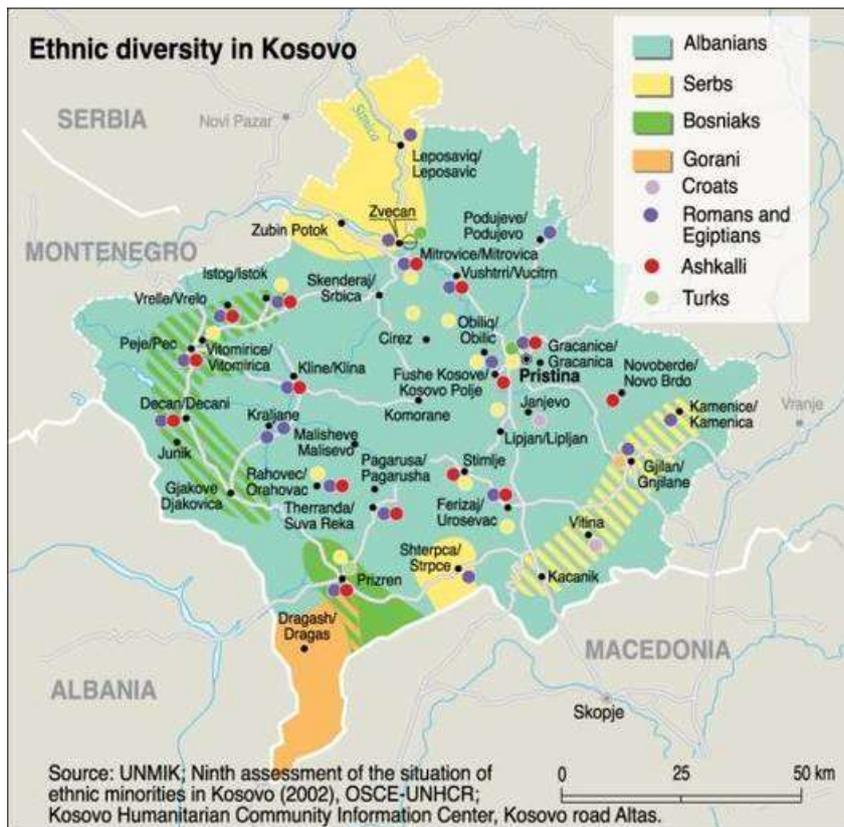


Abbildung 5: Ethnische Minderheiten im Kosovo (regionale Verteilung von Minderheiten © Philippe Rekacewicz (CC-BY-SA-3.0))

Das „Statistical Pocket Book“, welches jährlich vom statistischen Büro in Belgrad herausgegeben wurde, nahm statistische Daten von Ländern, wie Malediven, Komoren oder Surinam auf, aber keine von Kroatien, Slowenien, Bosnien-Herzegowina oder Mazedonien, ganz zu schweigen von Kosovo. Dies wurde außerdem als Strafmaßnahme gegenüber den „ungehorsamen“ Ex-Staaten gesehen (Islami, 2005, S. 207). Seit 1999 hat die Agentur für Statistik in Kosovo ihre Arbeit in wieder aufgenommen und seit 2011 nach internen Umstrukturierungen mit Unterstützung des UNFPA (United Nations Population Fund) dem Amt des Premierministers zugehörig (Kosovo Agency of Statistics, 2017)

Gegen Ende des Zweiten Weltkrieges war die Bevölkerung im Kosovo, vorwiegend Landbevölkerung (ungefähr 80 %). 1991 war der Landbevölkerungsanteil mit 63 % noch immer sehr hoch (SOK, 2003, S. 2). Diese Verteilung (38% urbane Bevölkerung und 62% rurale Bevölkerung) hat sich auch 2011 nicht wesentlich verändert (Kosovo Agency of Statistics, 2017).

Im Jahr 1999 fand eine massive Landflucht in der Umgebung von Prishtina statt. Die Menschen siedeln sich vorwiegend in Prishtina und Umgebung an. Die Berechnungen erweisen sich dennoch als schwierig, da viele Menschen in Prishtina nicht angemeldet sind. Waren es vor 1999 noch ungefähr 150.000 Einwohner, so sprechen die Verwaltungen mittlerweile von mindestens 300.000 Einwohnern (Vöckler, 2008, S. 45).

Die Menschen, ziehen vorwiegend aus wirtschaftlichen Gründen in die Hauptstadt Prishtina. Neben den Rückkehrern aus dem Ausland, der Landbevölkerung und den Mitarbeitern der internationalen Organisationen, ziehen gebildete Städter nach Prishtina, da es hauptsächlich dort Beschäftigungsmöglichkeiten gibt .

Welche Folgen dies für die restlichen Städte hat und vor allem das Land, ist derzeit noch nicht abzuschätzen.

Die folgende Grafik (Abb.6) sollen die Veränderungen nochmals veranschaulichen:

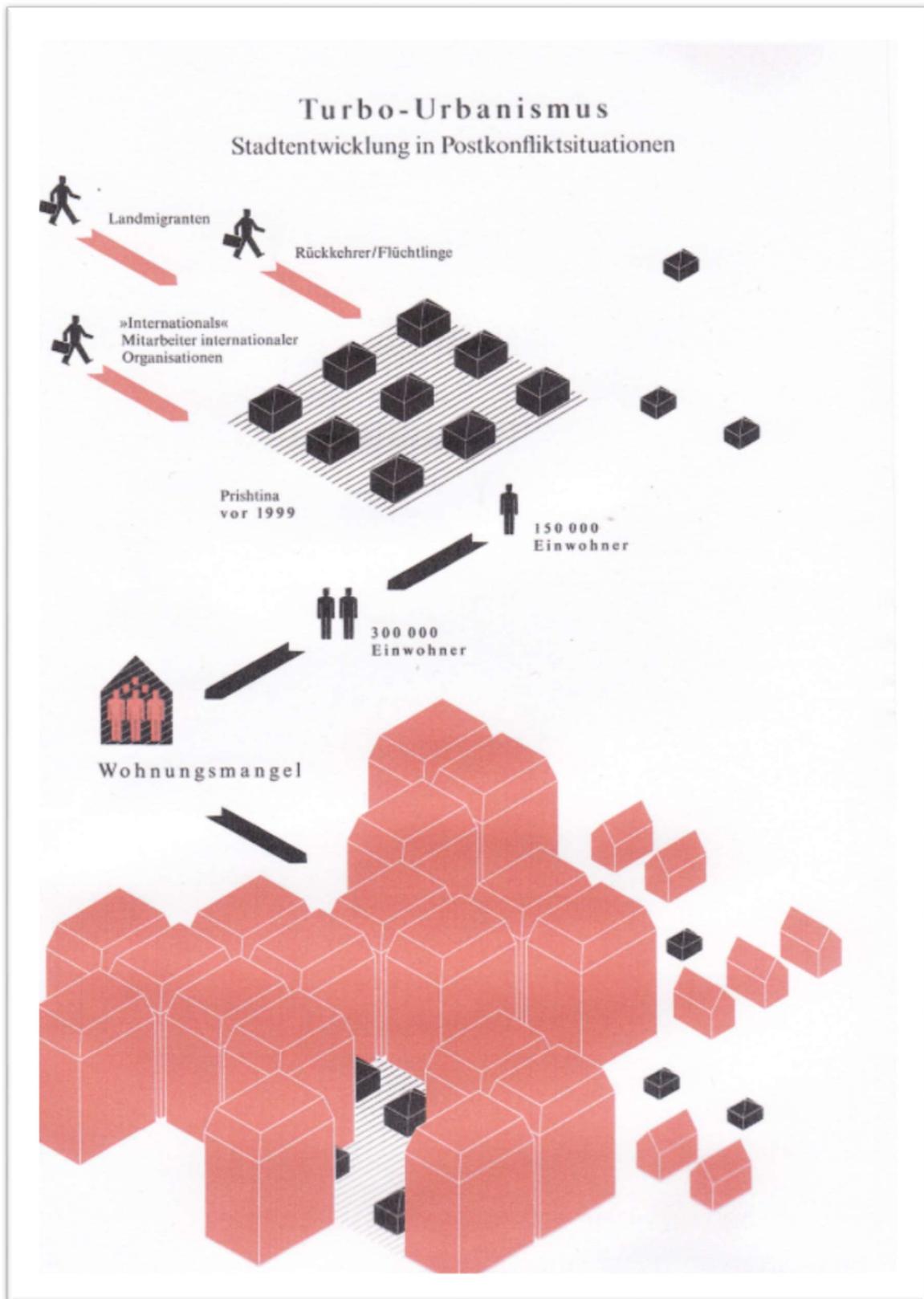


Abbildung 6: Turburbanismus in Prishtina (Vöckler, 2008, S. 34)

Um die Entwicklung des Bauwesens im Kosovo besser darzustellen, muss diese im Kontext der politischen Entwicklung dargestellt werden. Kosovo wurde in ihrer Geschichte von unterschiedlichen Einflüssen verschiedener Kulturen, wie sie unterschiedlicher nicht sein konnten, geprägt. Bedingt durch die vielen Wälder und einer traditionsreichen langen Handwerksgeschichte im Holzbau, sind von Holz-Stein-Konstruktionen bis hin zu künstlerischen Drechslerarbeiten der sogenannten „Oden“ (Wohnzimmer, welche fast vollständig mit Holzvertäfelungen ausgestattet sind und in der Mitte mit einem Kamin, welche den Männern vorbehalten waren) unterschiedlichste Einsatzmöglichkeiten von Holz im Wohnungsbau zu sehen.

In den letzten Jahrzehnten jedoch wurde Holz kaum mehr verwendet, außer für die Dachstühle. Beton und Stahl haben Holz fast vollständig verdrängt. Dieser Trend ist aber europaweit in den letzten Jahrzehnten vorhanden, wie dies auch Prochinger in seiner Dissertation „Zukunftsorientierte Fertigungs- und Montagekonzepte im industriellen Wohnungsbau“ (TU München, 2006), anschaulich als Prozess darstellt. Er beschreibt, wie sich die Industrialisierung des Bauwesens, wie schon von Jean Prouve und Konrad Wachsmann (Prochinger, 2006) beschrieben, seit den 50er-Jahren unauffällig entwickelt hat. Prouve und Wachsmann (Prochinger, 2006) weisen darauf hin, dass fast die gesamten Bestandteile im Bau, in Fabriken unter Einsatz von neuen Technologien hergestellt werden. Wie zum Beispiel Fassaden-, Wand- und Deckenelemente, ebenso Beschläge und verschiedene Verbindungsmittel. Diese, teilweise hochwertigen, Produkte werden dann noch immer händisch und nicht immer in effizienten Arbeitsschritten zusammengefügt. Das Konzept des Bauens ist noch immer teilweise ein unterbrochener Arbeitsprozess, der durch die Koordination der unterschiedlichen Bauelemente teilweise sehr unübersichtlich und somit zeitlich aufwändig wird. Daher sind neben der Weiterentwicklung von einfacheren Bauelementen, sicherlich auch Entwicklungen im Bauprozess gründlich zu überlegen. Im Kosovo ist jedoch eben dieser Prozess weitaus unkoordinierter, daher wären hier Vorfertigungen und Automatisierungen im Bauprozess ein wichtiger Entwicklungsschritt im Bauwesen. Diese Problemstellung war ein wichtiger Impuls für den weiteren Teil dieser Arbeit.

Im nachfolgenden Kapitel 2.2 sollen in einer zeitlichen Abfolge die unterschiedlichen Kulturen und Baustile im Kosovo dargestellt werden.

2.2 Historische Entwicklungen

Hier soll ein kurzer Abriß über die bewegte Geschichte von dem Gebiet, in welchem sich das heutige Kosovo befindet, dargestellt werden.

Zur Zeit der Illyrer (zweites und erstes Jahrtausend v. Chr. - 160 v. Chr.)

Das Territorium Kosovo befindet sich in zentraler Lage auf der balkanischen Halbinsel. Die geografische Lage ermöglicht Zugänge zum adriatischen und zum ägäischen Meer. Außerdem ist Kosovo von unzähligen Straßen und anderen Verbindungen durchzogen. Diese interessante und wichtige Position hat dazu geführt, dass verschiedene kulturelle Einflüsse die Geschichte des Landes in vieler Hinsicht durchdrungen haben.

Kosovo liegt in der Nähe von entwickelten Orten des Südens und den Zivilisationen an den Küsten der Adria und der Ägäis. Die günstigen klimatischen Bedingungen, die natürlichen Ressourcen, wie Wälder, Weiden, Äcker, Flüsse, Mineralvorkommen ermöglichten Lebensbedingungen und Entwicklungen von Kulturen, sowie verschiedener Künste während vergangener Perioden und auch in der Zukunft sieht es entsprechend vielversprechend aus.

Kosovo ist als Siedlungsgebiet seit der neolithischen Zeit bekannt. Verschiedene Forscher behaupten, dass die Illyrer als Vorfahren der heutigen Albaner gelten. Die Kosovaren werden den alten indoeuropäischen Völkern zugeordnet (Stadtmüller, 1996, S.87).

Die Pelasgen gelten als eines der ersten bekannten Völker des Balkans. Manche Forscher verfolgen die Theorie, dass pelasgische Sprachelemente in der albanischen Sprache vertreten sind (Cultural Heritage in Kosovo, 2004, S. 7).

Stadtmüller (1966, S.84) beschreibt sogar durch die intensiven Forschungen verschiedener sprachlicher Einflüsse auf die albanische Sprache, dass der Lebensraum der Uralbaner in einer Nachbarlandschaft Dalmatiens (heutiges Kroatien), in der Beckenlandschaft Altserbiens und auf den Bergkantonen Nordalbanians bestanden hat.

Diese Verbindung zur pelasgischen Kultur ist jedoch nicht die einzige, es lassen sich auch in der Kunst, dem Bauwesen, insbesondere im Wohnbau und Festungen (welche im Aussehen und Ausführung beinahe identisch mit anderen Bauten aus der Eisenzeit sind), vor allem bezüglich Ornamenten und Bordüren oder auch aus der antiken Zeit der Illyrer sind, Parallelen beobachten (Doli, 2001, S. 10ff).

Die Illyrer haben im Altertum das gesamte Gebiet des früheren Jugoslawien, von der heutigen Südgrenze Österreichs bis an die heutige Westgrenze Bulgariens besiedelt. (Schmitt, 2008 S. 32,). Die Illyrer gliederten sich in verschiedene Stämme auf, wobei die arberischen Illyrer als direkte Vorfahren der heutigen kosovarischen Albaner gelten, und die Albaner namentlich seit dem 8. Jahrhundert genannt werden.

Der Zusammenhang der Albaner mit den Illyrern ist zwar wissenschaftlich umstritten, doch es ist ohne Zweifel, dass die Illyrer an der Ethnogenese der Albaner teilhatten. Wichtigster Punkt ist dabei die Sprache, da in der albanischen Sprache illyrische Elemente zu finden sind (Ceka, 1997, S. 289).

Es werden in den Gebieten von Kosovo und Albanien, sowie den angrenzenden Gebieten immer wieder Funde von Illyrern gemacht (Abb 8, Helme von illyrischen Soldaten gefunden bei Peja/Kosovo, aus Ceka, 1997), sowie zahlreiche Festungen (Abb.7) und Grundmauern von Städten, beweisen die Ansässigkeit der Illyrer in den heutigen albanischen Siedlungsgebieten (Ceka, 1997, S. 7).



Abbildung 7: Ruinen der Burg von Zvecan in Mitrovica Kosovo (aus Ceka, 1997)



Abbildung 8: Helme von illyrischen Soldaten (aus Ceka, 1997)

Die Geschichte des Kosovo kann eindeutig erst ab dem Mittelalter dokumentiert werden, da vor allem die Ur- und Frühgeschichte von den beiden Bevölkerungsgruppen Albaner und Serben unterschiedlich wahrgenommen wird (Schmitt, 2008, S. 27) und eine Metaebene so gut wie unmöglich zu finden ist, da dieses Gebiet immer wieder von Auseinandersetzungen und Unterdrückungen betroffen war, somit Aufzeichnungen und Kulturgüter oftmals verschwunden sind (Schmitt, 2008).

Dies führt dazu, dass heute, zusätzlich durch Massenmedien und Populärwissenschaftler verzerrt, unterschiedliche Vorstellungen der Frühgeschichte und späteren Geschichte bis zum 19. Jahrhundert vorherrschen.

Die Illyrer waren eine Gruppe von Stämmen, die in der Antike auf der nordwestlichen Balkanhalbinsel und in der südöstlichen Hälfte von Italien lebten (Schmitt, 2008, S.32).

Je nach den landschaftlichen Gegebenheiten bildeten Viehzucht oder Ackerbau die ökonomische Basis der eisenzeitlichen Bewohner Illyriens. An der Wende vom 2. zum 1. vorchristlichen Jahrtausend dominierten noch die Hirtenkulturen. In den Gebirgsregionen des westlichen Balkans änderte sich daran wenig, während sich in den Ebenen der Feldbau durchsetzte (Shkurti, 1997, S. 14).

Die eisenzeitliche, illyrische Gesellschaft war in Sippen- und Familienverbände gegliedert. Anhand der Grabfunde ist belegbar, dass die einzelnen Stammesgebiete von Fürsten beherrscht wurden, deren Familien sich sozial deutlich von der übrigen Bevölkerung abhoben. Aber auch Krieger hatten oftmals reichliche Grabbeigaben, wie bronzene Helme, Schwerter, bronzene und keramisches Geschirr und Münzen (Abb.15). (Ceka, 2006, S. 84).

Im Bereich des Kosovo war der Stamm der Dardanen ansässig. Dieser Stamm beschäftigte sich vorwiegend mit der Landwirtschaft und dem Bergbau.

Vor allem reichhaltige Gold- und Kupfervorkommen führten dazu, dass dieser Stamm bis zur endgültigen römischen Besetzung zu einem der reichsten und einflussreichsten Stämme wurde (Patsch, 1904, S.227).

Dieser illyrische Stamm war auch relativ resistent gegen kulturelle Fremdeinflüsse, wie z.B. von den Römern (Ceka, 1997, S.124), da sie über ein gutes Heer verfügten und

sichere Festungen erbauten. Doch 167 v.Chr. mussten auch die Dardaner sich Rom unterordnen, die wichtigsten Städte blieben noch immer das heutige Nis, Prizren (Theranda), Prishtine (Veklan) und Skopje (Ceka, 1997, S. 130).

Griechische Einflüsse im Bauwesen

Seit dem 6. Jahrhundert v. Chr. legten griechische Siedler Kolonien im illyrischen Siedlungsgebiet an. Durch den (nicht immer friedlichen) Kontakt der Illyrer zu den griechischen Städten kam es zur Übernahme griechischer Kulturelemente. Städtisches Handwerk und Handel gewannen an Bedeutung, und die Illyrer betrieben nun auch Seefahrt an den Küsten der Adria (Handel und Piraterie). Auf der Basis der Städte entstanden seit dem 5. Jahrhundert v. Chr. kleinere Fürstentümer (Ceka, 2006, S. 152).

Römische Einflüsse im Bauwesen

Die Illyrer waren auch als Seeräuber berüchtigt. Deshalb unterstellten sich im Jahr 230 v. Chr. einige griechische Kolonien im adriatischen Küstengebiet und auf den vorgelagerten dalmatinischen Inseln dem Schutz Roms. Im Zweiten Illyrischen Krieg (219 v. Chr.) gelangte die Region größtenteils unter römische Herrschaft. Der letzte illyrische König Genthios, der in Shkodra residierte, wurde von den Römern 168 v. Chr. besiegt und gefangen nach Rom geführt (Malcolm, 2001, S. 34). Die illyrischen Gebiete wurden in von den Römern abhängige Klientelstaaten aufgeteilt. Im Anschluss an einen missglückten Aufstand kurz nach der Zeitenwende setzte eine intensive Romanisierung ein. Das Gebiet des heutigen Kosovo wurde, da die Römer das Territorium des heutigen Albanien und Kosovo als nicht bevorzugtes Ziel der Eroberungen sahen, erst 44 n.Chr. in die Provinzialordnung eingefügt (Schmitt, 2008, S.47). Die Rekrutierung von Dardanern für das Heer war neben den bekannten militärischen Strategien der Römer eine weitere Maßnahme der intensiven „Romanisierung“ der eroberten Gebiete (Schmitt, 2008, S.47).

Slawische Einflüsse im Bauwesen

Nach dem Einfall der Slawen im 6. Jahrhundert n.Chr., ist über Herrschaftsbildungen oder andere Verwaltungen kaum etwas bekannt. Einige Quellen gehen von einer bulgarischen, oberflächlichen Herrschaft aus (Schmitt, 2008, S. 49). Wobei hier wegen des Quellenmangels jener Zeit (600 n.Chr bis 1018 n.Chr.), die Geschichte nicht

besonders nachvollziehbar ist (Schmitt, 2008, S.49). Nach der Völkerwanderung und dem Einbruch der Slawen auf den Balkan konnte sich das Byzantinische Reich im 7. Jahrhundert wieder stabilisieren. Obwohl die Balkanhalbinsel nun zum großen Teil von Slawen bewohnt war, herrschten die griechischen Kaiser bis Anfang des 9. Jahrhunderts über das Gebiet des heutigen Kosovo. Im Jahr 814 wurde die Region vom bulgarischen Zarenreich erobert. Nordwestlich des Kosovo begann im 10. Jahrhundert die Entstehung der ältesten serbischen Fürstentümer (Schmitt, 2008, S. 50). Seit dem frühesten 13. Jahrhundert unterlag die serbische Elite einem Prozess der Byzantisierung und zeitgleich abendländischen Einflüssen, da die Silbervorkommen im Gebiet des heutigen Kosovo nur mit Hilfe von deutschen Bergleuten erschlossen werden konnten. Der Bergbau erfuhr damals eine Hochblüte und die Verlagerung des Machtmittelpunktes nach Peje (Schmitt, 2008, S. 53).

Osmanische Einflüsse im Bauwesen

Nach dem Einfall der Osmanen (1385) kommt es 1389 zur Schlacht auf dem Amselfeld. Nach der Schlacht wurden die serbischen Fürsten, die den Kosovo beherrschten, zu osmanischen Vasallen. (Schmitt, 2008, S. 59) Mit der Einnahme von Konstantinopel 1453 gingen die Osmanen dazu über, den Kosovo direkt zu regieren. Seit 1455 war der Kosovo ganz unter osmanischer Herrschaft. Vom 15. bis ins 18. Jahrhundert wurden Gesellschaft und Wirtschaft überwiegend in den Dienst des Heeres gestellt (Schmitt, 2008, S. 63). Unter türkischer Herrschaft beginnt gleichzeitig die albanische Bevölkerung sich immer stärker auf dem Balkan auszubreiten. Begünstigt wird dieser Prozess in den nächsten Jahrhunderten durch mehrere Faktoren:

- Die Übernahme des Islam durch die Albaner macht diese zu bevorzugten Bürgern im Osmanischen Reich.
 - Aus den vergleichsweise kargen Gegenden des heutigen Nordalbanien wandern die Albaner aus wirtschaftlichen Gründen in die weitaus fruchtbareren Gebiete des Kosovo aus, was von den türkischen Behörden teilweise gefördert wird.
 - Gleichzeitig kommt es zu Auswanderungen der Serben
- (Schmitt, 2008, S. 70).

Die österreichisch-ungarische Armee wurde von den Albanern 1915 als Befreier begrüßt. Die Besatzungsmacht übergab die lokale Verwaltung in die Hände der Einheimischen und investierte in die Infrastruktur. Neben kriegswichtigen Straßen haben die Österreicher auch zahlreiche Grundschulen eingerichtet, in denen erstmals Unterricht in albanischer Sprache erteilt wurde. Nach dem Abzug der Österreicher im Herbst 1918 kam es zu Racheakten der zurückkehrenden serbischen Truppen an der kosovarischen Bevölkerung, weil diese mit dem Feind kollaboriert hatte (Schmitt, 2008, S. 84).

Die folgenden Unterbereiche in diesem Kapitel werden nach zeitlichen Epochen, die meist mit politischen Machtwechsel und damit verbundenen Kriegen und Änderungen in der Gesellschaft verbunden waren.

So werden die Epochen hinsichtlich des Bauwesens (auch Beispielobjekte zur Veranschaulichung werden dargestellt) folgendermaßen geteilt:

- Bis zum 19. Jahrhundert
- Zwischen dem 19. Jahrhundert bis 1950 (nach den beiden großen Weltkriegen)
- Zwischen 1950 und 1999 (letzter Krieg im Gebiet von Kosovo)
- Seit 1999 bis heute

Verwendete Baumaterialien und Beispielobjekte bis zum 19. Jahrhundert

Es wird eine Auswahl von Bauwerken im Kosovo, beginnend bei den Festungen aus dem 6. Jahrhundert bis zu den Kullas (Steinhäusern), welche auch heute noch in Verwendung sind, präsentiert. Diese Gebäude definieren bis heute das Erscheinungsbild vom Kosovo und sind Zeitzeugen der vergangenen Epochen.

Die Illyrer hatten durch die geografische Lage bedingt, vor allem feindliche Übergriffe der Römer und Makedonen zu verteidigen, was auch die Anzahl an Festungen in ihren Grenzgebieten erklärt. Diese Festungen (Abb.9) dienten in Friedenszeiten aber vor allem als Arbeits- und Handelsstätten der verschiedensten Berufsgruppen (Patsch, 1904, S. 91).

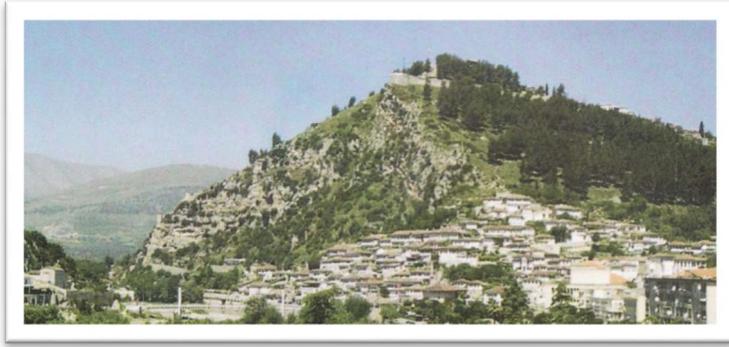


Abbildung 9: Illyrische Festung (Ceka, 2006)

Typisch für die illyrischen Städte oder Siedlungen war, dass sie sich meist auf oder um Hügeln bildeten und die Festung der Mittelpunkt war (Ceka, 2006, S 58.). Die Siedlungen entstanden sequentiell um die Festung herum und wurden auch durch eine Außenmauer geschützt. Damals schon gab es Architekten, die sich um die Anordnung der Häuser in den Siedlungen kümmerten, da die Häuser auf schiefen Ebenen errichtet wurden. Es wurden terrassenartig aus Steinen Ebenen geschaffen, auf welchen die Häuser errichtet werden konnten. Die Wege wurden ebenfalls terrassenartig angelegt und verbanden die verschiedenen Viertel der Städte. (Ceka, 2006, S 58). Typisch waren schon damals Vorbauten aus Holz, wie sie heute noch im volkstümlichen Wohnbau im Kosovo anzufinden sind (Ceka, 2006, S.59). Zheku (1973) beschreibt in seinem Beitrag der Reihe Monumente, aus den 70er Jahren, herausgegeben vom Ministerium für Bildung und Kultur in Tirana, die provisorischen Holz- und Steinhütten „Kasollat“ (Zheku 1973), welche seit der Bronzezeit in den Gebieten des heutigen Albanien und Kosovo bekannt sind. Diese Hütten werden teilweise heute noch im ländlichen und gebirgigen Raum im Kosovo gebaut und werden als typische albanische Bauwerke betrachtet.



Abbildung 10: Elipsodiale Kasolle mit Steinen und Strohdach im Gebirge von Albanien (aus: <http://www.kallabak.com/index.php?idm=194&mod=2>)

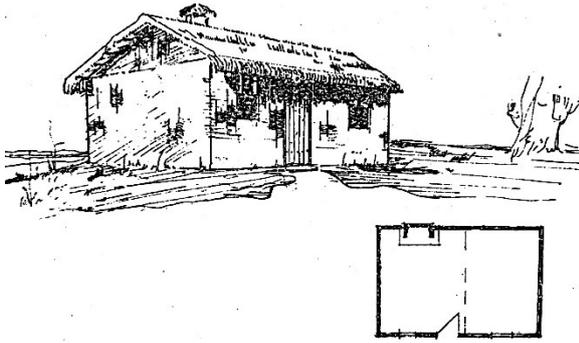


Abbildung 11: Kasolle aus Weide und Lehm (beide Abbildungen aus Krasniqi, 1971)

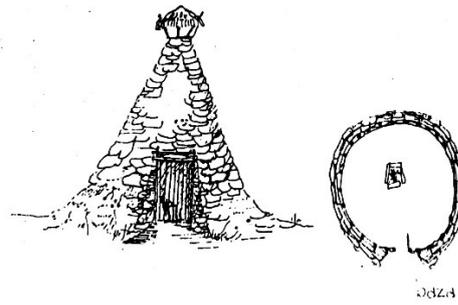


Abbildung 12: Kasolle aus Lehmziegel

Zheku (1973) unterscheidet vier Gruppen dieser „Kasollen“

- 1) runde Hütten oder Kasollen
 - a. werden in Kuppelform gebaut und aus Weidenstäben geflochten
 - b. mit vertikalen Latten aus Weidenholz

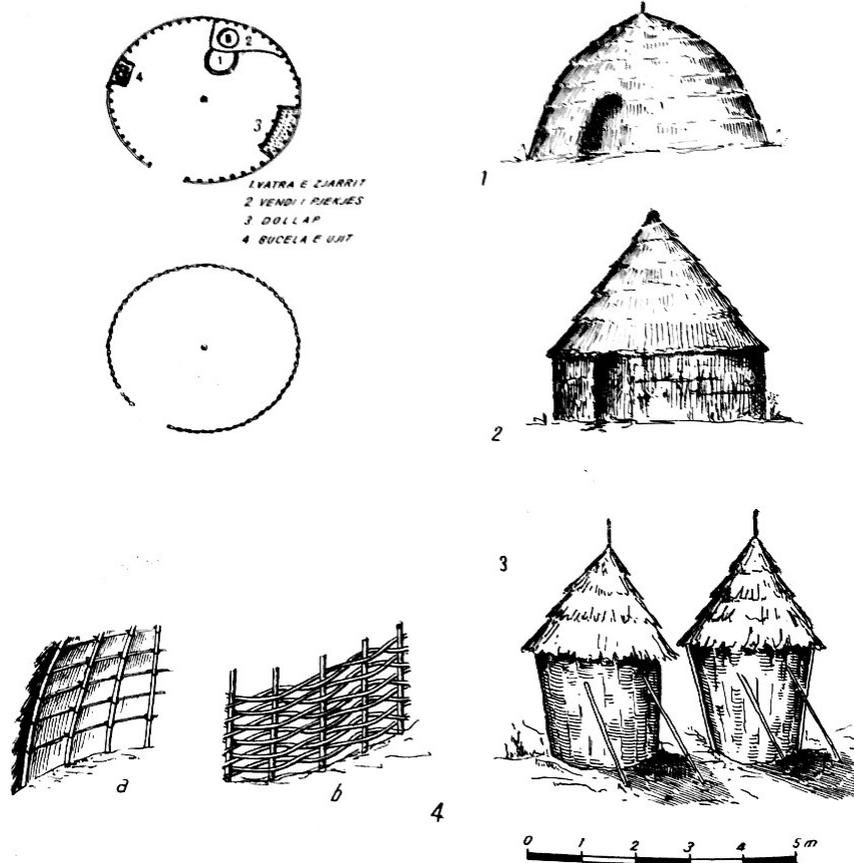


Abbildung 13: runde Kasollen aus Weidenstäben und vertikalen Latten (Zheku, 1973)

2) ovale Hütten

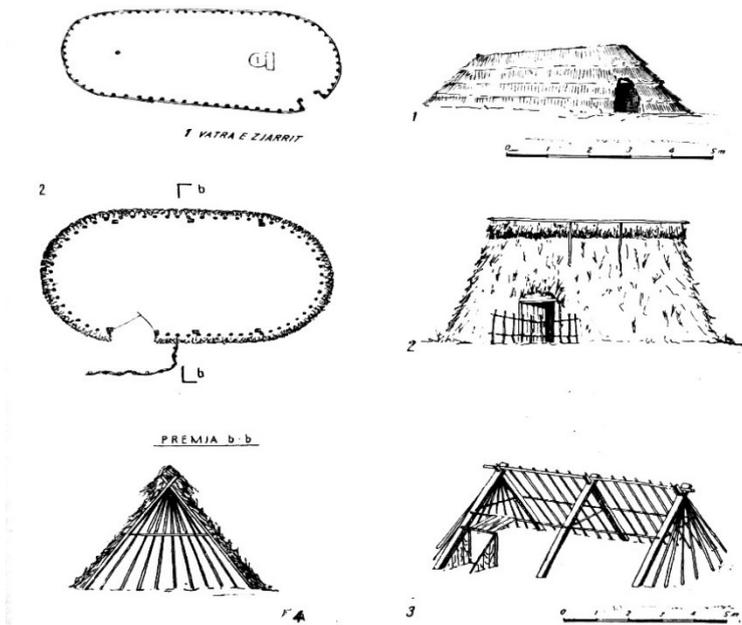


Abbildung 14: Ovale Kasollen: auf der Weidenkonstruktion wird Stroh befestigt (Zheku, 1973)

3) elipsodiale Hütten

- a. mit Bogenkonstruktionen (mit parabolischen Abschnitten)
- b. Konstruktionen mit dreieckigen Abschnitten
- c. mit vertikalen Latten aus Weidenholz

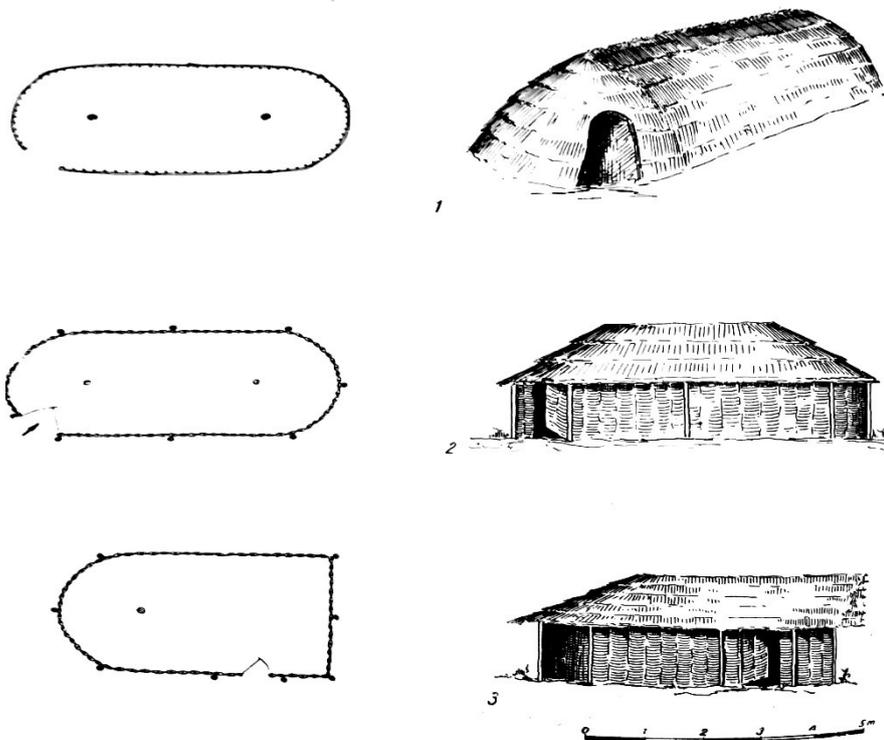


Abbildung 15: elipsodiale Kasollen (a bis c) aus Weidenstäbenkonstruktionen (Zheku, 1973)

4) apsidodiale Hütten

a. mit vertikalen Latten aus Weidenholz

b. mit Steinwänden

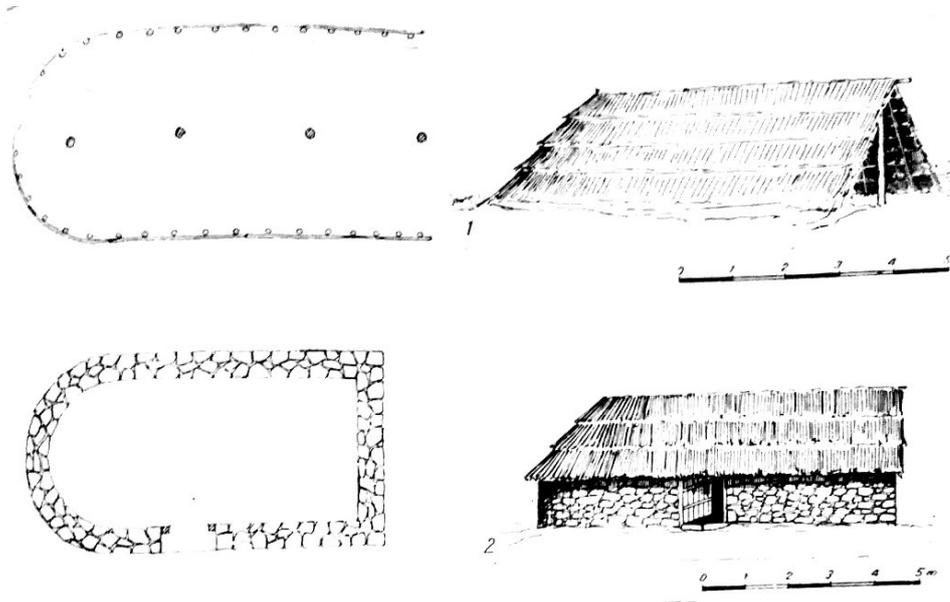


Abbildung 16: apsidodiale Hütten mit Weidenholzlatten und Steinwänden (Zheku, 1973)

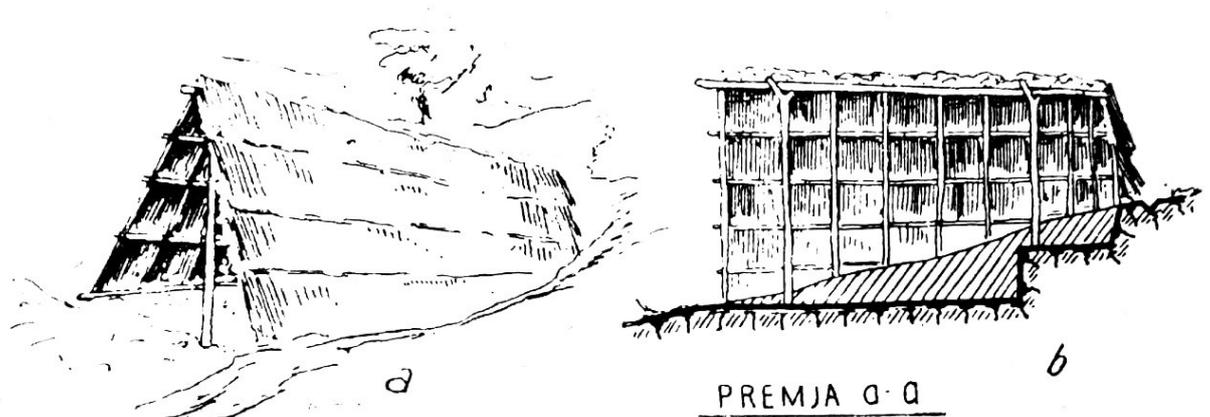


Abbildung 17: Schnitt einer apsidodialen Hütte aus Weidenholzlatten, angepasst an den hügeligen Untergrund (Zheku, 1973)

5) rechteckige Hütten

a. mit vertikalen Latten aus Weidenholz

b. mit vertikalen Lamellen aus Schilf

c. mit Holzkonstruktionen und Steinmauern

d. mit Steinmauern

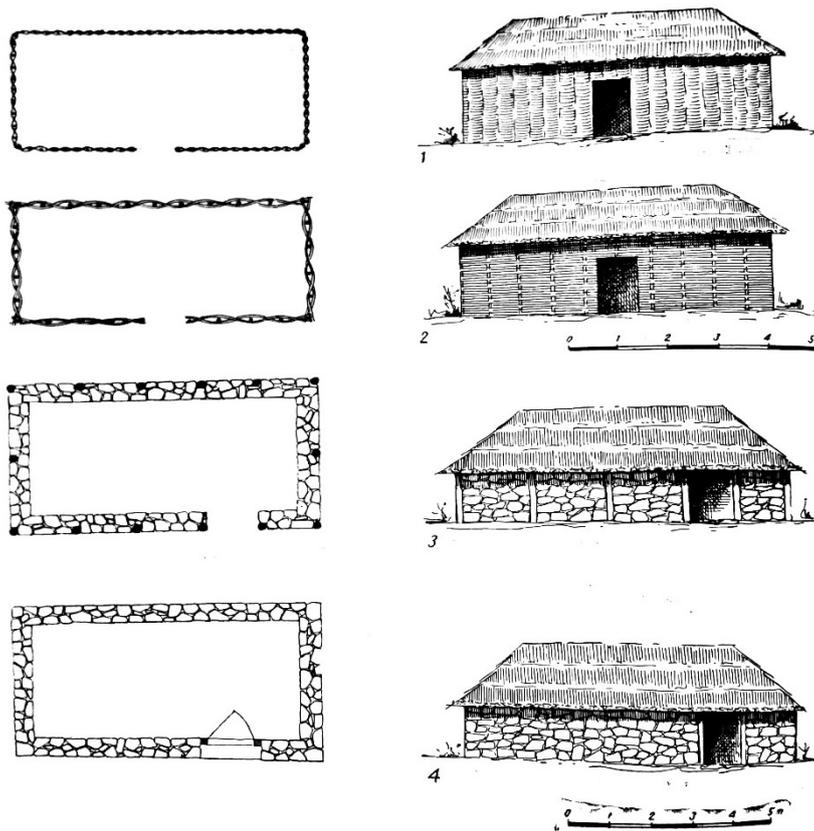


Abbildung 18: rechteckige Kasollen mit 4 verschiedenen Wänden (Grundriss und Skizze) (Zheku, 1973)



Abbildung 19: Skizze der Festung Kalaja in Prizren Abbildung 20: die Festung Kalaja heute (beide Abbildungen aus Ceka, 1997)

Festung Kalaja in Prizren (Abb.19 und 20): Der befestigte Platz wurde zum ersten Mal im 6. Jahrhundert v. Chr. erwähnt, ein weiteres Mal im 11. Jahrhundert n. Chr. Im mittelalterlichen serbischen Reich stand dort eine Festung. 1912 wurden die Zitadelle und die Gebäude gesprengt und aufgegeben. Im Festungsbereich sieht man Funde aus neolithischer und illyrischer Epoche (CulturalHeritageinKosovo,2004, S.65).

Als die Griechen im Kosovo präsent waren, wurden zur Erinnerung an die griechischen Siege oftmals Monumente erbaut (Ceka, 2006, S.153). Die verstärkten griechischen

Einflüsse zeigen sich besonders in der Entstehung und im Ausbau der befestigten Höhensiedlungen zu städtischen Zentralorten, was mit bedeutenden Veränderungen in der Wirtschaft und der Gesellschaftsstruktur verbunden war.

Die Römer haben viel an der Infrastruktur im Gebiet des heutigen Kosovo gebaut. Vor allem Straßen und Brücken wurden während der Zeit, als die Römer ansässig waren, gebaut.



Abbildung 21: eine Brücke im Stil römischer Architektur (Ceka, 1997)

Einflüsse von römischer Architektur sind heutzutage noch immer im Kosovo zu beobachten, vor allem im Straßenbau und bei Brücken (Abbildung 21).

Eine von vielen Folgen der slawischen Herrschaft im Kosovo ab dem 7. Jahrhundert, war der verstärkte Bau von Sakralbauten, wie z.B. das Patriarchenklster in Pejë (Abbildung 22): Der Gebäudekomplex stammt aus dem 11. bis 14. Jahrhundert, enthält Wandmalereien, Ikonen und Manuskripte von hohem Wert. Das Patriarchenklster ist bis heute nomineller Sitz des serbisch-orthodoxen Patriarchats. (Cultural Heritage in Kosovo, 2004, S. 20). Da in dieser Zeit auch intensiver Bergbau betrieben wurde und vor allem Gold- und Silbervorkommen behoben wurden, konnten teilweise sehr prächtige sakrale Bauten erbaut werden.



Abbildung 22: Patriarchenklster in Pejë (Ceka, 1997)

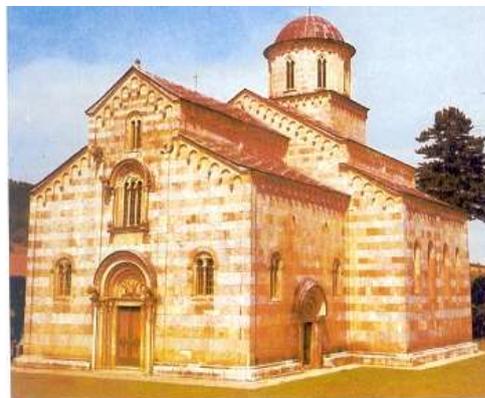


Abbildung 23: Klster in Deqan (Ceka, 1997)

Das Kloster Deçan (Abb.23): Das Kloster wurde im 14. Jahrhundert erbaut, die Hauptkirche ist eines der seltenen Beispiele für den Einfluss romanischer und gotischer Architektur auf dem Balkan. Berühmt ist das Kloster für seine Wandmalereien (Cultural Heritage in Kosovo, 2004, S. 23). Im 14. Jahrhundert dominiert der von den orthodoxen Patriarchaten beeinflusste byzantinisch-kosovarische Stil, der vorwiegend im sakralen Bereich sichtbar wurde.

Neben den oben angeführten Objekten sind noch das Erzengelkloster in Prizren zu erwähnen (Abb.24). Das Kloster wurde im 14. Jahrhundert erbaut und enthält die Grabstätte des serbischen Königs Stefan Dušan. Hier sind westliche Elemente, wie dalmatische und italienische Einflüsse zu sehen. Vor allem die Türen und Fenster sind im romanischen Stil angelegt. Am Ausgrabungsort sind die Fundamente zu sehen (Cultural Heritage in Kosovo, 2004, S. 30).



Abbildung 24: Erzengelkloster in Prizren (Ceka, 1997)

Meksi (vgl. Monumentet, 1973) beschreibt ausführlich eine im Jahr 1432 erbaute Kirche des heiligen Sankt Nikolaus in Perondi im heutigen Albanien. Diese Kirche ist im byzantinischen Stil erbaut und typisch für sakrale Gebäude damals, welche im Kosovo und Albanien erbaut wurden. Meksi (1973) unterscheidet drei Bauweisen, welche in dieser Kirche angewandt wurden:

- Mauern, die aus Ziegelsteinen gebaut wurden, welche stufenweise horizontal geordnet werden und dann in bogenförmigen Anordnungen die Mauern abschließen.
- Mauern aus unregelmäßigen, handgeschliffenen Steinen und Ziegelsteinen mit einer Steinlänge von 32 cm, wobei teilweise große Fugen von mehreren Zentimetern entstanden sind. Türen oder Fensteröffnungen werden mit radial

angeordneten Ziegelsteinen oben abgeschlossen und wurden offenbar im Laufe der Zeit mit den unregelmäßigen und geschliffenen Steinen geschlossen. Dies ist eine Praxis, die bis heute in verschiedenen Bauwerken auch im Wohnbereich, im Mittelalter in Albanien und im Kosovo verwendet wurde.

- Mauern, welche aus einigen Reihen Steinen und einigen Reihen Ziegelsteinen gebaut wurden. Dieser Baustil wurde verwendet, wenn Mauern offenbar bei Erdbeben oder anderweitig zerstört wurden und dann durch einheitliche Reihen mit Ziegelsteinen oder eben den handgeschliffenen Steinen aufgebaut wurden.

Meksi (1973) hat im Rahmen der Untersuchungen dieser Kirche in Perondi neben den Tatsachen, dass zerstörte Mauern offenbar nicht neu erbaut, sondern mit vorhandenen Baumaterialien, eben je nachdem, Steinen oder Ziegelsteinen, ergänzt wurden. Es entstanden somit nicht nur unregelmäßige Mauern, sondern auch teilweise Mauern mit unterschiedlichen Dicken. Diese Bauweise hat deswegen funktioniert, da die Kirche durch mehrere Säulen gestützt wurde und offenbar durch die immer wieder bogenförmig gelegten Ziegelsteine, vor allem bei den Türen und Fenstern, die Mauern eine gute Druckbeanspruchbarkeit aufwiesen.

Ab der zweiten Hälfte des 14. Jahrhunderts kommt der Kosovo unter osmanische Herrschaft. Während dieser Zeit der Herrschaft geraten vorwiegend die Städte immer mehr unter orientalischen Einfluss, da ja auch dort die Verwaltung und Oberschicht ansässig sind.

Zusätzlich wird der islamische Kulturaspekt immer deutlicher sichtbar, zeitgleich mit der Islamisierung der Bevölkerung. Dies unterbricht den byzantinisch-christlichen Einfluss. Da die osmanische Herrschaft einige Jahrhunderte dauerte, ist deren Einfluss auf die Kultur und andere Bereiche, wie Bauwesen und verwendete Materialien sichtbar immer in symbiotischer Verbindung mit ethnischen Motiven und Kenntnissen der albanischen Baumeister, die auf jahrhundertealte Traditionen bauten. Daraus entstand eine einzigartige Kultur, Architektur und Kunst, die zusätzlich regional unterschiedlich war.

Bei den Baudenkmalern muslimisch-osmanischer Architektur im Kosovo handelt es sich vor allem um Moscheen, Badehäuser (Hammam) oder Mausoleen (Türbe).

Rote Moschee in Pejë: Seinen Namen hat das Gebäude von den roten Ziegelsteinen, mit denen es 1759/60 erbaut wurde. Die Moschee wurde 1999 weitgehend zerstört (Cultural Heritage in Kosovo, 2004, S.56).

Kurshumli-Moschee (deutsch: Bleimoschee) in Pejë: Das Gebäude aus dem 16. Jahrhundert wurde in der Ära Tito zunächst als Munitionsdepot benutzt und durch eine Explosion zerstört. Seit 1965 war es – wiederaufgebaut – eine Moschee. 1999 wurde es niedergebrannt (Cultural Heritage in Kosovo, 2004, S. 59).

Llapit (Lap) Moschee in Prishtina: die 1470 gebaute Moschee ist eines der ältesten Baudenkmalen in Prishtinë. Sie wurde im Jahr 1999 durch einen Brand zerstört (Cultural Heritage in Kosovo, 2004, S. 61).

Der Große Hammam (Großes Badehaus) in Prishtinë (Abb. 25) wurde am Ende des 15. Jahrhunderts in unmittelbarer Nachbarschaft der Sultan Mehmet-II.-al-Fatih-Moschee erbaut. Das Gebäude ist eines der wenigen noch erhaltenen Beispiele für osmanische Badehäuser im Kosovo (Cultural Heritage in Kosovo, 2004, S. 69).



Abbildung 25: Hammam in Prishtinë



Abbildung 26: Hadum Moschee in Gjakove

Die Hadum-(Khadim)-Moschee in Gjakovë (Abb. 26): diese Moschee wurde Ende des 16. Jahrhunderts errichtet. Ursprünglich bildete sie mit Schulen und islamischer Bibliothek ein einzigartiges Ensemble in der Altstadt, dieses wurde 1999 zerstört (Cultural Heritage in Kosovo, 2004, S. 85).

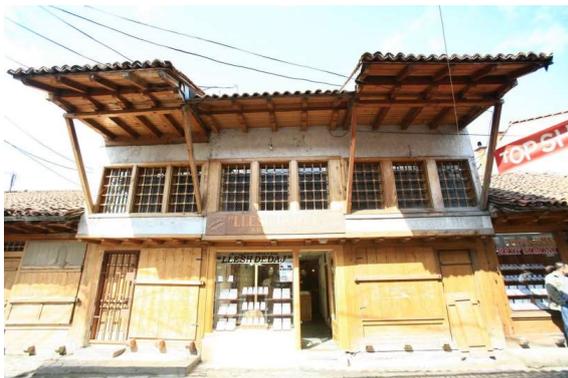
Diese islamisch-kosovarischen Architekturbeispiele in ihrer Einfachheit und Klarheit, gemeinsam mit architektonisch-konstruktiven Elementen, die dennoch vollendet in

ihrer Ästhetik sind, umfassen die gesamte Bandbreite der islamischen Kunst, doch immer mit Bezug zur weltlichen und westlichen Kultur.

Während der osmanischen Periode ist eine beachtliche Anzahl von architektonischen Werken entstanden, religiös-sakrale, aber auch weltliche, mit Gebrauchszweck im privaten und öffentlichen Bereich, wie zum Beispiel die klassischen Moscheen, Mausoleen, Tekken, Schulobjekte, Bibliotheken, Hammame, Komplexe, wie Einkaufsviertel, Steinbrücken, Brunnen, Uhrtürme, Mühlen, neben den Wohnobjekten, welche teilweise heute noch erhalten sind.

In der klassischen sakralen Architektur im Kosovo im 15. bis 17. Jahrhundert werden Konstruktionselemente verwendet, die als Balken konzipiert, eine dreidimensionale Ansicht zusätzlich reizvoll machen. Holzbalken werden als einfache konstruktive Elemente und in schnörkelloser Weise ästhetisch verwendet. Die Eingänge sind meist durch Vorbauten mit Dach versehen. Die Kuppeln, die manchmal sehr große Durchmesser erreichen können, durchbrechen eine etwaige Monotonie und geben dem gesamten Gebäude ein ästhetisches Aussehen. Die am häufigsten verwendeten Farben sind blau, grün, rot, ocker (in mehreren Nuancen).

Neben den sakralen Bauten, welche in der osmanischen Zeit erbaut wurden, wurden in vielen bedeutenden Städten Einkaufsviertel (Abb.25 bis Abb.28) angelegt (Qarshi). Diese Viertel visualisieren ein einzigartiges Phänomen, nämlich die Agglomeration der historischen Einflüsse im Kosovo und auch auf dem gesamten Balkan.



Abbildungen 27 und 28: Geschäftslokal aus Holztragwerken mit Sichtschutz- und Sonnenklappen

Diese Holztafeln (Abbildungen 27 und 28) werden auch zum Schutz vor Einbrechern nach Geschäftsschluß heruntergeklappt und verschlossen. Die massiven Balken werden mit Holzlatten verbunden und schützen das Gebäude.



Abbildung 29: Vorbautragkonstruktion aus Holz



Abbildung 30: Ecklokal aus Holz

Balken in unterschiedlichen Formen und Ebenen bilden ein abgestuftes Decken- und Vordachelement eines Geschäftes in Gjakova. In Abbildung 27 bis 30 sind typische Geschäftslokale, wie sie im 17. Jahrhundert unter der osmanischen Regierung erbaut wurden. Sie wurden während des Krieges 1999 zum Großteil zerstört, mit Unterstützung der UNESCO aufgebaut wurden. Beachtlich ist hier das Wissen von alten Baumeistern bezüglich von Holztragewerken, wie dies zuvor in Abbildung 27 und 28 mit den mächtigen Holzklappen demonstriert wird, welche als Schutz und Fassade dienen. In den Städten wurden im 17. Jahrhundert noch kunstvolle Tragwerkskonstruktionen, vor allem im Bereich der Erker der Bürgerhäuser, gebaut. Als ein Beispiel sei hier in Abbildung 31 die Skizze des in der Mitte des 17. Jahrhundert erbauten Hauses von Xhelal Pula in Gjakova erwähnt:

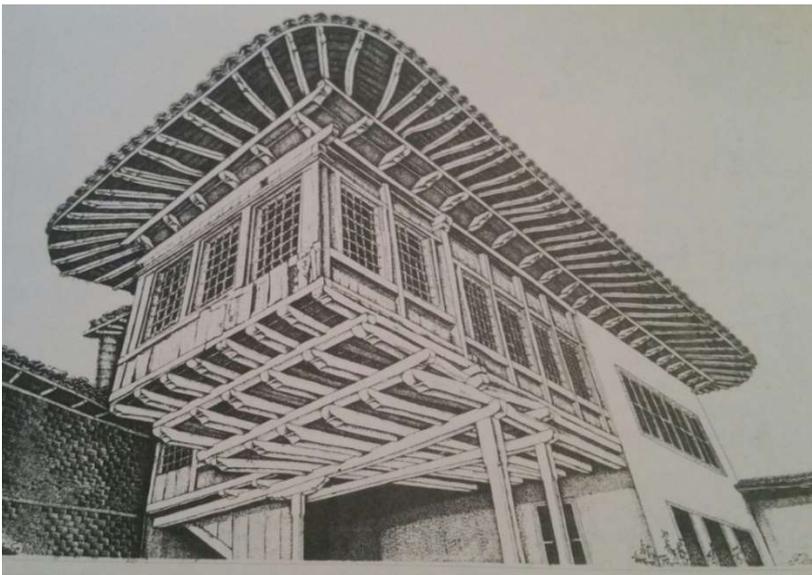


Abbildung 31: Erker aus Holz auf einer dreistufigen Balkentragwerkslösung und Holzbalkendachstuhl mit Vordachbalken (erbaut Mitte des 17. Jahrhunderts, aus Doli, 2001)

Die Holzerker wurden meist aus unbehandeltem Eichenholz gebaut. Besonders auf die kunstvoll gefertigten, jedoch gleichzeitig hochfunktionalen Balkenkonstruktionen, wurde durch die Bauherren geachtet.

Turmhäuser (Kullas):

Die Kullas sind festungsartige Häuser für Großfamilien. Sie gelten als typische Beispiele albanischer Architektur. Sie dienten auch zur Verteidigung vor feindlichen Clans und waren daher festungsartig gebaut. Die Decken waren aus massiven Holzbalken mit Holzlatten dazwischen (Abbildung 32)

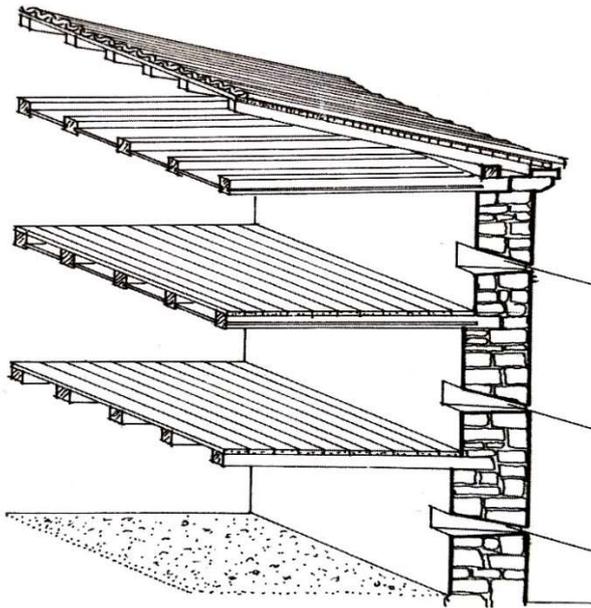


Abbildung 32: Holzbalkendecken in einer Kulla mit Hohlräumen. (Drancolli, 2001)

Von den ursprünglich 2000 Kullas im Kosovo wurden viele in den Jahren 1998/99 zerstört. Die Kullas in Deçan/Dečani stammen aus dem 18. bis frühen 20. Jahrhundert.

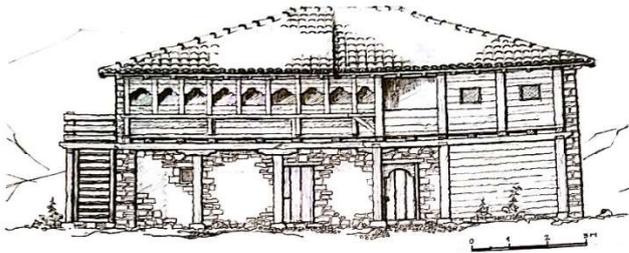


Abbildung 33: eine Kulla in Peje (Doli, 2001)

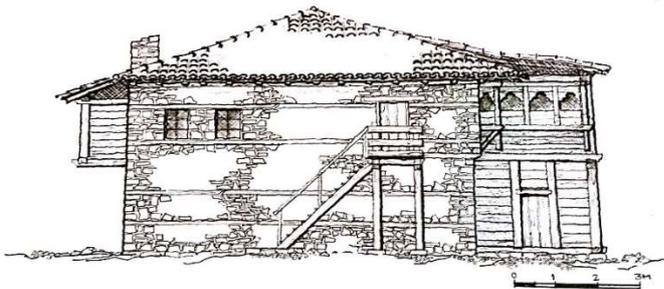


Abbildung 34: Kulla in Decan/ Kosovo (Doli, 2001)

In Abbildung 33 ist eine typische Kulla zu sehen, die massive Steinbauweise ist hier noch gut erhalten. In Abbildung 34 eine Kulla in Decan/Kosovo, mit einem Holzverbau und der Eingangsmauer, hinter welcher sich eine überdachte Lagermöglichkeit für die Ernte befindet. Diese Steingebäude wurden oft mit Holztragwerken kombiniert, welche meist in Form von Zubauten oder Erkern, welche aus massiven Balken gefertigt wurden (Abbildung 35)



Pamje kryesore.



Pamje anësore.

Abbildung 35: Vorder- und Seitenansicht einer Kulla mit Holztragwerk (Drancolli, 2001)

Bei den Holzdecken wurde kunstvolle Drechslerarbeit eingesetzt. Je kunstvoller und prunkvoller eine Decke war, umso reicher und mächtiger galt der Besitzer der Kulla (Drancolli, 2001)



Abbildungen 36 und 37: zwei Holzdecken in den Oden der Kullas, Holzkunst hat im Kosovo eine lange Tradition (aus Drancolli, 2001)

Typisch sind die wunderschön gearbeiteten Holzdecken, die in keinem albanischen Wohnzimmer in einer Kulla fehlen sollten (Abb. 36 und 37). Die Kullas sind aus Stein und Holz errichtet. Eine wunderschöne Tradition mit jahrhundertealter Erfahrung). Mark Krasniqi (2005) hat in seinem Werk „Mikpritja ne traditen shqiptare“, was ungefähr mit Gastfreundschaft in der albanischen Tradition übersetzt werden kann, den Einfluss des hohen Stellenwertes von Gästen in der albanischen Kultur auf die traditionelle Architektur, beschrieben. Er bezieht sich dabei auf die Kullas.

Wie Krasniqi (2005) öfters betont, sind für die Albaner die Häuser nicht nur Wohnstätte und Lebensraum, sondern auch Statussymbol der Großfamilien, die in diesen Kullas wohnen und pflichtbewusst und streng geregelt, Gäste empfangen.



Abbildungen 38: Balkendecke aus Eichenholz aus einer Kulla

In Abbildung 38 sind die grob gearbeiteten Balkendecken aus einer Kulla zu sehen. Meist wurde Edelkastanien- und Eichenholz verwendet. Zwischen den Holzlatten wurde eine Lehm-Stroh Mischung eingebracht, mit dem Ziel eine Wärme- und Schalldämmung zu erreichen. Beide Dämmungen waren in den kalten Kullas wichtig, auch die Schalldämmung, die Geräusche aus den oberen Wohnbereichen somit nicht nach unten drangen.

Eine weitere Erklärung für die oftmals großen und weiträumigen Kullas ist jener Aspekt, dass bei den Albanern ein schönes und großes Haus weitaus wichtiger ist als materieller Besitz und sogar manchmal wichtiger als die Grundversorgung des Alltags, wie Essen und Heizen (Krasniqi, 2005).

Verwendete Baumaterialien und Beispielobjekte im 19. Jahrhundert

Das 19. Jahrhundert war jenes, in welchem das albanische Nationalgefühl erwacht ist und verschiedene nationale Strömungen am Balkan aktiv waren. Feudalismus war im Kosovo auf dem Höhepunkt und der Kapitalismus im Zuge der industriellen Revolution war auch vor allem in den kosovarischen Städten bemerkbar. Die Zeit von den 30er Jahren des 19. Jahrhunderts bis Ende 1912 ist die Zeit des wirtschaftlich-brüderlichen Kapitalismus, die Zeit der Formierung des albanischen Staates und die Entstehung der bürgerlichen Oberschichte, sowie der nationalistischen albanischen Bewegung.

Auf den Wohnbau bezogen, wurde stark sichtbar, wer reich und wer arm war, da vor allem in den privaten Häusern zur Schau gestellt wurde, was vorhanden war. Doch auch während dieser Zeit wurde vorwiegend von albanischen Baumeistern gebaut, die auch Wünsche nach fremden Vorgaben (wie osmanische Herrschaftshäuser) mit albanischen Elementen und Bauweisen vermischten. Das typische städtische Haus im Kosovo im 19. Jahrhundert, hat unverkennbar antike Wurzeln. Diese Häuser, die in Städten, wie Peje, Gjakova, Prizren usw. zu finden sind, haben oftmals einen Grundriss, welcher jenen Häusern aus der Antike ähnlich ist (Doli, 2001).

Die hohen Mauern, die das Grundstück, auf welchem sich das Haus befindet, umgeben, sind eine fortwährende Tradition im Kosovo, die auf die Festungsmauern in der Antike zurückzuführen ist.

Auch der Korridor, welcher als weiter offener Raum im Haus einlädt, ist von Häusern aus der Antike bekannt.

Typisch für albanische Bauweise sind auch die erkerförmigen Vorbauten, die teilweise an die Pfahlhäuser aus der illyrischen Zeit erinnern (Abbildungen 40 und 41).

2.2 Historische Entwicklungen

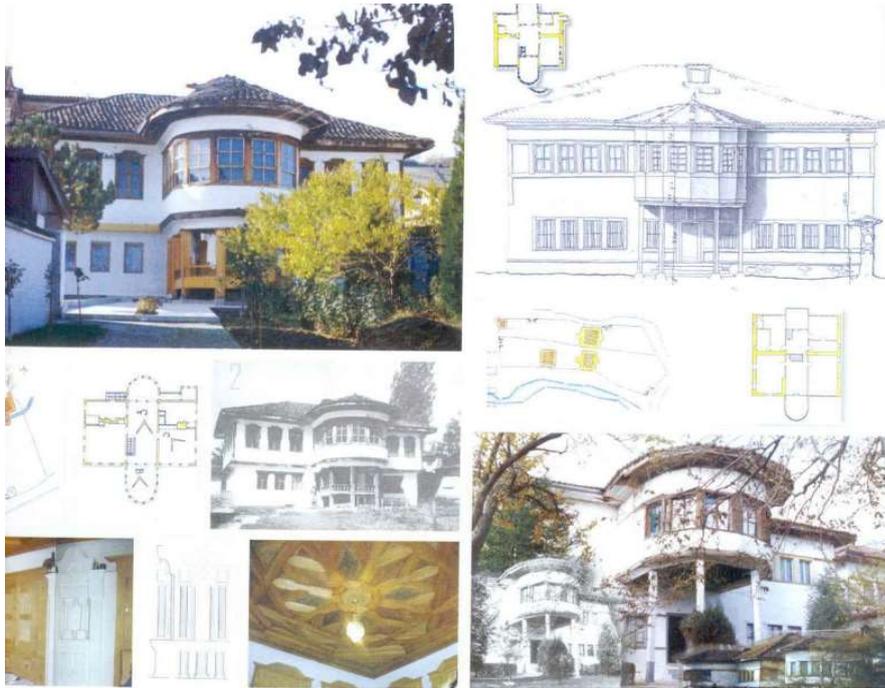


Abbildung 39: ein typisches altes Bürgerhaus in Gjakova mit den Planskizzen und Bildern von der Inneneinrichtung

In Abbildung 39 ist ein Wohnhaus aus Gjakova (die Häuser wurden nach ihren Bauherren und Besitzern genannt, in diesem Fall Tafe Aliages), welches im Jahr 1839 erbaut wurde. Der Hauptecker ist der zentrale Blickpunkt. Seitlich wurde je nach Grundstücksverhältnissen, auch ein oder zwei Erker, jedoch kleiner errichtet. In dieser Zeit (18. bis 19. Jahrhundert) wurden in den Städten, welche noch unter osmanischer Verwaltung standen, teilweise sehr kunstvolle Holzschnitzarbeiten für die Ausstattung der Wohnzimmer gearbeitet.



Abbildungen 40 und 41: Vorderansicht des Hauses aus Abbildung 39, typisch ist hier der Erker, welcher auf Säulen ruht und hier auch die Verbindung zu den alten illyrischen Gebäuden besteht.

In den Räumlichkeiten, wo gearbeitet wurde, blieben die Decken fast gleich, wie bei den Kullas. Vor allem in den Küchen und Lagerräumen. In den Abbildungen sind Holzdecken aus dem Haus von Abbildung 40 und 41 im Erdgeschoss zu sehen.



Abbildung 42 und 43: Holzdecke und Säulen im Erdgeschoss

In den Aufenthaltsräumen der Frauen und Kinder waren auch Holzdecken in guter Drechslerqualität vorhanden, jedoch nicht so kunstvoll gearbeitet, wie in den Wohnzimmern oder Salons. Der kunstvolle Einsatz von Holz in den Wohnräumen hat im Kosovo und Albanien eine lange Tradition. Meist beschränkten sich die kunstvollen Arbeiten auf die repräsentativen Räume, sowohl in den Kullas, als auch in den feudalen Wohnhäusern in den Städten.

Verwendete Baumaterialien und Beispielobjekte vom 19. Jahrhundert bis 1950

Wohnbau und Architektur waren von den damaligen politischen und wirtschaftlich schwierigen Zeiten stark beeinflusst, im Sinne, dass keine nennenswerten urbanen Pläne umgesetzt wurden. Die Bevölkerung hatte kaum Möglichkeiten zu bauen und es kam zu einem fast unheimlichen Stillstand.

Die serbische Regierung ließ immer wieder Wohneinheiten für serbische Siedler errichten, doch diese wurden von den angesiedelten Serben verkauft, da der Kosovo zu jener Zeit wirtschaftlich sehr schwach war. Die nachfolgende schwierige politische Situation, welche mit der wirtschaftlichen Krise einherging, führte zu einer Stagnation in der Entwicklung des Wohn- und öffentlichen Bauwesens.

Verwendete Baumaterialien und Beispielobjekte zwischen 1950 und 1999

Im Kosovo wurde vor allem in den Städten durch die kommunistische Regierung das Stadtbild stark verändert. Es wurden vermehrt Betongebäude mit schlichten Fassaden und dezenten Farben gebaut. Keine ausgefallenen Objekte oder gewisse Stilrichtungen wurden in jener Zeit zugelassen.



Abbildung 44: die Post in Gjakova



Abbildung 45: ein Bankgebäude in Gjakova

Die Architektur beginnt erst in den 80er Jahren einen wichtigen Platz im Bauwesen einzunehmen und es wird vermehrt in öffentliche Gebäude (Abb. 44 und Abb.45) investiert.



Abbildung 46: ein Wohnkomplex in Gjakova



Abbildung 47: schlichte Betongebäude

Die Albaner schickten aus der Emigration vermehrt Geld und es begann auch beim individuellen Wohnbau verstärkt der Bauherr darauf zu achten, welches Objekt er haben möchte – traditionelle Elemente begannen daraufhin fast vollständig aus den Häusern im Kosovo zu verschwinden. Eine Entwicklung von unübersehbaren Stilen und persönlichen Vorlieben führte zu einem uneinheitlichen, kommunistisch geprägten Stadtbild und Landschaftsbild.

Verwendete Baumaterialien und Beispielobjekte seit 1999

Die Infrastruktur und Wirtschaft hat sich noch immer nicht von diesen enormen Schäden erholt. Es ist zwar ein Bauboom im Kosovo seit 1999 zu beobachten, doch mangels geeigneter Verwaltung wird an vielen Orten unkontrolliert und willkürlich gebaut. Es existieren zwar formal die zu jugoslawischen Zeiten zwischen 1967 – 1990 entwickelten Bebauungspläne (regulatory plans), aber niemand beachtet sie (Vöckler, 2008, S. 42) Nach dem Ende des Krieges war der Kosovo total der UNO unterstellt, die eine provisorische Verwaltung aufgestellt hat. Am 17. Februar 2008 wurde dann die Republik Kosovo proklamiert. Der Kosovo ist heute mehrfach von einer dynamischen, jedoch unkontrollierten Entwicklung betroffen, sei es von baulicher, sozialer oder menschlicher Perspektive betrachtet.

Die Entwicklung der Architektur im Kosovo nach dem Krieg nahm eine konträre Richtung zur Entwicklung, die vor dem Krieg stattgefunden hatte.

Die Bautätigkeit im Kosovo wurde durch dynamische und unkontrollierte Impulse vorangetrieben, vor allem von den Auftraggebern, den Urbanisten in den Städten und den Baumeistern – die Veränderung der Städte wurde radikal immer sichtbarer, wobei immer weniger von Städten aus der Sichtweise von urbanistischen Vorlagen (ob moderner oder klassischer Urbanismus) gesprochen werden kann.



Abbildung 48: mehrgeschossiges Wohngebäude aus Tonziegeln.



Abbildung 49: Stadtzentrum in Gjakova, welche auch dort den „Turbourbanismus“ veranschaulicht.

Die Bauobjekte werden in unterschiedlichen Stilen und architektonischen Ansätzen gebaut, wobei eine Gleichmäßigkeit nicht vorhanden ist, sondern impulsive Wünsche sofort umgesetzt werden. Die Umgebung wird kaum beachtet, die Ästhetik missachtet.

Diese „Wildbauten“, meist sind sie groß und voluminös, werden ohne angegebenen Verwendungszweck (Wohnen, Gewerbe, Bildungsinstitution etc.) gebaut und stehen zumeist unfertig gebaut (Abb. 48), ohne Sicherheitsstandards oder urbane Regeln zu beachten. Die Objekte unterscheiden sich äußerlich sehr voneinander und ergeben ein heterogenes und somit sehr unruhiges Stadtbild (Abb. 50 und 51).



Abbildungen 50 und 51: Gebäude in Gjakova - im Erdgeschoss befinden sich die Geschäftslokale und oben Wohnungen. Materialien sind ausschließlich Beton, Glas und Ziegelsteine.

Die Ansprüche im Kosovo, sich an westlichen Normen und Standards zu orientieren, jedoch gleichzeitig „Herr im eigenen Haus“ zu sein, führen unter anderem zu diesen willkürlichen Objekten.

Architekten sind lediglich zeichnerische Umsetzer der Wünsche der Auftraggeber und ihre Kreativität und ihr technisches Wissen wird komplett negiert. Wo die Ursachen für diesen willkürlichen „Bauindividualismus“ liegen, ist nicht einfach festzustellen, ob in der provisorischen schwachen Regierung, in der schwachen Wirtschaft oder gar bei den Bauingenieuren und Architekten, die tatenlos bei diesen disharmonischen und unkontrollierten Bautätigkeiten zugesehen haben, ohne sich jemals öffentlich darüber zu beschweren. Auch wenn Hoffnung besteht, dass die Bauwerke, vor allem jene, die nach dem Krieg errichtet wurden, ordnungsgemäß erfasst werden und analysiert werden, können kaum alle jene Schwierigkeiten, die in der Planung und Errichtung von Bauobjekten bestehen, so einfach bewältigt werden.

Folgende Überlegungen geben einen Überblick über die aktuellen Herausforderungen:

- Die meisten Objekte wurden von dem Auftraggeber ohne Baubewilligung, ohne architektonische Pläne und ohne Zuhilfenahme von Bauingenieuren, gebaut.
- Es werden meist unkontrollierte und ungeprüfte Baumaterialien verwendet, die zumeist aus Ländern importiert werden, die nicht bekanntgegeben werden und auch die Qualität der Baumaterialien ist nicht immer vordergründig.
- Die Preisverhältnisse zwischen den unterschiedlichen Objekten sind nicht nachvollziehbar, einerseits enorm hoch, andererseits dermaßen billig, sodass kaum von qualitativer Arbeit gesprochen werden kann.
- noch im Jahre 1999/2000 wird mit einfachen Methoden gearbeitet, doch seitdem findet ein regelrechter Konkurrenzkampf zwischen den Firmen statt, wer die modernsten Verarbeitungsmöglichkeiten anzubieten hat – dies bei hauptsächlich unqualifizierten Mitarbeitern, die kaum mithalten können bei den Anforderungen, welche die Firmen an sie stellen.
- die meisten Objekte werden aus Stahlbeton hergestellt mit Sand, der oftmals ungereinigt verwendet wird und somit die Betonqualität massiv beeinträchtigt.
- in einigen Fällen werden auch Stahlkonstruktionen verwendet, jedoch meist bei Objekten für eine befristete Dauer oder Lagerhallen.
- Holz wird im derzeitigen Bauwesen im Kosovo kaum verwendet, hauptsächlich für die Dachstuhlkonstruktionen, für Fenster und Türen. Doch auch bei den Fenstern und Türen setzen sich immer mehr Produkte aus Plastik durch – vor allem aus der Türkei importiert, Ware aus westlichen Ländern wird kaum verwendet, da zu teuer. Ebenso wird Holz für Verschalungen verwendet. Diese Tatsache ist umso bedrückender, da im Kosovo die Verwendung von Holz im Bauwesen eine lange Tradition hat und vor allem im Wohnbau eine wichtige Rolle gespielt hat, sowohl im konstruktiven, als auch im dekorativen Bereich.

Exkurs: Turbourbanismus am Beispiel der Hauptstadt Prishtina als Risikofaktor in der Entwicklung des Bauwesens im Kosovo

Die Schwierigkeiten im Bauwesen im Kosovo resultieren nicht zuletzt aus einer unkontrollierten Bautätigkeit vor dem Hintergrund von schwacher wirtschaftlicher Lage, unrealistischen Ansprüchen an die Wohnraumgestaltung (getragen von traditionellen Leitbildern – siehe „Familienurbanismus“) und mangelnden Institutionen zur Überprüfung und Genehmigung von Bauanträgen.

Besonders deutlich ist diese Entwicklung in Prishtina zu sehen, diese Stadt ist auch als Beispiel für die anderen Städte im Kosovo anzusehen. Die derzeitige Situation im Bauwesen im Kosovo, wird vor allem von schnellem und billigem Bauen geprägt. Faktoren wie nachhaltiges, ökologisches und vor allem ästhetisches Bauen existieren nicht.

Im Kosovo findet seit dem Ende des Krieges eine regelrechte Landflucht statt, ebenso sind viele Exilalbaner zurückgekehrt, ausländische Organisationen und Firmen, aber auch die dynamische Bevölkerungsentwicklung führen zu steigender Nachfrage nach Wohnmöglichkeiten (Vöckler, 2008, S. 37).

Dieser massive Bevölkerungsanstieg in Prishtina, aber auch in anderen kosovarischen Städten, führt zu einem großen Wohnraumbedarf, der wiederum unter unklaren Rechtsbedingungen nur schwach oder gar nicht funktionierenden staatlichen Strukturen, starke Bautätigkeiten auslöst. Es treffen hier informelle lokale Beziehungsnetzwerke auf sich verändernde oder sich erst im Aufbau befindliche staatliche Strukturen und auf eine internationale Verwaltung, die ebenfalls mit einem undurchschaubaren Geflecht von semistaatlichen, lokalen wie internationalen Organisationen verflochten ist (Vöckler, 2008, S. 37).

Wie in Kapitel 2.4 genauer beschrieben, ist der Wohnbau im Kosovo im städtischen, ländlichen und gebirgigen Bereich unterschiedlich ausgeprägt. Die starken Veränderungen im Verwaltungsbereich und auf sozialer Ebene (vor allem durch die starke Emigration der letzten Jahrzehnte geprägt) haben zu einer willkürlichen und spontanen Ausdrucksform in der Urbanisierung des Kosovo geführt - ein Haus zu bauen ist im Kosovo genauso Privatsache, wie Inneneinrichtung auszuwählen – ungeachtet der Umgebung und Infrastruktur, wird gebaut, was das Herz „begehrt“.



Abbildung 52: ein Hotel, ein Betontragewerk mit verspiegeltem Glas

Kai Vöckler hat in seinem Werk über die Schwierigkeiten des Urbanismus im Kosovo (Vöckler, 2008, S.13) beschrieben, wie sich der Freiheitsdrang und Wunsch nach Internationalität entgegengesetzt zu traditionellen und wirtschaftlich bedingten Einschränkungen in teilweise obskuren Bauobjekten widerspiegelt, wie dies zum Beispiel in Abbildung 52 zu sehen ist, ein Hotel im „Hollywoodstil“.

Exkurs: Urbanismus in Gjakova

Die Entwicklung des Urbanismus in der Stadt Gjakova ging nur langsam voran. Dieser ist gekennzeichnet von alten historischen Gebäuden, neuen individuellen Wohnobjekten und industriellen Objekten.

Die Gemeinde von Gjakova erstreckt sich über ein Gebiet von 586 km². Sie umfasst 88 Dörfer, in welchen ungefähr 152.000 Menschen leben, was zu einer Bevölkerungsdichte von 293 Bewohnern/km² führt. In der Stadt Gjakova leben aktuell 70.000 Menschen (Gemeindeamt Gjakova, 2004, Demografische Statistik und humane Ressourcen).

Gjakova hat eine typische Architektur, die sich im Laufe der Zeit entwickelt hat. Der Urbanismus und die Architektur dieser Stadt sind von östlichen und westlichen Kulturen beeinflusst, seitdem die Stadt viele Jahre unter osmanischer Herrschaft war. Bis zum Ersten Weltkrieg, nachdem die osmanische Herrschaft beendet war, wuchs die Stadt kaum. Es wurden nach dem Ersten Weltkrieg die ersten Masterpläne für Urbanismus entwickelt, welche jedoch nur teilweise umgesetzt wurden. Vor allem die sehr traditionellen Strukturen der Gesellschaft verhinderten eine schnelle Entwicklung des Stadtbildes.



Abbildung 53: Panoramabild des Marktviertels in Gjakova "Qarshija e vjeter"

Die Stadtentwicklung begann mit einem religiösen Gebäude im Zentrum der Altstadt und die Stadt wuchs beständig um dieses Objekt, welches somit das älteste Gebäude der Stadt ist – es ist dies die Hadummoschee. Neben dieser Moschee wurde ein Marktplatz gebaut. Dieser bestand aus einer Reihe aus kleinen Holzgebäuden, welche als Geschäfte und Stände dienten, diese wurden mit Natursteinen kombiniert und erhielten so einen eigentümlichen Charakter – durch diesen Markt führte eine Rinne, in welcher ein kleiner Bach floss, dies diente zur Reinigung des Marktplatzes. Erst um diesen Marktplatz wurden dann die ersten Wohnobjekte gebaut, diese wurden in eigenständigen Nachbarschaften (mahalle) angelegt. Heute noch sind viele gut erhaltene Objekte aus dieser Zeit vorhanden, die bezeugen, wie alt die Stadt wirklich ist.

Der Urbanismus in Gjakova wurde in früheren Zeiten stärker vom Alltag der Bewohner und den Bedürfnissen der Händler, egal ob ansässige oder aus dem osmanischen Reich stammend, beeinflusst.

Das Alltagsleben fand in großen Familienverbunden statt mit einer beträchtlichen Anzahl von Familienmitgliedern, die meist ausreichend Grundbesitz hatten, um Wohnobjekte zu errichten, ohne irgendwelche Raumplanungsverordnungen beachten zu müssen (siehe Abbildung "Oasenurbanismus").



Abbildung 54: Wohnhaus Hani Haracis



Abbildung 55: Innenbereich des Hauses

Ein bekanntes Gebäude der Stadt Gjakova “Hani I Haraqis” (Abb. 54 und 55), welches zu Beginn des 16. Jahrhunderts erbaut wurde und seit damals als Hotel und Gasthaus verwendet wurde.

Das Haus ist im Innenbereich von einer stabilen Holztragkonstruktion umgeben.

Urbanismus und räumliche Planung in Gjakova zwischen 1945 und 1955



Abbildung 56: Ausdehnung der Stadt Gjakova nach 1945 (vom Gemeindeamt Gjakova)

Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde ein neues Stadtzentrum neben dem Fluß von Krena gebaut. Es wurden Schulen und ein Spital gebaut, ebenso entstand ein Industrieviertel, welches in den suburbanen Flächen der Stadt gebaut wurde. Die Hauptbereiche der Produktionsstätten waren die Metall- und und Textilindustrie,

weitere die Bauindustrie und die Holzverarbeitung. Nicht zu vergessen die Verarbeitungsindustrie von agrikulturnellen Produkten.

In der Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg wurde kaum auf die Entwicklung oder Nutzung von Urbanismus in den großen Städten von Ex-Jugoslawien, aber auch in den kleineren Städten, wie Gjakova, geachtet. Nicht nur aus Gründen von mangelndem Personal in der Verwaltung der Gemeinden, war keine Entwicklung des Urbanismus in der Stadt vorhanden. Die Regierungsform war kommunistisch und infolgedessen wurde auch der Urbanismus von der Regierung zentral gesteuert. Dies führte zu einer langsamen Arbeitsgeschwindigkeit bei Prozessen und die Infrastruktur der Stadt war noch immer wenig entwickelt zu jener Zeit. Der Schwerpunkt der urbanen Entwicklung lag damals bei den größeren Städten. Dennoch war es die Zeit, in welcher die ersten Schritte in Richtung Urbanismus im Kosovo und somit auch in Gjakova erfolgten, vor allem wurde eine Industrie- und Schulinfrastruktur eingeführt.

Vor allem wegen den ständigen Veränderungen im politischen System und einer gleichzeitig stattfindenden wichtigen Entwicklung im Urbanismus in der Gemeinde und in der Stadt von Gjakova nach 1955, sollen hier nachfolgend einige Fakten zusammengefasst werden:

In der Gemeinde von Gjakova wurden nach dem Zweiten Weltkrieg 88 Dörfer gezählt. Im Jahr 1955 entschied die Gemeinde Gjakova, dass im Rahmen eines Generalplanes der Gemeinde Gjakova ein Entwicklungsplan für den Urbanismus der Stadt Gjakova umgesetzt werden sollte. Dieser Entwicklungsplan wurde von der Firma "ISKRA" in Belgrad projiziert. Dieser Plan konnte leider nur teilweise umgesetzt werden, jedoch weitaus besser, als dies vorherigen Entwicklungsplänen im Urbanismus gelungen ist. Unterstützend war bei der Umsetzung des Generalplanes sicherlich die Tatsache, dass in der kommunistischen Ära, der Besitz der Bewohner leichter in Staatsbesitz konvertiert werden konnte und somit auch leichter urbane Pläne umgesetzt werden konnte.

Die Stadt Gjakova bekam eine neue Form, dadurch, dass urbane Entwicklungspläne umgesetzt wurden. Das Hauptproblem war jedoch, dass die urbanen Teilpläne nicht präzise genug umgesetzt werden konnten.

Da seit antiken Zeiten im Kosovo die Unterschiede zwischen ruralen und urbanen Lebensformen sehr hoch waren (Ramadani et. al., 2011), so war es innerhalb einer relativ kurzen Periode möglich den Generalplan weitgehend gut umzusetzen. Es wurden damals im Urbanismus die Schwerpunkte auf die Konstruktionen und das Bauen von Basisinfrastrukturen vor allem in den ländlichen Bereichen, gesetzt (Ramadani et.al. 2011), wie Straßen, Elektrizität und Wasserversorgung. Für genauere Pläne, wie grüne Zonen oder Bereiche oder andere öffentliche Plätze, waren einfach die finanziellen Möglichkeiten nicht gegeben (Ramadani et.al. 2011).

Urbanismus und Raumplanung in Gjakova zwischen 1988 und 1999

Im Jahr 1988 wurde ein Regulationsplan für das gesamte Gebiet der Gemeinde Gjakova vorbereitet. Dieser Plan setzte eine technische und soziale Infrastruktur für eine endgültige Anzahl von Bewohnern in der gesamten Gemeinde.

Die Entwicklung der lokalen Behörden unterstützte ein polizentrisches System, welches in sekundäre Zentren und ein Zentrum für die Gemeinden der Dörfer in der Gemeinde Gjakova aufgeteilt wurde.

Einige Teile des Plans wurden realisiert, manche konnten in einen neuen Entwicklungsplan der Gemeinde übertragen werden. Da sich zwanzig Jahre später die sozioökonomische Situation in der Gemeinde Gjakova sehr drastisch verändert hat, sind viele Bereiche der räumlichen Planung von 1988 nicht mehr aktuell. Manche Wohngebiete wuchsen planlos und so konnten infolgedessen auch Straßen oder Industriezonen nicht gebaut werden.

Während der Konflikte in den Neunzigerjahren stagnierte die Industrie komplett.

Dennoch sind heute noch zwei Industriezonen in der Stadt Gjakova vorhanden:

- ∞ Die Hauptzone liegt am südöstlichen Eingang der Stadt auf der Straße nach Prizren. Das Dorf Zidi I Sadik Ages und eine Anzahl von informalen Kolonien liegen in der Nähe dieser Industriezone. Die meisten Fabriken sind mittlerweile geschlossen.
- ∞ Die zweite Zone liegt im Norden der Stadt in der Nähe der Stadt nach Peja. Dieses Areal liegt zwischen Wohngebieten. Auch hier ist der Großteil der Betriebe stillgelegt.

Das Hauptproblem im Kosovo im Bereich des Urbanismus sind die sogenannten “informellen Zonen”, welche die Raumplanung und urbane Lösungen nachhaltig beeinflussen.



Abbildung 57: “Oasenurbanismus” – um ein Familienhaus bauen Familienmitglieder auf dem Grundstück weitere kleine Gebäude, teilweise ohne Verbindung zum öffentlichen Straßennetz oder passender Infrastruktur – diese Gebäudeansammlungen sehen wie kleine “Oasen” aus, welche keinen urbanen Regulationsplänen oder sonstigen Richtlinien folgen

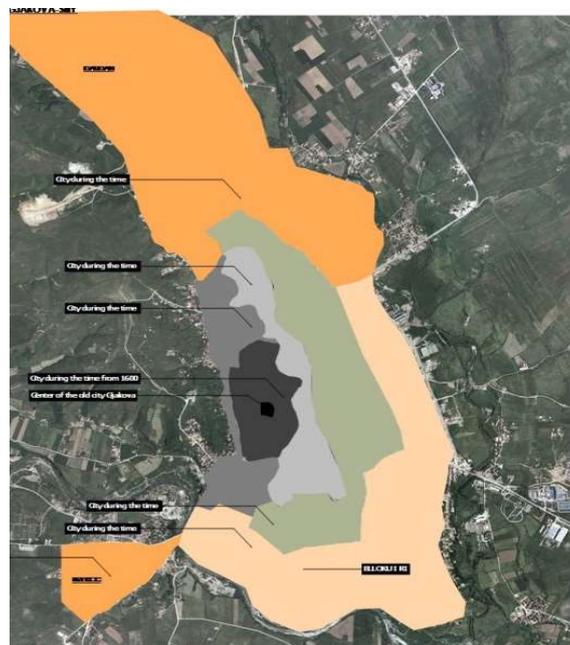


Abbildung 58: Entwicklung der urbanen Zonen von 1990 bis 1999

Die Gemeinde Gjakova ist eines der größten urbanen Areale im Kosovo. Basierend auf einer blühenden Industrie und Landwirtschaft, entwickelte sich die Gemeinde und die Stadt in den letzten Jahrzehnten gut. Seit 1999 sind die Umstände für die Entwicklung der Gemeinde verändert. Mit hauptsächlichen Veränderungen in der

Wirtschaft, in den sozialen und industriellen Bereichen, den urbanen und ruralen Strukturen, sind auch die Ansprüche an die Gemeinde entsprechend anzupassen.

Urbanismus und Raumplanung in Gjakova nach 1999

Während des Krieges 1999 wurde die Stadt Gjakova fast vollkommen zerstört und gehört damit zu einer der am meisten zerstörten Städte im Kosovo. Viele historische Gebäude im historischen Zentrum, wie der alte Marktplatz, wurden vollkommen niedergebrannt. Es wurden jedoch mit Unterstützung der UNO und Europa viele der zerstörten Gebäude wieder repariert und aufgebaut. Auf Grund einer Schätzung von Einrichtungen, wie der UNHCR, der IMG (International Management Group) und entsprechenden Einrichtungen des Gemeindeamtes wurden nach dem Krieg 1999 ungefähr 4302 teilweise oder vollkommen zerstörte Gebäude in der Gemeinde Gjakova gezählt (Minervini, 2002). Die UNMIK (United Nations Interim Administration Mission in Kosovo) und die European Agency of Reconstruction, aber auch die IMG sicherten schnelle und hochprofessionelle technische Unterstützung im Wiederaufbau des Kosovo zu (Minervini, 2002).

Wie Svanda (2013) in ihrer Dissertation beschreibt, ist die Entwicklung der urbanen Planung im Kosovo nach dem Krieg nur in kurz- und mittelfristigen Zeiträumen möglich auf der Basis von prozessorientierten und partizipativen Planungsprojekten. Vor allem in der alten Stadt von Gjakova, entlang des Flusses Krena, am Ende des Hügels Qabrat, waren massive Schäden durch den Krieg entstanden. Das alte Zentrum in der Stadt "Pazari I madh", welches bis in die südliche Richtung der Stadt reicht in Richtung des Flusses, war fast vollkommen zerstört. Der Wiederaufbau gestaltete sich in die Richtung, dass die vorherigen Baustile verwendet wurden und die Gebäude somit fast gleich den zerstörten Gebäuden waren. Der alte Kern der Stadt wird von einer engen Struktur mit einer hohen Dichte an Gebäuden und sehr engen kleinen Gassen und Straßen dominiert.



Abbildung 59: Der alte Markt „Qarshija e vjeter“ (Privataufnahme 2013)

Das heutige Stadtzentrum besteht aus der Altstadt, welche östlich vom Flußufer des Krena gewachsen ist. Große Gebäude mit unterschiedlichen Wohnungen und das Hotel „Pashtriku“ dominieren das moderne Stadtzentrum. Weite Straßen, welche in Richtung des Zentrums führen, werden von großen öffentlichen Gebäuden umsäumt. Der neue Teil der Stadt liegt zwischen den Flüssen Krena und Trakaniq. Dieser Bereich kann in drei Teile geteilt werden. Der Norddistrikt, welcher um die Hauptstraße in Richtung Prishtina liegt, zeigt Ähnlichkeiten mit den alten Bereichen der Stadt, mit kleinen Gebäuden und kurzen Straßen und engen Gassen. Der Großteil dieses Viertels besteht aus Wohnhäusern. Ebenso sind die Busstation und der Marktplatz im Zentrum dieses Viertels. Ein großes Zentrum von Bildungseinrichtungen und ein verlassenes Militärgebäude dominieren das Zentralviertel. Wohngebäude neben Straßen sind zumeist sehr klein und dicht gebaut.

Das südliche Viertel „Blloku i ri“ (die „neue Nachbarschaft“) der Stadt Gjakova ist der am spätesten entwickelte Bereich der Stadt. Ein weites Netzwerk, welches koordiniert ist, ist typisch für die Area. Manche großen Gebäude, welche entlang der Straßen stehen, sind typisch für das Erscheinungsbild dieses Viertels. Andere Bereiche dieses Viertels, welches vor allem aus Wohngebäuden besteht, bestehen vorwiegend aus Gebäuden, welche drei bis zu fünf Stockwerke hoch sind.



Abbildung 60: Entwicklung des neuen Viertels "Blloku I ri", von anfänglich individuellem Wohnbau ging dieses in kollektiven Wohnbau über, gleichzeitig veränderte sich die Infrastruktur entsprechend den geänderten Wohnbauten (Abbildungen vom Gemeindeamt Gjakova zur Verfügung gestellt, 2013).

Dieser Panoramablick zeigt die Erfolge der Wiederaufbaumaßnahmen. Es sind nunmehr andere urbane Probleme in der Stadt vorhanden, wie die Umsetzung von urbanen Plänen und noch immer sehr traditionelle Strukturen in der Bevölkerung und somit auch im Urbanismus.



Abbildung 61: Panoramablick vom Hügel "Qabrat" in Gjakova (Privataufnahme 2013)

2.3 Tarolit - Vorfertigung im Sozialismus

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, entwickelte sich die Bautätigkeit und die öffentlichen urbanen Räume im Kosovo bis 1945 nur langsam. Die Gesellschaftsstruktur war stark familiär geprägt und von Traditionen und Gewohnheitsrecht dominiert. Nach dem Ende des zweiten Weltkrieges setzte mit der sozialistischen Republik auch im Kosovo zunächst im Bauwesen ein Modernisierungsprozess ein. (Schröder, Patrick, 2013). Die Bemühungen der Regierung hörten im Sozialismus nicht auf und es wurden u.a. im Kosovo Fertigungsanlagen für Holzzementplatten, den sogenannten Tarolitplatten, gebaut. Diese bis heute in Verwendung bestehenden Holzzementplatten, wurden vorwiegend für öffentliche Gebäude verwendet. Innerhalb von wenigen Jahren entstand eine hochentwickelte Industrie für Baumaterialien, welche eine bis heute sichtbare Infrastruktur hinterlassen hat.



Abbildung 62: Nationalbibliothek in Prishtina, erbaut 1982
(https://de.wikipedia.org/wiki/Nationalbibliothek_des_Kosovo#/media/File:Bibloteka_Komb%C3%ABtare_e_Kosov%C3%ABs.jpg)

Die ersten größeren Projekte sind erst in den 80er Jahren entstanden. Zunächst wurde im öffentlichen Raum (vor allem die Verwaltungsgebäude und öffentlichen Gebäude, wie Schulen und Krankenhäuser) vermehrt der schlichte Baustil verwendet. Die verwendeten Materialien waren vorwiegend Beton, Stahl und Tarolit. Später wurden mit der Errichtung von kollektiven Wohnanlagen auch im privaten Wohnraum zunehmend der Einfluss der sozialistischen Politik sichtbar und hatte auch Auswirkung auf die familiären Strukturen (Großfamilien begannen zu zerfallen und Kernfamilien zogen in die kleineren Wohnungen).

Entwicklung und Einsatz von Tarolitholzementplatten

Da im sozialistischen Bauwesen in Ex-Jugoslawien meist große und kostengünstige öffentliche Gebäude gebaut wurden, kamen die Holzzementplatten „Tarolit“ häufig zum Einsatz. Es finden sich heute noch in einigen Städten am Balkan Gebäude, welche hauptsächlich aus „Tarolit“ hergestellt wurden.

Tarolitplatten wurden mitunter in einer Fabrik im Kosovo hergestellt, die ausschließlich auf diese Produktion spezialisiert war. Die Hauptfabrik befand und befindet sich noch heute in Ostrunica, südlich von Belgrad. Mehrere Versuche die Fabrik in Ostrunica zu besichtigen oder Auskünfte über die heutige Situation zu erhalten, scheiterten. Es gibt eine Homepage (<http://www.tarolit.co.rs/>) von der Firma Tarolit. Das Werk im Kosovo befindet sich noch immer in Decan, ist aber seit dem Krieg 1999 stillgelegt und die Maschinen wurden weggebracht.

Diese Platten wurden vorwiegend zu Beginn zur Isolierung im Bauwesen verwendet. Eine Zeitlang wurden einfache Isolierplatten hergestellt, welche aus gemahlenem Holz (Holzwolle), Zement und einem Klebstoff bestanden. Die Platten wurden in verschiedenen Größen hergestellt, die herkömmlichsten mit Stärken von 30 und 50 mm, Länge 2 m und Breite von 50 cm. Die Produktion war sehr groß, da der gesamte Bedarf in Kosova und Teilen von Ex-Jugoslawien gedeckt wurde. Später fand eine Zusammenarbeit mit einem slowenischen Partner statt, der Firma „Izolirka“ in Lubljana statt. Heute werden weiterentwickelte Holzwollezementplatten in Slowenien hergestellt mit dem Markennamen „Drvolit“.

(<http://www.fragmat.si/de/bauprogramm/produkte/holzwolleleichtbauplatten>)

Die Platten haben unter anderem zusätzlich eine Styroporplatte befestigt, sie wurden „Kombi“ genannt. Die Tarolitplatte wurde zwischen zwei Styroporplatten geklebt (Abb. Dieses Material wurde zu ungefähr 70 % auf dem slowenischen Markt verwendet und die Perspektiven für die Fabrik in Decan waren gut, doch aus politischen Gründen musste die Zusammenarbeit aufgegeben werden.

Heute werden die Nachfolgeprodukte von Tarolit unter dem Namen „Drvolit“ in verschiedenen Variationen als Bauplatten aus mineralisierter Holzwolle angeboten.

(<http://www.fragmat.si/de/bauprogramm/produkte/holzwolleleichtbauplatten/platten/446-drvolit-d>)

Herstellung der Tarolitplatten

Tarolit ist ein Baumaterial, welches in Kosova in den 60er und 70er Jahren vorwiegend zur Thermoisolierung im Bau verwendet wurde. Da Kosova industriell zu den wirtschaftlich ärmsten Regionen Ex- Jugoslawiens gehörte, wurde die Produktion von Tarolit als Industrialisierungsmaßnahme in Kosova gefördert. Kosova hatte in dieser Zeit eine mehr oder weniger gut entwickelte Holzindustrie, da ein reichhaltiger Waldbestand vorhanden ist. Tarolitplatten wurden somit auch in Decan und Pej, zwei Kleinstädten im Kosovo hergestellt. Die Hauptfabrik befand und befindet sich noch heute in Ostrunica, südlich von Belgrad. Das Werk im Kosovo befindet sich noch immer in Decan, ist aber seit dem Krieg 1999 stillgelegt und die Maschinen wurden weggebracht.

Die Firma Tarolit aus Ostruznica, in Serbien, welche seit 1934 Holzzementplatten, vorwiegend zur Isolierung von Gebäuden herstellte, war Hauptproduktionsstätte für Holzzementplatten im ehemaligen Jugoslawien. Vor allem Gebäude im öffentlichen Bereich wurden mit Tarolitplatten isoliert, so auch zum Beispiel sämtliche Neubauten in Sarajevo, die im Zuge der Olympischen Winterspiele 1984 errichtet wurden. Tarolitplatten bestehen aus mineralisierten Holzfasern in einer Zementmischung. Sie lassen sich gut mit anderen Materialien verbinden (Beton, Holz). Die schalldämmenden Eigenschaften, sowie die hohe Brandbeständigkeit und eine gute Witterungsbeständigkeit werden von der Firma Tarolit hervorgehoben. Die Tarolitplatten werden in unterschiedlichen Formen und Zusammensetzungen angeboten, auch mehrlagige Platten in Verbindung mit Styropor. Tarolitplatten dienen auch individueller Fassadengestaltung, es wird die Qualität des Raumklimas gesteigert, ebenso die Wärmeabsorption. Auch die ökologischen und nachhaltigen Faktoren werden bei den Tarolitplatten immer wieder betont. Die Firma Tarolit gibt durchschnittlich 20 % höhere Baukosten an, wenn Tarolitplatten verwendet werden, jedoch kann mit einer vierfachen Effizienzsteigerung der Bauwerke gerechnet werden. (Quelle: <http://www.tarolit.co.rs/pocetna.htm>)

In der Kleinstadt Decan während des Jahres 1972 existierte eine Verarbeitungsstätte, welche für das Fällen der Bäume und die Verarbeitung des Holzes zuständig war.

Ein Teil des Holzes wurde für die industrielle Anwendung vorbereitet und der andere Teil für Brennmaterial.

Zu jener Zeit wurde dann auch die Fabrik errichtet, wo Tarolit hergestellt wurde. Gründe, warum diese Fabrik erbaut worden ist, waren die sich entwickelnde Infrastruktur der Holzindustrie, unter anderem auch in Decan und ökonomische Faktoren, wie kurze Transportwege, da die Wälder und die anderen Produktionsstätten in der Nähe waren. Außerdem entstanden bei der Holzverarbeitung reichlich Abfälle, die anderweitig nicht verwendet werden konnten. Die schichtweise abgetragenen Rinden der Baumstämme und 60 % der Abfälle der Sägereien wurden hauptsächlich zur Herstellung von „Tarolit“ verwendet.

Nach der Beendigung der Bauarbeiten der Fabrik begann sie am 20. August 1975 mit der Arbeit. Die Produktion dieses Materials fand auf den Maschinen, die von der holländischen Firma „Elten“ (heute Eltomation) stammten, statt. In der Anfangsphase war auch das Personal dieser Firma in Decan präsent, die für den Aufbau der Maschinen verantwortlich war und die kosovarischen Mitarbeiter einarbeiteten. Ein Teil der kosovarischen Angestellten dieser Fabrik wurden zusätzlich in Holland eingeschult, damit sie die Benützung der Maschinen genau beherrschten. Die Produktion war automatisch und verkettet (sodass ein kleiner Defekt die ganze Produktion stilllegen konnte).

Bis zum 25. Mai 1992 arbeitete diese Fabrik und danach wurde sie durch die serbische Regierung geschlossen. Und seit dieser Zeit wird in Kosova kein Tarolit produziert.

Durch die Privatisierung die in Kosova nach dem Jahr 2000 stattfand, wurde auch diese Fabrik privatisiert wobei die Produktion noch immer stillsteht.

Die Haupteigenschaft von „Tarolit“ ist die thermoisolierende Eigenschaft. In Abbildung wird eine der Anwendungsmöglichkeiten der Tarolitplatten als Isolierungsmaterial dargestellt

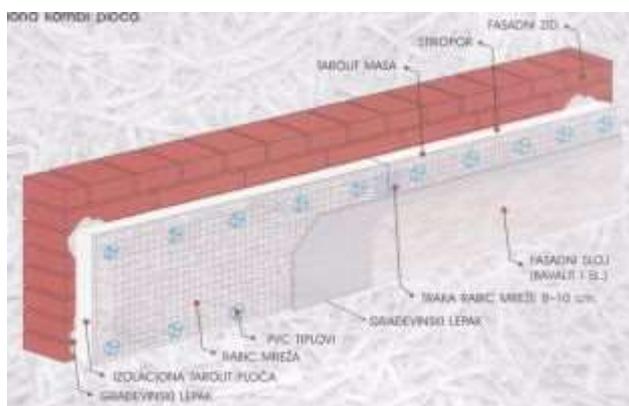


Abbildung 63: Darstellung der Verwendung einer Tarolitplatte, wie sie als Isolierungsplatte an einer Ziegelwand befestigt wird (aus <http://www.tarolit.co.rs/ugradnja.htm>)

Dieses Material war in Kosova auch früher bekannt, da es in Pej (eine Stadt in Kosova) hergestellt wurde, was aber in einer viel einfacheren Ausführung, wie in Decan war. In dieser Zeit fand in Jugoslawien gute wirtschaftliche Entwicklungen statt, so dass dieses Material fast überall im Bauwesen eingesetzt wurde, wie zum Beispiel bei Dächern von verschiedenen Fabriken, in den Geflügel- und Tierfarmen und in Hangars.

Wichtigste Bestandteile bei der Herstellung von Tarolit waren Zement, Holzreste und Wasser. In speziellen Maschinen wurde das Holz in dünne Streifen zerkleinert, welches als Holzwolle bekannt war.



Abbildung 64: Pappelholzwolle und Mineralpulver zur Herstellung von Tarolit (aus <http://www.tarolit.co.rs/Classic1/index2.html>)

Am häufigsten wurde Holz von Pappeln, Linden und Weiden verwendet, sowie Reste von Stammkanten.

Nachdem die Holzwolle hergestellt wurde, kam sie in ein fortlaufendes Förderband, welches ein Becken mit Wasser durchläuft, wo die Wassertemperatur von 16 – 18 Grad Celsius beträgt.

Diese Bänder werden durch diese Becken an Hand von Schienen die eine U- Form haben geleitet damit sie eine entsprechende Masse an Feuchtigkeit aufsaugen können.

Nachdem es aus dem Wasserbecken kommt, wird es durch zwei große Walzen gepresst, wobei eine Achse aus Metall ist und die andere mit einer Gummischicht überzogen ist. Durch diesen Schritt wird das überflüssige Wasser aus der Holzwolle ausgepresst.

Danach wird sie wieder in ein Band gelegt, der diese Masse zu einer automatischen Waage bringt um festzulegen welche Menge an Zement benötigt wird um die optimale Dosierung zu finden.

Nach der Messung, wird die Holzwolle in einen Mixer hineingeworfen, danach wird die festgelegte Menge an Zement und Wasser hinzugefügt und für eine bestimmte Zeit zusammen gemischt. Danach werden bestimmte Formen damit ausgefüllt, welche unterschiedliche Größen haben. Dieses Material wird also als Tarolit bezeichnet. Nach der Füllung dieser Formen mit dem nassen Material werden sie unter einer Presse gesetzt die einen bestimmten Druck hat.

Nach diesem Schritt werden diese Tarolitplatten mit geeigneten Transportwagen zu einer bestimmten Halle gefahren wo sie unter einem bestimmten Druck 48 Stunden trocknen müssen.

Das verwendete Holz für die Tarolitplatten darf einen maximalen Feuchtigkeitsgehalt von 20 % haben, zusätzlich wird dem Wasser im Becken, wo am Anfang die Holzwolle durchgeführt wird, eine geeignete Menge an Natriumchlorid (CaCl_2) zugesetzt, welches als Katalysator zur Beschleunigung des Trockenvorganges dient.

Die Fabrik hat ihr eigenes Labor gehabt, welches immer wieder die Feuchtigkeit des Holzes und die Festigkeit des Zements geprüft und festgelegt hatte.

Außer den herkömmlichen Tarolitplatten wurden auch andere Platten hergestellt, welche mit Styroporplatten versehen wurden. Diese Platten enthielten entweder 2 oder 3 Schichten Styropor. Dieser Prozess war aufwändig, so dass man eine größere Zahl an Arbeitskräfte benötigte.

Für diesen Prozess wurden die Angestellten systematisiert, so dass in einer Schicht 16 Angestellte nötig waren.

Tarolit wurde mit folgenden Standard-Dimensionen (b x h x l) in dieser Fabrik hergestellt:

200 x 50 x 2,5 cm

200 x 50 x 5 cm

200 x 50 x 7.5 cm



Abbildung 65: Tarolitplatte mit Stryopor (aus: <http://www.tarolit.co.rs/Classic1/index2.html>)

Die Eigenschaften der Tarolitplatten werden hier nochmals tabellarisch aufgeführt (Tab.3)

Grösse	Dicke	Gewicht	R		k(u)	Q	λ
200x50	2.5	11	0.23	2.012	1.230	36.52	0.11
200x50	3.5	14	0.32	1.681	1.230	22.81	0.11
200x50	5.0	19	0.45	1.210	1.090	19.58	0.11
200x50	7.5	28	0.68	1.071	0.885	11.91	0.11

Tab.3: Kennwerte von Tarolitplatten in unterschiedlichen Dimensionen (aus www.tarolit.co.rs)

Neben diesen Größen, bestanden aber auch Möglichkeiten Platten mit anderen Sondermaßen herzustellen. Für diese, meist größeren Platten benötigte man größere Formen. Die technische Kapazität für diese Produktion waren 6 Platten oder 1m³ / Minute, aber es war nicht möglich, mehr als 9 Platten oder 1,5m³ / Minute herzustellen. Der Verkauf von Tarolit hat in ganz Jugoslawien stattgefunden, aber intensivsten war es im Kosova und Mazedonien. Die kombinierten Platten mit Styropor wurden in Slowenien verkauft, wo durch die Firma „Izolirka“ der Export in die Schweiz, Italien und Österreich stattfand.

Die technischen Eigenschaften und Tests für diese Platten wurden in der Universität Prishtina- der Fakultät für Bauwesen und Architektur durchgeführt. Die Unterlagen wurden von der serbischen Regierung beschlagnahmt und teilweise vernichtet.

Bei Recherchen für diese Arbeit habe ich eine Fabrik in Serbien entdeckt, welche unter dem Namen „Tarolit“ genau jene „Tarolitplatten“ herstellt, wie sie früher in Decan/Kosova hergestellt wurden. Es wurde mehrmals versucht schriftlich und

telefonisch Kontakt aufzunehmen, auch über die Börse in Belgrad, doch konnten keine Informationen erhalten werden, ob das Werk in Ostruznica noch aktiv Tarolit herstellt. Es gibt zwar eine Homepage, auf welcher zahlreiche Fotos und Informationen vorhanden sind, jedoch kann niemand unter den angegebenen Kontaktmöglichkeiten erreicht werden und es kamen auch keine Antworten auf Emails, Telefonate und anderen Kontaktversuchen (<http://www.tarolit.co.rs/ugradnja.htm>).

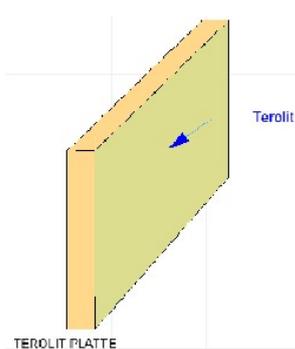


Abb.66: Tarolitplatte

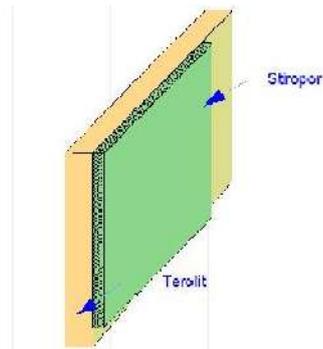


Abb.67: Tarolitplatte
mit einer Styroporplatte

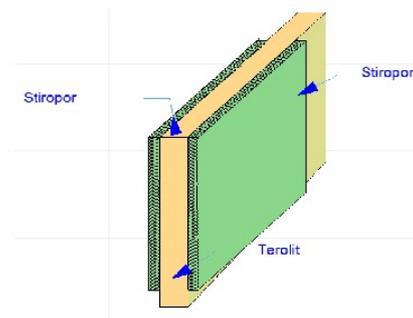


Abb.68: Tarolitplatte
mit zwei Styroporplatten

Bei zwei Gewichtsklassen von Tarolit N (leicht) und P (schwer) konnten die Biegezugfestigkeit mit $N= 1,5 - 1,8 \text{ N/mm}^2$ und $P=1,8 - 2,4 \text{ N/mm}^2$ festgestellt werden. Die maximale Druckbelastung beträgt bei den beiden Arten von Tarolit $N= 420 - 550 \text{ kg/m}^3$ und $P= 550 - 850 \text{ kg/m}^3$

2.4 Bauen im Kosovo heute

Nach den Erläuterungen zu dem damaligen Baumaterial Tarolit und einer ausführlichen Beschreibung des Bauwesens im Kosovo aus verschiedenen Blickpunkten, soll in diesem Unterkapitel auf zusätzliche Aspekte, ergänzend zum Bauen in Kosovo im Kontext der drei üblichen Unterteilungen der Siedlungsräume kurz eingegangen werden.

Siedlungsräume im Kosovo

Im Kosovo hat sich das Leben und Wohnen in folgenden Siedlungsbereichen entwickelt. Nach geografischen Aspekten werden drei unterschiedliche Wohnweisen beschrieben:

- 1) Urbanes Wohnen
- 2) Wohnen im ländlichen Gebiet
- 3) Wohnen im Gebirge

Urbanes Wohnen

In den Städten war vorwiegend eine individuelle Entwicklung des Wohnbaus bis nach dem zweiten Weltkrieg, beziehungsweise bis zum Jahr 1945, als Jugoslawien die Administration übernahm und der Kosovo als autonome Provinz anerkannt war, vorherrschend.

Seit damals, als die Hauptadministrationsbehörden nur in den großen Städten anwesend waren und die Bevölkerung wegen Bewilligungen oftmals weite Strecken vom Land auf sich nehmen musste, wurden vermehrt öffentliche Gebäude mit bis zu 4 Geschossen erbaut.

Damals etablierte sich die professionelle Planung (Architektur), da mit Aufschwung der Wirtschaft auch vermehrt öffentliche Gebäude errichtet wurden. Diese Baumaßnahmen waren immer von kompetenten Einrichtungen bewacht, unter Berücksichtigung von urbanistischen Regeln.

Ebenso sind der Anstieg der Bevölkerung und der damit verbundene Bedarf nach Wohnraum ein weiterer Faktor in der Etablierung der Planung von Bauten mit vielen

Wohnungen und somit ein Rückgang im Bau von Ein- und Mehrfamilienhäusern in den Städten.

Doch auch die Stadtbevölkerung war mit Wohnungen einverstanden, da diese Wohnungen meist vom Arbeitgeber vergeben wurden. Da der Kosovo damals dem kommunistischen Jugoslawien angehörte, durften solche kollektive Wohnungen nicht als Privatbesitz gelten oder gar die Möglichkeit bestehen, diese zu kaufen.

Aber es wurden auch individuelle Objekte (Wohnhäuser) gebaut, da die Baubewilligung von den jeweiligen Parzellen von öffentlichen Stellen, die auch für den Stadturbanismus verantwortlich waren, erteilt wurden, wurden nur solche Objekte bewilligt, die nicht das Stadtbild störten, sondern sich einfügten.

Es war die Zeit, wo kombiniertes öffentliches und privates Bauen im Einklang stattfanden, die Infrastruktur verbessert wurde und die Städte nur nach urbanistischen Blickpunkten vergrößert werden konnten.

Die öffentlichen und individuellen Wohn- und Bauobjekte wurden nach architektonisch einwandfreien Regeln errichtet, in Zusammenarbeit mit Ingenieuren und Architekten. Die Gebäude stellten eine Kombination von westlicher und östlicher (osmanischer) Baukultur dar. Viele Details sind von der römischen und europäischen Baukultur beeinflusst. (Abbildung 69 und 70)



Abbildung 69 und 70: Bürgerliches Haus aus dem 18. Jahrhundert (Shtëpia e Kadri Halmit) in Prishtina (Doli, 2001)

Wohnen im ländlichen Gebiet

Das Wohnen am Land war ohne große Veränderungen bis in die 90er Jahre des 20. Jahrhunderts bestimmt. Ebenso finden sich in den Wohnobjekten in den ländlichen Gebieten im Kosovo, die geringsten kulturellen Einflüsse der verschiedenen Epochen.

Die Objekte werden nach den Bedürfnissen der Familien und den Möglichkeiten, die vorhanden sind, erbaut. Eingemauerte Höfe mit Steinen oder Ziegelsteinen, mit Mauern mit Höhen um die 3 Meter dominieren das Erscheinungsbild in den Dörfern des Kosovo (Abb. 71 und Abb. 72).



Abbildungen 71 und 72: typisches Bild eines Dorfes im Kosovo, geprägt durch die Kullas und hohe Mauern

Die Objekte in den Dörfern des Kosovo haben keine einheitliche Richtlinie bezüglich ihres Aussehens, abgesehen von den Turmhäusern (Kullas), wobei auch diese individuell erbaut werden. Sie werden autonom voneinander erbaut, ohne andere Objekte zu berücksichtigen und sind in vorgegebenen Abständen zueinander errichtet. Bauökonomische Richtlinien sind kaum bekannt und werden auch nicht umgesetzt, wie Isolierung, Feuchtigkeit, Thermoisolierung und es wird mit den billigsten Baumaterialien gebaut.

Eine schlechte Infrastruktur mit engen und schwer passierbaren Straßen lässt auch keinen wirklichen Verkehr mit Autos zu.

Das Leben am Land ist abhängig von Beziehungen zu den nächstgelegenen Städten und von der Organisation in der Großfamilie (Mehrgenerationenfamilie). Die wirtschaftliche Lage am Land ist von der komplexen Familie abhängig.

Ein wesentliches Merkmal der komplexen Familienorganisation ist ihre Kontinuität. Selbst wenn Familienmitglieder wegfallen, ist ihre Existenz nicht gefährdet, da die Prinzipien des Familienlebens (Familienoberhaupt, Aufgabenverteilung, Rollenzugehörigkeit) bestehen bleiben. Das Grundprinzip der komplexen Familie ist die Sicherstellung der Kontinuität der eigenen Tradition, des Erbes und der Verfügung über die Produktionsmittel, Land und Vieh (Rrapi, 2003, S. 22 ff).

Nach den 90er Jahren des 20. Jahrhunderts beginnt auch der Wohnbau am Land eine neue Entwicklung. Mit Unterstützung der emigrierten Familienmitglieder, welche regelmäßig in die Familie investieren, wurden vermehrt Wohnobjekte, meist mit Hilfe von Bauingenieuren, errichtet, die auch schön anzusehen sind, aber nicht einheitlich sind und auch auf keine architektonischen Regeln achten.

Die Objekte werden mit Isolierungen errichtet, angepasst an die eigenen Bedürfnisse und mit aktuell am Markt verbreiteten Materialien, wie Tonziegel, Stahl und Beton gebaut (Abb. 73).



Abbildung 73: die neueren Wohngebäude sind noch immer in Anlehnung an die Kullas groß und auch wenn ein Großteil des Hauses kaum bewohnt wird, ist das Haus ein Statussymbol und wird daher sehr groß und meist mit 3 Geschossen gebaut. Mauern sind noch immer wichtige Elemente am Land.

Wohnen im Gebirge

Neben dem urbanen und ruralen Wohnbau wird im Kosovo noch der Wohnbau im Gebirge oder Gebirgswald unterschieden.

Da die Notwendigkeit des Bauens von Almbetrieben mit Nutztieren vorhanden ist, haben die Kosovaren immer schon im Gebirge gebaut und gelebt.

Das Wohnen ist in diesen Gebieten saisonal eingeschränkt (im Frühjahr und Sommer) und die Hälfte des Jahres verbringt ein Teil der Landbevölkerung im Gebirge und die andere Hälfte im Dorf.

Wie in der folgenden Abbildung 74 zu sehen ist, werden auch im Gebirge Häuser gebaut, die winterfest sind. Meist ist der untere Stock aus Steinen errichtet und der obere Stock aus Holzbrettern.

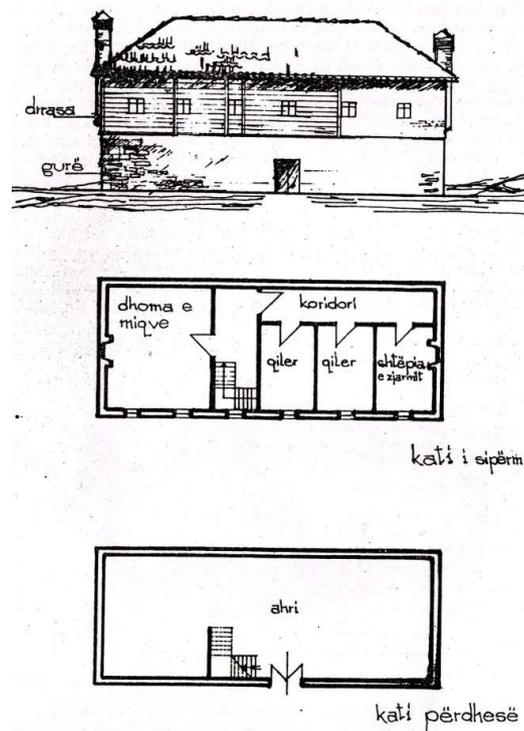


Abbildung 74: Skizze für ein typisches Haus in den Bergen, welches meist aus Stein und Holz gebaut wurde (Krasniqi, 1971)



Abbildung 75: ein Haus in den Bergen aus Lehm und Holz mit einem Strohdach, es steht auf einem Holztragwerk aus unbehandelten dünnen Baumstämmen (Bartl, 1995)

Die Objekte sind auch teilweise an die Pfahlhäuser aus der illyrischen Zeit angelehnt, wie das obige Objekt (Abb. 75), welches anschaulich zeigt, wie sich jahrtausendealte Kenntnisse im Wohnbau erhalten können.

Da die kosovarischen Bauern vorwiegend wegen des Nutzviehs auf die Alm ziehen, sind die Bauten für die Tiere auch wichtig und werden meist aus Holz in unmittelbarer Nähe zum Wohnobjekt errichtet (Abb. 76 und 77).

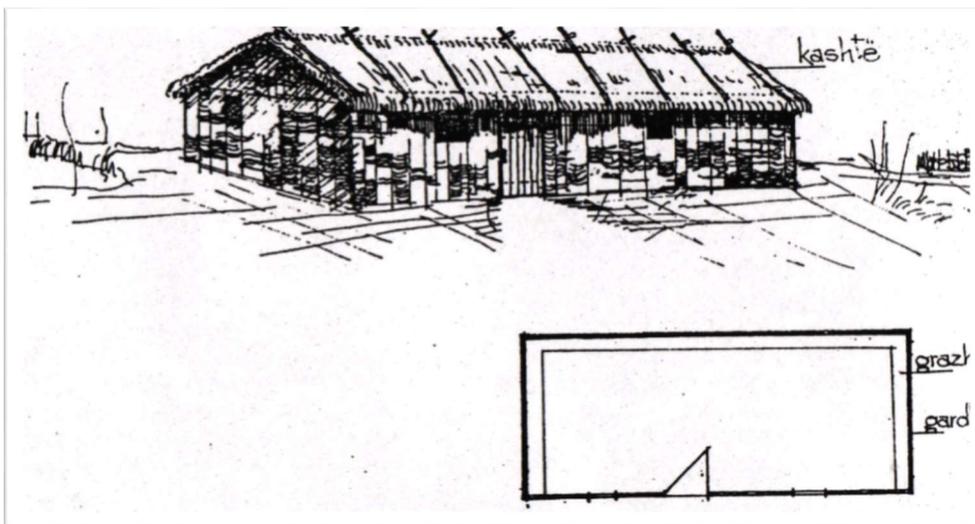


Abbildung 76: ein Almhaus aus Holz und Stroh, es besteht aus nur einem großen Raum (Krasniqi, 1971)

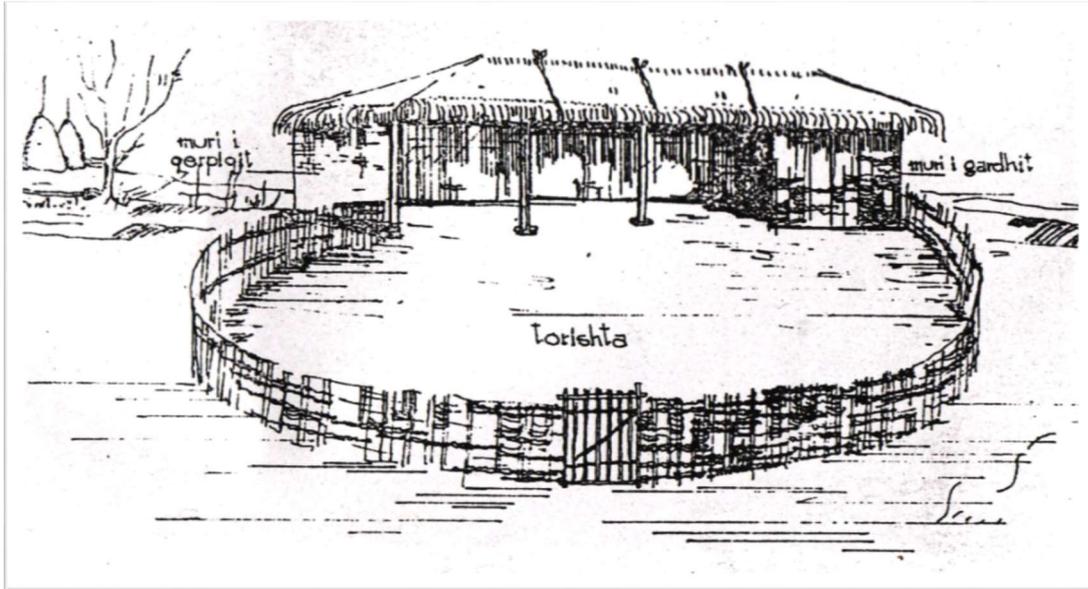


Abbildung 77: das dazugehörige Holzgatter für das Nutzvieh mit einer Unterstehmöglichkeit, vorwiegend aus Holz und geflochtenene Ästen (Krasniqi, 1971)

Doch heutzutage sind auch in diesen Gebieten Veränderungen im Wohnbau zu beachten, vor allem im Bereich Materialien, wo jetzt bessere Materialien verwendet werden. Es wird vermehrt auf die Isolierung geachtet, da die Wohnobjekte auch in den kälteren Jahreszeiten verwendet werden und auch Straßen ausgebaut wurden, damit diese leichter erreichbar sind.

3 Holzbeton – Entwicklungsansätze

3.1 Grundlagen

Ausgehend von dem Baumaterial „Tarolit“, welches im vorhergehenden Kapitel behandelt wurde, soll in diesem Kapitel ein kurzer Überblick über die Grundlagen und Erkenntnisse bezüglich des Baumaterials Holzbeton (Holzzement wird heute nicht mehr als Begriff verwendet, bezugnehmend auf die verwendeten Bestandteile).

Holzbeton setzt sich aus Zement, Sägespänen oder Sägemehl, Wasser und manchmal aus Zusatzstoffen zusammen. Da Holzbeton ein Werkstoff ist, welcher eine interessante Entwicklung hinter sich hat, sind auch unterschiedliche Bezeichnungen, von Holzleichtbeton, Holzspanbeton über Steinholz und Sägemehlbeton üblich, zusätzlich existieren die unterschiedlichen Produktnamen, welche von den Herstellern, je nach Bestandteilen, festgelegt werden. So werden bei der Firma Velox die Produkte als Holzspanplatten bezeichnet und bei der Firma Heraklith als Holzwolleleichtbauplatte (Krippner, 2004).

Verbindungen von Holzabfällen mit anorganischen Baustoffen wurden schon Mitte des 19. Jahrhunderts erprobt, dieses Material wurde vorwiegend für Fußbodenestriche verwendet (Krippner, 2012). In den 1920er Jahren wurden Steinholzböden in unterschiedlichen Objekten eingesetzt, zu Beginn der 1930er wurde schließlich Holzspanbeton entwickelt, nach dem Zweiten Weltkrieg kam in Deutschland Holzzement vermehrt zum Einsatz, welcher in der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik Anfang der 1960er im öffentlichen Bauwesen verwendet wurde (Krippner, 2012).

Holzleichtbeton unterscheidet sich von herkömmlichen Holzverbundwerkstoffen durch höhere Rohdichten, typisches Spröbruchverhalten, geringe hygri-sche Längenänderung, als auch eine schwere Entflammbarkeit (bei organischem Massenanteil <15 Prozent, Baustoffklasse B1 schwer entflammbare Baustoffe). Einen großen Einfluss auf Festigkeit und Verarbeitbarkeit von Holzleichtbeton haben der Wasser-Zement-Wert und das Holz-Zement-Verhältnis. Bei Stoffzusammensetzungen mit Rohdichten um 800 kg/m³ können Druckfestigkeiten bis 10 N/mm² und Biegefestigkeiten bis 3 N/mm² erzielt werden. Der Zuschlagstoff

Holz beeinflusst wesentlich die statischen Qualitäten des Materials, das heißt, je größer der Holzanteil ist, desto stärker nehmen die Festigkeitswerte ab. Eine Ausnahme laut Schmitz (1968) vgl auch Seite 58, ist bei Zugabe von Pappelholzspänen, welche die Biegezugfestigkeit erhöhen.

Holzleichtbetone weisen einen höheren Zementgehalt im Vergleich zu klassischen Betonmischungen auf. Der verzögernde Einfluss des Holzzuckers auf den Abbindevorgang lässt sich durch Vorbehandlung der Holzpartikel mit Mineralisierungsadditiven oder den Einsatz spezieller Schnellzemente unterbinden (Krippner, 2012).

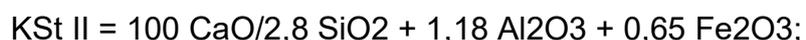
Dass Zement und Holz gemeinsam einen Werkstoff bilden, ist, wenn die beiden Stoffe getrennt betrachtet werden, offenbar ein riskantes Unternehmen. Vor allem bei einer näheren Betrachtung der chemischen Bestandteile von Zement, welche eben einen starken Einfluss auf die Reaktion des Holzes und somit auf den Holzzucker und umgekehrt haben.

Zement: „nennt sich ein hydraulisch härtendes Bindemittel für Beton und Mörtel. Er besteht aus verschiedenen feingemahlten mineralischen Ausgangsstoffen, die durch Brennen und Schmelzen aufbereitet werden. Wichtigste Zementsorte ist Portlandzement, der aus einem gemahlten und gebrannten Kalkstein-, Kreide-, Ton- oder Mergelgemisch gewonnen wird. Je nach Zusammensetzung weist der Zement unterschiedliche Eigenschaften auf. Verwendet wird Zement überall am Bau - als Bindemittel für Anstriche, Mörtel, Putze, Estriche, Beton oder Holzwerkstoffe.“ (Quelle:www.bauen.com). Portlandzement wird für die Herstellung von Holzzementplatten verwendet, er weist folgende chemische Bestandteile auf:

58 bis 66 % Calciumoxid (CaO), 18 bis 26 % Siliciumdioxid (SiO₂), 4 bis 10 % Aluminiumoxid (Al₂O₃) und 2 bis 5 % Eisenoxid (Fe₂O₃)

Beim Brennen von Zement bilden sich verschiedene Verbindungen, wie Tricalciumsilikat ($2 \text{ CaO SiO}_2 + \text{ CaO} \rightarrow 3 \text{ CaO SiO}_2$ («C3S»)) – Alit oder das Dicalciumsilikat (C2S ($2 \text{ CaO} \times \text{ SiO}_2$)) – Belit.

Zur genaueren Beschreibung des Kalkgehaltes im Zement wird folgende Kategorisierung herangezogen, der Kalkstandard II (KSt II)



Die Grenzwerte für technische Klinker sind 90 bis 102. Ein Portlandzementklinker mit KSt II = 100 enthält den optimalen Calciumoxidgehalt, der unter technischen Bedingungen an seine Hydraulefaktoren (hydraulischen Stoffe) gebunden werden kann. Ein Kalkstandard über 100 heißt, dass nicht das gesamte Calciumoxid mit den Hydraulefaktoren reagieren kann, der Calciumoxidgehalt ist im Überschuss. Maßgeblich für die chemische Zusammensetzung des Portlandklinkers (gebrannter Bestandteil des Portlandzements) ist das Verhältnis von Kalkstein und Ton (3 : 1). Nach Abgabe des Kristallwassers aus Ton und Entsäuerung des Kalksteins stehen sich Calciumoxid (CaO) und entwässerter Ton im Verhältnis ca. 2 : 1 gegenüber (Mallon, 2005, S.90).

Neben der Verbindungsart des Zements, des Kalkgehaltes, ist auch die Feinheit des Zements wichtig für die Eigenschaft des Zements. Je feiner der Zement ist, umso höher ist auch die Festigkeit.

In Europa gibt es seit 2000 die europäische Norm EN 197 für Zement, es wird dort zwischen drei verschiedenen Festigkeitsklassen unterschieden (32,5, 42,5 und 52,5 N/mm²) und zwischen langsam- und schnellerhärtenden Zementen. Somit ergeben sich 5 verschiedene Zementarten:

CEM I = Portlandzement

CEM II = Portlandkompositzement

CEM III = Hochofenzement

CEM IV = Puzzolanzement

CEM V = Kompositzement.

(Quelle: http://www.bdzement.de/fileadmin/gruppen/bdz/2Branche/ZTB_Zementarten.pdf)

Holzleichtbeton oder Holzbeton weist eine Reihe von positiven Eigenschaften auf, wie:

- Ökologisch wertvoll (Verwendung von Holzresten)
- Ökonomisch günstig, da Holzreste kostengünstig sind
- Gute Verarbeitungsmöglichkeiten (diverse Verbindungen und Formgebungen möglich)
- Geringes Eigengewicht
- Fertigung als Platten, Bauteile (Fertigwände) oder Mantelsteine möglich
- Geringe Wärmeleitung
- Schallschutz

3.2 Untersuchungen zum Holzzement

Holzzement wurde schon im Jahr 1933 von Rudge (Schmitz, 1968) untersucht, er fand heraus, dass das Calciumhydroxid im Portlandzement die hauptsächliche Ursache für die Zerstörung des Holzes sei. Schmitz führt in seiner Arbeit mehrere Versuche an, in welchen die Zerstörung des Holzes durch den Calciumhydroxidanteil im Zement dokumentiert wird. Sie begründen den Holzschwund in Holzzementmischungen damit, dass organische Säuren aus den Holz-Kohlehydraten in Verbindung mit dem Calciumhydroxid entstehen. Ebenso ist eine Abbindestörung zu beobachten in den Portlandzement-Holzmischungen. Holz besteht in der chemischen Zusammensetzung hauptsächlich aus Zucker, Stärke, Gerbstoffen, Gummen, Phenolen und Chinonen (Schmitz, 1968). Es konnten zu Beginn der Forschung von Holzzement keine genauen Ursachen gefunden werden, welche der Holzstoffe eine inhibierende Wirkung auf das Abbindeverhalten der Holzzementmischung haben. Thomas & Birchall (1983) haben die Zuckerarten Saccharose und Raffinose (Trisaccharid – Galaktose, Glucose und Fructose) als Ursache in der Auflösung von bestimmten Zementbestandteilen beschrieben, was zu einer starken Siliciumkonzentration im Zement führt und somit zu einem schlechten Abbindeverhalten des Zements. Heinz & Urbonas (2007) beschreiben, wie sich die Zuckereinheiten von den reduzierenden Enden der Polysaccharidketten her als D-Glucoisosaccharinsäuren abspalten, diese Abbauprodukte haben die gleiche inhibitorische Wirkung wie die monomeren Zucker. Laut ihnen sind Gerbsäure und Phenole, jene Bestandteile des Holzes, die die Zementmischung angreifen und zusätzlich die Hydratation verzögern.

Hingegen konnte laut Schmitz (1968) durch den Harzgehalt des Holzes keine nachteilige Wirkung auf das Abbindeverhalten der Holzzementmischung nachgewiesen werden. Laut Heinz & Urbonas (2007) sorgen die Harze aber für Entstehung von Luftporen im Holz-Zement, was zur Vergrößerung des Leimvolumens führt und somit eine erleichterte Verarbeitung ermöglicht wird.

Schmitz (1968) zitiert daher verschiedene Autoren, die Untersuchungen mit unterschiedlichen Holzarten gemacht haben und es wurden folgende Holzarten als geeignet für die Herstellung von Holzzement beschrieben: Nadelhölzer (Fichte, Kiefer und Tanne) und von den Laubhölzern, die Pappel an erster Stelle, dann die Birke, die Ulme und eventuell noch Ahorn. Als ungeeignet wurden laut Schmitz (1968) die Lärche, die Esche, die Eiche und die Buche beschrieben.

Sandermann (1954, zitiert nach Schmitz, 1968) beschrieb folgende Hölzer in der Reihenfolge, als besonders geeignet zur Herstellung von Holzzementplatten: Fichte, Pappel und Kiefer.

Wie, Guang, Zhou & Tomita (1999) haben den Einfluss von 38 wirtschaftlich relevanten Holzarten auf die Zementhydratation untersucht und nach ihrer verzögernden Wirkung in 3 Gruppen geteilt:

- 1) die am wenigsten inhibierenden Holzarten: verschiedene Fichten- und Eukalyptushölzer
- 2) die Holzarten mit mittelstarker Inhibierung: Pappel, Kastanie, Esche
- 3) Holzarten mit hoher Inhibierung: Lärche, Mahagoni und bestimmte Eichensorten.

Zusätzlich unterscheiden sie zwei Gruppen von Holzzement mit unterschiedlichen Hölzern nach dem Hydratationsverhalten und den Festigkeiten:

- 1) Holzzement mit Holzzusätzen aus Fichte und Kiefer weisen höhere Festigkeiten und besseres Hydratationsverhalten auf
- 2) Holzzement mit Holzzusätzen aus Eiche, Birke, Douglasfichte, Lärche und Erle erreichen geringere Festigkeiten

Schmitz (1968) berichtet von Versuchen, in welchen die Biegefestigkeit von Holzzement durch Beigabe von Pappelspänen erhöht wurde.

Nach Simatupang & Lange (1987) erhöht sich die Festigkeit von Holzzementplatten bei hohem Alitgehalt im Zement, wenn Fichtenspäne eingesetzt werden.

In neueren Forschungen werden nicht nur verschiedene Holzarten, sondern auch unterschiedliche Zementarten eingesetzt, damit eine Verbesserung der Holzzementbindung erreicht wird.

Im Teilprojekt 16 von Holzbau der Zukunft der Technischen Universität München, in welchem Holzbeton untersucht wurde, (Heinz & Urbonas 2008) wurde die beste Verträglichkeit mit Holz beim Schnellzement mit 12/7-Calciumaluminat und einem Spezialbindemittel mit Hüttensand, Gips, Portlandzement und Flugasche beobachtet.

Portlandzemente mit einem niedrigeren Alkaligehalt sind geeigneter für die Herstellung von Holzzement (Heinz & Urbonas, 2008).

Jorge, Pereira & Ferreira (2004) geben in ihrem Artikel einen Überblick über die Forschung der letzten 10 Jahre bei Holz-Zement-Werkstoffen.

Der Inhibierungseffekt kann durch Messung des Temperaturanstieges der Holz-Zement- Mischung während der Hydratationsphase nachgewiesen werden (CA – Faktor wird durch das Verhältnis des Temperaturanstieges einer Holzzementmischung und des Temperaturanstieges von Zement ohne Beigabe von anderem Material ermittelt). Drei Kompatibilitätsklassen werden durch den CA- Faktor erreicht:

CA > 68 % gilt als kompatibel 28 % < CA > 68% gilt als moderat kompatibel und CA < 28 % gilt als nicht kompatibel (Hachmi & Moslemi, 1984 zitiert nach Jorge, Pereira & Ferreira, 2004).

Ebenso kann der Inhibierungseffekt durch die Dauer (t_{max}) bis die maximale Temperatur (T_{max}) erreicht wird, berechnet werden (Jorge, Pereira & Ferreira, 2004).

Drei Phasen des Temperaturanstieges während der Zementhärtung von Zeitpunkt des Mischens bis zum Erreichen der maximalen Temperatur, werden von Moslemi & Lim (1984, zitiert nach Jorge, Pereira & Ferreira, 2004) beschrieben:

1. Anfangstemperaturanstieg (kleiner Anstieg während einer kurzen Periode)
2. Ruhende Periode (die Temperatur steigt nicht oder sinkt sogar ein wenig)
3. Zementaushärtungsperiode mit starkem Temperaturanstieg

Es werden bei Jorge, Pereira & Ferreira noch weitere Formeln für den Inhibierungseffekt beschrieben, dennoch gilt der CA- Faktor als der zuverlässigste Wert, um die Kompatibilität der verwendeten Holzart mit dem Zement zu erfassen.

In weiteren Untersuchungen von Miller & Moslemi (1991, zitiert nach Jorge, Ferreira & Perreira, 2004) wurde Hartholz, Weichholz und Splintholz hinsichtlich der Kompatibilität mit Zement geprüft, dabei wies das Splintholz die beste Kompatibilität auf.

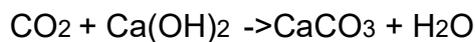
Pereira et.al (2001) haben durch Zugabe von Natriumhydroxid (NaOH) 0,1% und Calciumhydroxid (CaOH^2) 0,1 % zu einer filtrierten Zementmischung einerseits eine Alkalisierung herbeigeführt, und andererseits unter der Annahme einer Adsorption auf den Holzpartikeln mit Calcium-Kationen aus der Zementmischung wurde dem Gewichtsverlustes von Holz in Holz-Zementmischungen durch zusätzliches Calciumhydroxid entgegengewirkt.

Jorge, Ferreira & Perreira (2004) fassen ausgehend von Untersuchungen, wo Adsorptionsvorgänge untersucht wurden, zusammen, dass in Holz-Zementmischungen Calcium eine wichtige Rolle spielt und durch die Adsorption von Calcium auf Holz, es aus der Lösung genommen wird und dies führt zu Störungen im chemischen System während der Zementhydratation (vgl. Schmitz, 1968)

Forschungen bezüglich unterschiedlicher Holzarten in Zementmischungen belegen, dass auch verschiedene Hölzer entsprechende Behandlungsmethoden brauchen, meist reicht lediglich Behandlung mit kaltem oder heißen Wasser, manchmal erfordert es die die Zugabe von Natriumhydroxid 1 % (NaOH) (Alberto et. al. 2000).

Unter anderem werden bei Jorge, Fereira & Perreira (2004) die Untersuchungen von Lee et. al (1987) angegeben, in welcher das Verhältnis Holzspäne zu Zement von 1:13 bis 1:4 variiert wurde. Je höher der Anteil der Holzspäne wurde, umso länger verzögerte sich die Hydratation und umso geringer wurde die Druckfestigkeit.

Berger et. al (1972 zitiert nach Jorge, Fereira & Perreira, 2004) haben untersucht, dass die Zugabe von Kohlendioxid (CO₂) zur Holzzementmischung eine Verkürzung der Anfangs-Erhärtungsphase zur Folge hat. Dieses Phänomen wird durch die chemische Reaktion von Carbondioxid und Calciumhydroxid hervorgerufen, aus welcher Calciumcarbonat und Wasser resultieren:



Die Beschleunigung der Erhärtung von Holzzement mit Kohlendioxidinjektionen wird seit ungefähr 20 Jahren erforscht. Es wurde beobachtet, dass nach wenigen Minuten, nachdem das Kohlendioxid der Holzzementmischung zugefügt wurde, schon mehr als 50 % der endgültigen Härte erreicht wurden. Zusätzlich sind beim kohlendioxidangereicherten Holzzement weniger inhibitorische Effekte zu beobachten, welche vom Zucker und den anderen wasserlöslichen Stoffen des Holzes ausgehen. Die Interaktion der Calciumsilikate im Zement mit dem Kohlendioxid wird als Hauptreaktion beobachtet und für die schnellere Erhärtung des Holzzements verantwortlich gemacht. Aber auch die Reaktion von Ettringit (Ca₆Al₂[(OH)₁₂|(SO₄)₃]·26 H₂O) und Kohlendioxid (CO₂) hat einen Einfluss auf die schnellere Erhärtung des Holzzements. Eine Reaktion zwischen Calciumhydroxid und Kohlendioxid wurde nicht beobachtet (Qi, Cooper & Hooton, 2009).

Heinz und Urbonas führen Untersuchungen an, in welchen die Inhibition der Zementhydratation durch den Einfluss von monomeren Zuckern gefördert wird (Dewitz et. al 1992).

Dewitz et al. (1992) haben untersucht, wie in der Anfangsphase des Zements, durch monomere Zucker eine erhöhte Calciumionenlöslichkeit bewirkt wird. Es kommt zu kalkarmen Calciumsilikathydratphasen bei den Tricalciumsilikaten (C₃S), welche für die Frühfestigkeit des Zements verantwortlich sind. Die Dicalciumsilikate (C₂S) sind davon nicht beeinträchtigt, sie sind auch für die Festigkeit des Zements später verantwortlich. Bei der Bildung von Calciumsilicathydraten entsteht Calciumhydroxid

(CH, auch Portlandit). Heinz und Urbonas (2008) weisen auf eine Untersuchung von Govin et. al. (2006) hin, in welcher durch den Zusatz von Holzpartikeln (Pappel) die Entstehung des Portlandits und der CSH-Phasen wesentlich verzögert wird. Dabei entsteht im früheren Hydratationsbereich vermehrt Calcit.

Heinz und Urbonas (2008) beschreiben eine Erhöhung der Festigkeit von Spanplatten, wenn Zement und Wasser vermischt werden und danach erst die Holzspäne zugefügt werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Holzinhaltstoffe weniger inhibierend wirken, da die Hydratation des Zements schon begonnen hat.

Wei und Tomita (2001) haben durch Zugabe von zerkleinerten anorganischen Fasermaterial, wie alkaliresistente Glasfasern, normale Glasfasern und Mineralwolle zur Holzzementwolle, eine Verbesserung der Festigkeit und der Dimensionsbeständigkeit erzielt.

Prüfverfahren von Holzzement

Wie schon Schmitz 1968 in seiner Dissertation bemerkt, können Untersuchungen von Holz-Zement-Mischungen mit folgenden chemisch-physikalischen Methoden durchgeführt werden:

- 1) Untersuchungen zur Eignung des Holzes
 - a. Chemische Analyse des Holzes
 - b. Untersuchung der sich in alkalischer Reaktion bildenden Reaktionen bei der Mischung von Holz und Zement
 - c. Die Beobachtung diverser physikalischer Erscheinungen elektrischer, mechanischer und thermischer Natur im System Holz-Zement (Untersuchung des Abbindevorganges)
- 2) Mechanische Prüfverfahren
 - a. Biegefestigkeitsbestimmung von zylindrischen Prüfkörpern
 - b. Bestimmung des Ausziehwiderstandes durch Einstellen von Holzprüfstäbchen in den Purzementmörtel – nach einer gewissen Zeit wird dann das Stäbchen herausgezogen, der Widerstand, der sich dabei ergibt, ist ein Indikator für das Abbindeverhalten des Holzes mit dem Zement, da bei ungeeigneten Hölzern an der Stelle eine Zone von nicht abgebundenem Zement sichtbar wird.

- c. Zementreliefanalyse: durch Trocknung und Abwiegen des Bindemittels im Kontaktbereich von Holz und Zement, ergibt sich aus dem Flächengewicht (welches proportional der Inhibitorwirkung der Störsubstanz ist) ein Hinweis auf die Eignung des Holzes.
- 3) Röntgen-Analyse: durch Beobachtung des Kristallisationsprozesses des sich erhärtenden Zements können Veränderungen dieses Prozesses bei der Zugabe von Holz, vorwiegend quantitativ erfasst werden. (dieses Verfahren wird wegen manchmal unklarer Ergebnisse nicht empfohlen)
- 4) Hydratationstemperaturmessung: Schmitz (1968) empfiehlt die Methode nach Sandermann in einer genormten Holz-Zement-Wasser-Mischung.

Heinz und Urbonas (2008) haben für ihre Holzbetonproben folgende Untersuchungsmethoden angewandt:

- 1) Mineralogische Untersuchungen: die mineralogische Zusammensetzung der Bindemittel wurde mittels Röntgendiffraktometrie ermittelt. Die mikroanalytischen Untersuchungen wurden mit einem Rasterelektronenmikroskop durchgeführt.
- 2) Chemische Untersuchungen: mit Röntgenfluoreszenzanalyse, mit optischem Emissionsspektrometer werden unterschiedlichen Werte der chemischen Bestandteile der Holzbetonmischung ermittelt.
- 3) Physikalische Untersuchungen zur Bestimmung der Dichte wurden mit einem Heliumpyknometer durchgeführt.
- 4) Mörteltechnische Untersuchungen: die Herstellung von Holzbetonen erfolgte hauptsächlich in einem Mörtelmischer nach DIN EN 196-1 Prüfverfahren für Zement:
 - a. Teil 1 Bestimmung der Festigkeit, Ausgabe 2005-05. Die Bestimmung des Ausbreitmaßes erfolgte nach DIN EN 1015-3 Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk,
 - b. Teil 3: Bestimmung der Konsistenz von Frischmörtel und nach DIN EN 12350-5 Prüfung von Frischbeton – Teil 5: Ausbreitmaß, Ausgabe 2004-06. Die Bestimmung der Frischbetonrohichte und des Luftporengehaltes erfolgte nach DIN EN 1015-6 Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk,

- c. Teil 6: Bestimmung der Rohdichte von Frischmörtel, Ausgabe 1998-12 und nach DIN EN 1015-7 Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk,
- d. Teil 7: Bestimmung des Luftgehaltes von Frischmörtel, Ausgabe 1998-12. Das Erstarrungsverhalten wurde in Anlehnung an das DIN EN 196-3 Prüfverfahren für Zement – Teil 3: Bestimmung der Erstarrungszeiten und der Raumbeständigkeit, Ausgabe 2005-05 ermittelt. Abweichend von der Norm wurde die Erstarrung an Zementleim mit Holzpartikeln ermittelt, was die Genauigkeit des Verfahrens beeinträchtigte.

Für die Festigkeitsbestimmung wurden Holzbetonprismen $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ und $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$ Würfel hergestellt und bis zur Prüfung hauptsächlich bei 20 °C und $>95 \text{ \% r.F.}$ gelagert.

An einigen Betonen wurde eine Wärmebehandlung bei 60 bzw. 80 °C durchgeführt. Die Festigkeitsbestimmung erfolgte nach DIN EN 196-1 Prüfverfahren für Zement, Teil 1: Bestimmung der Festigkeit, Ausgabe 2005-05 (Prismen) und nach DIN EN 12390-3, Prüfung von Festbeton, Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern, Ausgabe 2002-04 (Würfel).

Eigenschaften von Holzbetonwerkstoffen: Holzbetonwerkstoffe werden nicht nur hinsichtlich ihrer Zusammensetzung und Form unterschieden, sondern davon ausgehend auch hinsichtlich ihres Verwendungszweckes. Heinz & Urbonas (2008) haben in folgender Tabelle einige mineralisch gebundene Holzwerkstoffe hinsichtlich diverser Eigenschaften verglichen (vgl. Tabelle 4):

Eigenschaft	Holzzementplatte (Eternit, Duripanel, Cetriss Basic, Amroc-Panel)	Holzwolle – Leichtbauplatten (Heraklith, Fibrolith)	Holzbetonschalungssteine (Isospan, Brisolit, Durisol)
Bindemittelgehalt (Vol.-%)	25 – 38	n.b.	30 – 40
Wassergehalt (Vol.-%)	9 – 10	n.b.	n.b.
Anteil Holzpartikel (Vol.-%)	52 – 63	n.b.	n.b.
Form der Holzpartikel	Späne	Wolle	Späne
Bindemittel	Zement	Magnesit, Zement	Zement
Zusatzstoffe	Mineralisationsmittel, Hydratationsmittel	Chloride	Hydratationszusätze
Vorbehandlung des Holzes	Mineralisierung, Vorlagerung	Vorlagerung, Tränkung in Lauge	n.b.
Wassermenge w/z	0,24 – 0,4	n.b.	n.b.
Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)	0,18 – 0,35	0,075 – 0,15	0,23
Wasserdampfdiffusionswiderstand μ (DIN 4108)	20/50	5/2	n.b.
Frostbeständig	Ja	n.b.	ja
Schallabsorption NRC (bzw. α_w)	0,04 – 0,05	0,4 – 0,45	n.b.
Bewertetes Schalldämmmaß (R' _w)	30 dB	n.b.	47 dB
Baustoffklasse	B1 – A2	B1 – A2	B2
Rohdichte (kg/m ³)	1150 – 1450	400 – 450	550 - 700
Druckfestigkeit (N/mm ²)	15 – 22	0,15 – 0,2	1,2 - 3,5
Biegezugfestigkeit (N/mm ²)	7,5 – 9	0,4 – 1	0,9 – 1,2
E-Modul (N/mm ²)	3500 – 8000	n.b.	n.b.
Schwind- bzw. Quellmaß in Plattenebene	< 0,2 % (30 – 80% r.F.) <0,15 % (30 % r.F.)	n.b.	n.b.

n.B. – nicht bekannt r.F. – relative Luftfeuchteänderung

Tabelle 4: Übersicht von unterschiedlichen Holzbetonmaterialien

Mineralgebundene Holzwerkstoffe werden auch folgendermaßen differenziert:

Leichte oder poröse ($\rho < 800 \text{ kg/m}^3$)

schwere oder dichte ($\rho = 800 - 1300 \text{ kg/m}^3$)

sehr schwere oder sehr dichte ($\rho > 1300 \text{ kg/m}^3$) Holzwerkstoffe.

(nach Simatupang und Lange, 1992)

Sarja (1988) teilt die Holzbetone nach ihrer Rohdichte in 4 Klassen ein:

- zementgebundene Holzwolle mit $350 - 600 \text{ kg/m}^3$. Holzpartikel: bis 80 mm lange Holzfasern. Anwendung: wärmedämmende und akustische Platten.

- zementgebundener Hackspan (wood chip cement) mit $400 - 600 \text{ kg/m}^3$.

Holzpartikel: kurze Späne bis 20 mm Länge. Anwendung: Mantelsteine.

- zementgebundener Holzpartikel-Beton (wood particle cement) mit $1000 - 1200 \text{ kg/m}^3$. Holzpartikel: kurze Späne bis 20 mm Länge. Platten für Innenwände, Innenbeplankung, Fußboden und Fassaden.

- Konstruktionsbetone mit Holzfasern mit $1200 - 2000 \text{ kg/m}^3$. Holzpartikel: bis 30 mm Länge. Konstruktionswände, Fassadenelemente.

Wie damit ersichtlich gemacht werden soll, sind den Variationen aus Holz, Beton und eventuellen Zuschlagstoffen, kaum Grenzen zu setzen. Die Vielfalt an Holzbeton- oder Holzzementwerkstoffen wird immer größer und es sind hier noch viele Entwicklungsmöglichkeiten zur Optimierung offen

3.3 Anwendungen und Wiederverwertung von Tarolit

Viele Gebäude aus der sozialistischen Ära, welche mit Tarolitplatten hergestellt wurden, sind öffentliche oder wirtschaftliche Gebäude. Jene, die nicht mehr verwendet werden, werden entweder zweckumgewidmet oder die Gebäude werden meist manuell zerstört, ob der Beständigkeit des Materials. Tarolitplatten lassen sich jedoch hervorragend wiederverwerten und dies wird bei einer Lagerhalle in diesem Kapitel dargestellt. In den untenstehenden Abbildungen (78 bis 83) wird ein ehemaliges Lagergebäude, welches aus Tarolitplatten in den 60er Jahren gebaut wurde dargestellt. Es sollte zerstört werden und auf den folgenden Abbildungen ist zu sehen, wie widerstandsfähig das Material ist.



Abb.78: Arbeiter beim Versuch das Tarolit-Deckenelement manuell zu entfernen



Abb.79: Ansicht der Decke von unten, die Tarolitplatten werden von Stahlbetonträgern gehalten



Abb. 80: durchgestemmtes Loch in der Tarolit-Decke – die feinen Sägespäne in einer relativ hohen Dichte sind gut erkennbar



Abb. 81: Sägespäne in der Tarolit-Decke – es ist der hohe Anteil der Pappelspäne hier deutlich zu sehen



Abb. 82: Die Wand ist aus mehreren länglichen Tarolit-Platten gebaut

Abb. 83: Ansicht der Decke (Tarolitplatten und Betonschicht) und den Wänden mit rechteckigen Tarolit-Platten

In den Abbildungen 78 bis 83 ist zu sehen, wie eine ehemalige Lagerhalle, erbaut aus Tarolitplatten (ungefähr vierzig Jahre altes Gebäude) abgerissen werden soll. Die Abrissarbeiten gestalten sich als schwierig, da auf Grund der hohen Beständigkeit der Tarolitplatten, ein Großteil einzeln abgetragen werden müssen und dann entsorgt, bzw. wiederverwertet werden können.

Tarolit als Baumaterial bei Betriebsgebäuden im Kosovo – eine Darstellung der Temperaturbeständigkeit in einem Gebäude anhand von Messungen

Es werden zwei Gebäude im Kosovo, einmal eine Fertigungshalle für Betonbewehrungen welche mit Tarolitplatten aus dem Jahr 1964 erbaut wurde und zum anderen eine Weinlagerhalle aus dem Jahr 1975 dargestellt. Diese Gebäude sind in einem baulich einwandfreien Zustand, welches auf die gute Haltbarkeit von Tarolit zurückzuführen ist. Von den Tarolitplatten, welche für die Fertigungshalle verwendet wurden, wurden Proben entnommen und werden für mögliche spätere Untersuchungen aufbewahrt.

Weinlagerhalle aus Tarolitplatten

In der Weinlagerhalle aus dem Jahr 1975 (Rahovec/Kosovo) wurden eine Woche jeden Tag die Außentemperatur und die Innentemperatur im Gebäude gemessen und in Tabelle 2 zusammengefasst. Es sollte gezeigt werden, wie konstant die Innentemperatur in einem Gebäude aus Tarolit ist und wie es bei hohen Außentemperaturen innen fast konstant 10 Grad kühler war. Die Daten sind in Tabelle 5 und in Abbildung 84 dargestellt.

Lagerhalle aus	Tarolit	erbaut im Jahr 1975	Rahovec/Kosovo
Tag und Datum	Zeitraumen/alle 2 Std Messung	Außentemperatur (Mittelwert)	Innentemperatur (Mittelwert)
Samstag, 25.08.2012	10 – 16 Uhr	34 C°	23 C°
Sonntag, 26.08.2012	10 – 16 Uhr	36 C°	25 C°
Montag, 27.08.2012	10 – 16 Uhr	33 C°	23 C°
Dienstag, 28.08.2012	10 – 16 Uhr	37 C°	27 C°
Mittwoch, 29.08.2012	10 – 16 Uhr	36 C°	26 C°
Donnerstag, 30.08.2012	10 – 16 Uhr	32 C°	22 C°
Freitag, 31.08.2012	10 – 16 Uhr	35 C°	25 C°

Tabelle 5: Zeitprotokoll über Temperaturverlauf innerhalb einer Woche in der Weinlagerhalle

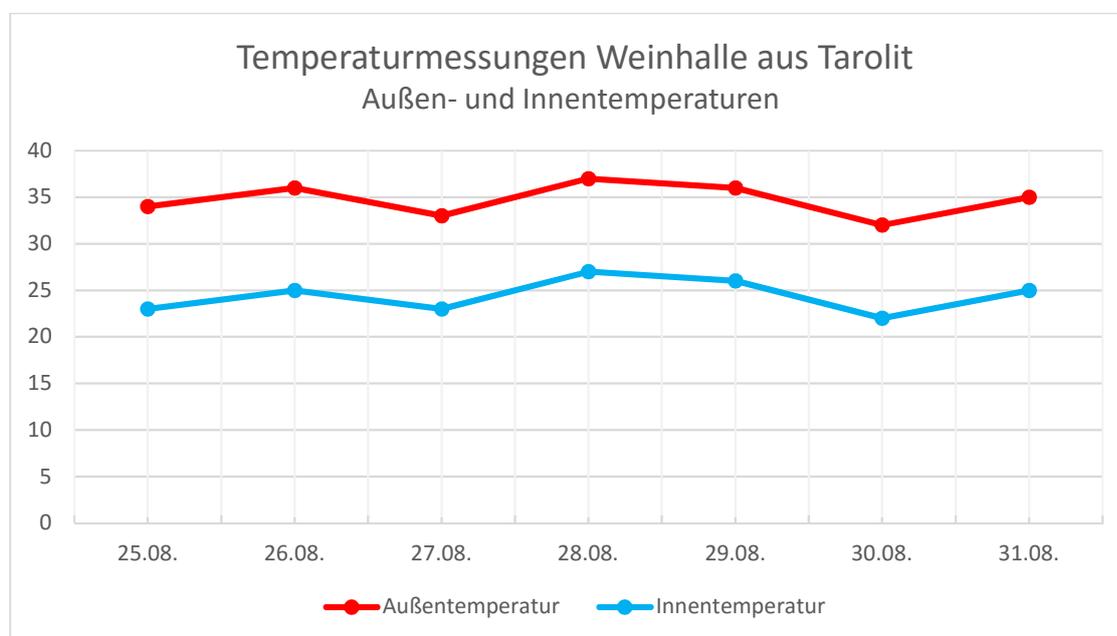


Abbildung 84: im Diagramm sind die beiden Temperaturverläufe (Außen und Innen) gut zu sehen. Die Temperaturen werden in Grad Celsius angegeben und bewegen sich konstant parallel mit 10 Grad Differenz.

Diese relativ stabilen Temperaturwerte im Inneren des Gebäudes mit einer Differenz von durchschnittlich 10 Grad zur Außentemperatur, sind auf die guten thermischen Eigenschaften von Tarolit zurückzuführen.

Hier sind Bilder von der Weinlagerhalle (erbaut im Jahr 1975):



Abbildung 85 und 86: Weinlagerhalle/Rahovec, die Tarolitplatten sind mit Beton außen verkleidet



Abbildung 87: nähere Ansicht der Eckverbindung der Tarolitplatten, welche von Stahlbetonträgern gehalten werden.

Abbildung 88: Ansicht der Decke der Weinlagerhalle: Die Decken sind aus langen Tarolit-Platten hergestellt und werden von Stahlträgern gestützt.

Auf den Abbildungen 85 bis 88 ist die Lagerhalle zu sehen, in welchen der Wein gelagert wird. Dieses Gebäude wurde im Jahr 1974 erbaut und ist noch immer in Betrieb. Die Wände und Decke in dieser Halle sind mit Tarolitplatten mit den Maßen 250/50/12 cm erbaut. Hier wurden die Temperaturmessungen im Hochsommer durchgeführt (siehe Tabelle), wobei hier die Temperaturunterschiede von Außen- und Innentemperatur ungefähr 10 Grad beträgt, was die thermoisolierenden Eigenschaften von Tarolit bestätigt, einem vielfältig anwendbaren Baumaterial

Fertigungshalle für Betonbewehrungen mit Wand- und Deckenelementen aus Tarolit aus dem Jahr 1964

Aus abgetragenen Tarolitplatten, welche im Jahr 1964 hergestellt wurden und für ein Fabriksgebäude ursprünglich verwendet wurde, wurde folgende untenstehende Lagerhalle erbaut. Dies soll die lange Beständigkeit und gute Wiederverwertbarkeit der Platten darstellen:



Abbildung 89: Vorderansicht der Maschinenhalle – eine Stahlbetontragkonstruktion wird mit Tarolitplatten an den Wänden und auf der Decke „aufgefüllt“



Abbildung 90 bis 92: Tarolitplatten werden teilweise auch als Deckenelemente verwendet – sie werden von einem Stahlbetonbalken gestützt – zusätzlich werden Stahlgerüste zur Fixierung angebracht

3.3 Anwendungen und Wiederverwertung von Tarolit



Abbildung 93 und 94: Wand mit Tarolitplatten, auf einer Tarolitplatte, welche noch Teile einer Fassade hat, ist das Jahr 64 eingeritzt, welches ein Beweis für das Alter der Tarolitplatten ist.



Abbildung 95: Eine Tarolitplatte wird gewogen. Das Gewicht eines Tarolitelementes beträgt 250 kg.

Abbildung 96: Tarolitplatten von der Seitenansicht – sichtbar ist der hohe Holzanteil und die relativ hohe Dichte der Pappelholzspäne

In den Abbildungen 95 und 96 sind die entfernten Tarolitplatten ersichtlich, welche aus einem Gebäude, erbaut im Jahr 1964, entnommen wurden und ohne Einschränkungen in der baulichen Qualität in der Fertigungs- und Lagerhalle für Betonbewehrungen wiederverwendet werden konnten.

Die Dimensionen der Platten betragen 250/50/12 cm und wiegen ebenso 250 kg. Sie werden für die Decken und Wände verwendet.

4 Fortswirtschaft und Wiederbelebungsstrategien von Industrie im Kosovo

4.1 Forstwesen im Kosovo

Wälder bedecken 42,1 % der Oberfläche im Kosovo (Inventarizimi Nacional i Pyjeve Kosove, 2012). Günstige klimatische und hygroskopische Bedingungen haben zu einer Arten- und Pflanzenvielfalt im Kosovo geführt.

Die Wälder im Kosovo sind vorwiegend Mischwälder mit Ahorn, kanadischen Pappeln, Eichen, Fichten und Edelkastanienbäumen. Das Ministerium für Landwirtschaft, Waldwesen und rurale Entwicklung beschützt und kontrolliert die öffentlichen Wälder, vor illegaler Abholzung und ist für die Beforstung und Abholzung von befallenen Bäumen zuständig, ebenso für Brandschutz und die Vergabe von Abholzungslizenzen. Der Kosovo besitzt ungefähr 460.800 Hektar Wald, davon sind 40 % Gebirgswald und 60 % Flachwald. 185.920 Hektar Wald befinden sich im Privatbesitz und 278.880 Hektar befinden sich in öffentlicher Hand (Inventarizimi Nacional i Pyjeve Kosove, 2012)

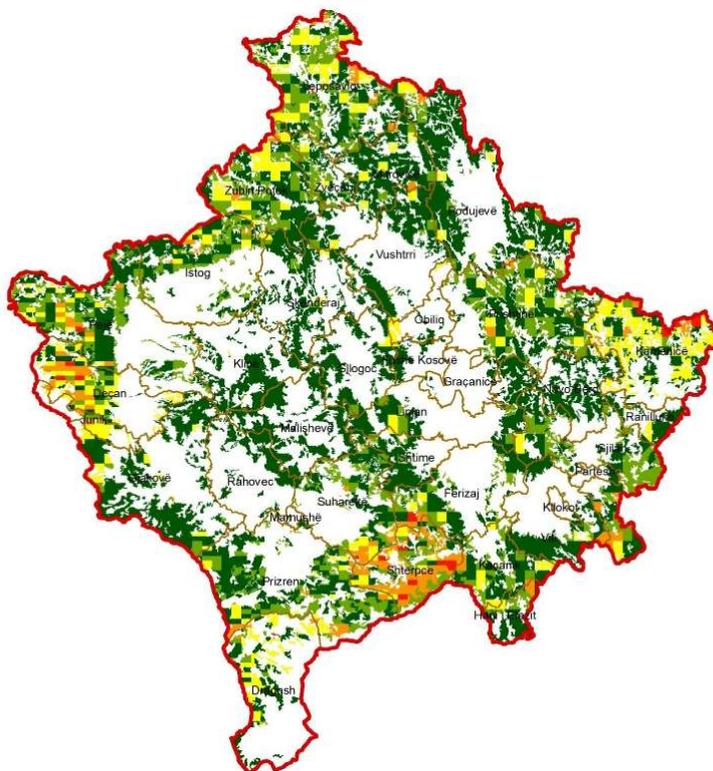


Abbildung 97: Waldbestände im Kosovo (aus Sektori i Biomases Drunore ne Kosove, 2015)

Die geologischen Bedingungen sind im Kosovo zwar unterschiedlich mit einem durchschnittlichen PH-Wert von 6, jedoch sind die Bodenbedingungen für Wälder sehr vorteilhaft, da es keine längeren Trockenperioden oder sonstige extreme Wetterschwankungen gibt (Inventarizimi Nacional i Pyjeve Kosove, 2012)

Folgende Baumarten finden sich in Kosovos Wäldern:

- Laubbäume, welche die Mehrzahl der Bäume in den Wäldern des Kosovo bilden (93%), wobei hier vor allem Buche, Eiche, Weide, Edel- und Roßkastanien und verschiedenste Arten von Obstbäumen, vor allem Quittenbäume und Aspenbäume, genannt werden sollten
- Nadelbäume (5% des Waldbestandes im Kosovo), wie Weißfichte, Rotfichte, Schwarzföhre, Tannen und diverse andere Nadelgewächse
- Mischwälder (2% Fichten- und Buchenwälder hauptsächlich)

(aus Inventarizimi Nacional i Pyjeve Kosove, 2012)

Das Forstwesen im Kosovo ist ein wichtiger wirtschaftlicher Sektor, der ebenso für die Umwelt und den sozialen Bereich eine Bedeutung hat. Die Verwendung von Holz im Kosovo ist noch immer sehr einseitig, so ist laut untenstehender Tabelle deutlich zu sehen, dass noch immer Holz vorwiegend zum Heizen verwendet wird.

Regionen/Städte	Holz zum Heizen m ³	Holz für die industrielle Verwendung m ³	Insgesamt m ³
Kosove	451.735	6.248	457.983
Prishtine	86.618	-	86.618
Mitrovice	120.323	230	120.553
Peje	42.797	1.792	44.589
Gjakove	34.428	1.266	35.694
Prizren	54.762	208	54.970
Ferizaj	51.394	703	54.097
Gjilan	61.413	49	61.462

Tabelle 6: Nutzung des Holzes aus den Wäldern in m³ im getrennt nach Regionen

(Quelle: Anketa e ekonomive familjare bujqësore 2008)

Wie in Tabelle 6 zu sehen ist, wird am meisten das gefällte Holz zum Heizen verwendet. Neuere Erhebungen in dieser Form liegen derzeit nicht vor, daher werden noch die Daten aus dem Jahr 2008 präsentiert.

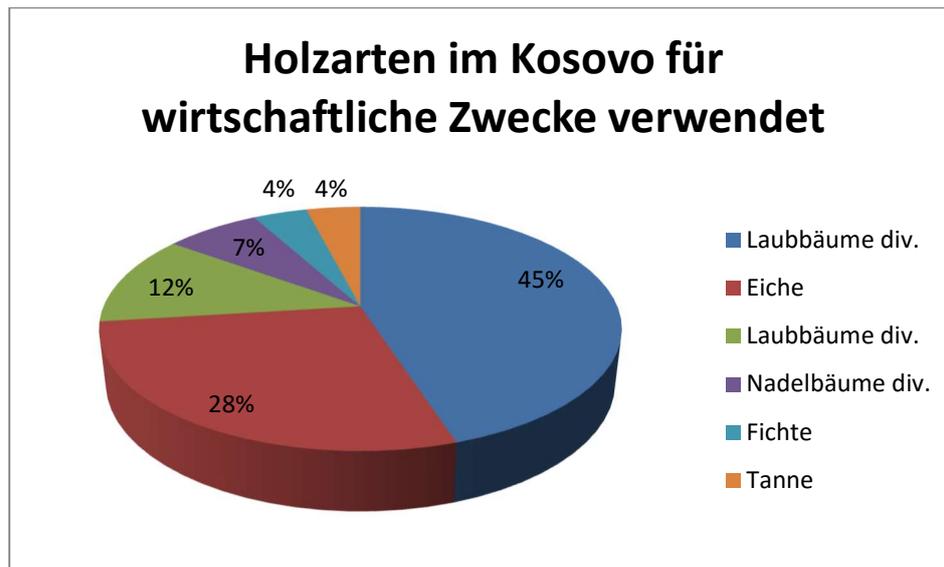


Abbildung 98: Aufteilung der industriell verwendeten Holzarten im Kosovo (Sustainable Forest Management Project, 2007)

Pro Jahr wurden vor dem Krieg durchschnittlich 700.000 m³ Holz in den Hochwäldern gefällt und ungefähr 200.000 m³ in den Flachwäldern. Die erlaubte Abholzung von 900.000 m³/Jahr steht mit 77% Wiederaufforstung der abgeholzten Gebiete relativ gut abgedeckt da (Sustainable Forest Management Project, 2007).

Seit 2000 beträgt die Abholzung in den öffentlichen Wäldern momentan ungefähr 200.000 m³.

Basierend auf Holzmaßen, beträgt das durchschnittliche Forstwachstum 140 m³/Hektar (ungefähr 1,3 Millionen ha/Jahr). Das Forstvolumen wird laut der letzten staatlichen Forstinventur 2012 (Inventarizimi Nacional i Pyjeve Kosove, 2012) im Kosovo auf durchschnittlich 84 m³/Ha geschätzt. Der europäische Durchschnitt beträgt 105 m³/Ha, wobei in manchen europäischen Ländern bis zu 250 m³/Ha möglich sind. Aktuell sind die größten Holzverarbeitungsstätten nicht aktiv (Privatisierungsmaßnahmen oder Bildung von gemeinschaftlichen Leitungen), wie in Gjeravica, Decan, Holzkombinat in Peje (teilweise in Ferizaj, Perparimi Prishtine, Podujeve etc.).

Zusätzlich ist in den letzten Jahren eine beachtliche Anzahl von mittleren und kleinen Verarbeitungsstätten, ausschließlich im privaten Sektor, entstanden. Die genaue Anzahl ist noch nicht genau erfasst worden, ebenso wenig ist bekannt, wie hoch die

Verarbeitungskapazitäten sind. Hier liegt ein Bedarf an statistischer Erhebung dieser Klein- und Mittelbetriebe und wie hoch die Kapazitäten sind.

Nicht zu vergessen ist die ausbaufähige Infrastruktur in den Wäldern des Kosovo – viele Wege und Straßen sind in den letzten Jahren zerstört worden oder nicht repariert. Die meisten Gebiete, wo abgeholzt wird, befinden sich in Höhen, die kaum erreichbar sind und somit wird der Transport erschwert.

Schwerpunkt in der Holzverarbeitungsindustrie im Kosovo ist die Verarbeitung des Holzes zu Bauholz, Balken und Brettern für unterschiedliche Verwendungen. Holz in der endgültigen Verarbeitung wird für Türen, Fenster, Innenausstattung verwendet (Parkett, Wand- und Deckenverkleidung, Küchenfronten, Dekorelemente und Möbel).

Es existieren in Decan und Ferizaj zwei Ausbildungsstätten für das Forstwesen (Baumschulen).

Hauptimportländer für Holz sind vorwiegend die Nachbarländer des Kosovo, vor allem Bosnien, Montenegro, Albanien und ein geringer Teil aus entfernteren Ländern.

Die Verarbeitung von Holz im Kosovo ist traditionsreich und weit verbreitet, doch da sie unkontrolliert und oftmals auch willkürlich stattfindet, ist eine Überwachung und Koordination der Verarbeitungsstätten notwendig, ebenso die Kombination von verschiedenen Baumaterialien im Bau in professioneller Weise, damit der Forstbestand des Kosovo nicht gefährdet wird.

Die Forstwirtschaft ist aus ökonomischen, umweltbedingten und sozialen Gründen ein wichtiger Wirtschaftszweig im Kosovo.

In einer Erhebung des Ministeriums für Landwirtschaft, Forstwesen und Landentwicklung und der Abteilung aus diesem Ministerium, der Agentur für Forstwesen, wurden im Jahr 2013 gewerblich angemeldete Sägewerke und nicht angemeldete Sägewerke und deren Verarbeitungskapazitäten erhoben (Tabelle 7):

Städte	Anzahl gewerblich gemeldeter Sägewerke	Verarbeitungsmenge Holz in m ³ (2013)	Anzahl nicht gemeldeter Sägewerke	Verarbeitungsmenge Holz in m ³ (2013)
Gesamt	40	26.710	77	49.520
Prishtina	3	580	7	1.500
Mitrovica	8	10.200	17	15.000
Peje	17	10.550	31	20.000
Prizren	2	2.050	3	3.520
Ferizaj	6	1.850	9	6.000
Gjilan	4	1.480	10	3.500

Tabelle 7: Anzahl der gewerblich gemeldeten und nicht gemeldeten Sägewerke sowie deren Verarbeitungsmengen im Jahr 2013 (Sektori i Biomases Drunore ne Kosove, 2015)

Laut dieser Erhebung werden weniger als 50 % Nadelhölzer in den Sägewerken im Kosovo verarbeitet und ungefähr 70 % des verarbeiteten Holzes wird importiert.

In Tabelle 8 wird die Verteilung der verwendeten Energieformen in Prozent zum Heizen dargestellt. Wie ersichtlich ist, sind die alternativen Heizformen, wie Pellets oder Sägespänebrickets in der Minderheit. Strom und Holz sind noch immer die größten Energielieferanten für Heizungen im Kosovo.

Energieform zum Heizen	Anteil in %
Strom	48,63%
Holz	45,63 %
Kohle, Heizöl, Pellets, Sägespänebrickets Gas	5,74 %

Tabelle 8: verwendete Energieformen zum Heizen im Kosovo (Sektori i Biomases Drunore ne Kosove 2013)

Laut dem Bericht von der Food and Agriculture Organization of the United Nation (WISDOM) dem „Sektori i Biomases Drunore ne Kosove“ (Sektor der Holzbiomasse in Kosovo) aus dem Jahr 2015, teilt sich der Verbrauch von Holz (Angaben in m³/ha) folgendermaßen auf (Abb. 99) :



Abbildung 99: Verbrauch der Holzbiomasse nach m³/ha (aus Sektori i Biomases ne Kosove, 2015)

Die teilweise instabile Energieversorgung im Kosovo ist ein wichtiger Faktor in der Erklärung, warum so viel Holz zum Heizen verwendet wird (Sustainable Forest Management Project, 2007).

Exkurs: Pappelholz

Ausgehend von diversen Forschungsergebnissen und Untersuchungen zu Pappelholz soll in diesem Kapitel ein kurzer Überblick vorwiegend über die Vorteile der Verwendung des Pappelholzes als Zusatz bei der Herstellung von Holzzement berichtet werden.

Eigenschaften von Pappelholz

Aus Grosser und Zimmer (1998) wurden folgende Informationen über Pappeln gegeben: Pappeln werden in fünf Sektionen unterteilt. Jede Sektion hat mehrere Arten. In Europa sind zwei Sektionen mit folgenden drei Arten heimisch: die Schwarzpappel (*Populus nigra* L.) aus der Sektion Aigeiros („Schwarzpappeln“), die Weiß- oder Silberpappel (*Populus alba* L.) und die Zitterpappel oder Aspe (*Populus tremula* L.) aus der Sektion Leuce („Weißpappeln“). Die Graupappel (*P.x canescens*) stellt eine Kreuzung (Hybrid) aus Zitterpappel und Weißpappel dar. Pappel als Zuchtholz wird vorwiegend von als Wirtschaftspappeln angebauten Zuchtsorten bezogen. Die Schwarzpappeln werden heute von amerikanischen und asiatischen Sorten verdrängt, ebenso werden die Balsampappeln immer mehr für Züchtungen eingesetzt. Es bestehen aber zwischen den verschiedenen Pappelarten keine besonderen Unterschiede hinsichtlich der physikalischen und mechanisch-technologischen Holzeigenschaften.

Pappeln gehören mit Ausnahme der Aspen zu den Kernholzbäumen. Sie ist eine der raschwüchsigsten einheimischen Baumarten mit Höhen bis 20 Metern nach 10 bis 12 Jahren.

Pappelholz ist ein sehr weiches Holz und die Struktur ist grobfaserig. Die mittleren Rohdichtewerte sind $0,45\text{g/cm}^3$ - $0,49\text{g/cm}^3$, wenn man die Holzfeuchte mit 12 bis 15% berücksichtigt, so ist das Pappelholz ein sehr leichtes Holz.

Dies wirkt sich auf die Festigkeitswerte und die Tragfähigkeit aus. Aber trotz der geringen Rohdichte ist ein hoher Abnutzungswiderstand vorhanden, dies ist auf die starke Verfilzung der Fasern auf der Holzoberfläche zurückzuführen. Pappelholz ist ein elastisches, splitterfestes und zähes Holz.

In Tabelle 9 sind die unterschiedlichen Rohdichten der heimischen Nutzbäume dargestellt:

Holzarten	Rohdichte (rN) in g/cm ³	
	Mittelwert	Grenzwerte
Leichtere Laubhölzer		
Schwarzpappel	0,45	0,41 – 0,56
Zitterpappel	0,49	0,40 - 060
Weide	0,35 – 0,56	0,29 - 063
Linde	0,53	0,35 – 0,60
Schwarzerle	0,55	0,49 – 0,64
Schwerere Laubhölzer		
Buche	0,69 – 0,72	0,54 – 0,91
Stieleiche	0,67 – 0,69	0,43 – 0,96
Edelkastanie	0,62	0,57 – 0,66
Bergahorn	0,61 – 0,63	0,53 – 0,79
Nadelhölzer		
Fichte	0,47	0,33 – 0,68
Kiefer	0,52	0,33 – 0,89

Tab.9 Rohdichte der Schwarzpappel im Vergleich zu ausgewählten einheimischen Nutzhölzern, Werte nach DIN 68364, Grosser 1998, Grosser und Zimmer 1998

Pappeln zählen zu den wenig schwindenden Holzarten, mit einem Volumenschwindmaß zwischen 11 und 14,3 %. Ebenso arbeiten sie nach der Trocknung nur wenig und auch die Trocknung ist unkompliziert, da das Pappelholz nicht zum Reißen oder Verwerfen neigt. Frisches Pappelholz weist aber einen sehr hohen Feuchtigkeitsgehalt auf und sollte idealerweise technisch getrocknet werden. Der mittlere Wassergehalt beträgt ungefähr 120 bis 185 % mit ungleichen Feuchteverteilungen. Das Kernholz ist meist feuchter als das Splintholz. Pappelholz lässt sich gut sägen und schälen, insgesamt ist die weitere Be- und Verarbeitung von Pappelholz relativ unkompliziert.

Seifried (1989) konnte in seiner Dissertation frühere Untersuchungsergebnisse bestätigen, dass auch junges Pappelholz, wegen seiner morphologischen und chemischen Eigenschaften der Fasern, bei der Weiterverarbeitung keine Schwierigkeiten bereitet.

In Tabelle zwei sind verschiedene Kennwerte unterschiedlicher Nutzhölzer zusammengefasst:

Holzarten	Elastizität smodul aus Biegeversuch EII N mm ⁻²	Zugfestigkeit Längs σ ZBII N mm ⁻²	Druckfestigkeit längs σ DBII N mm ⁻²	Biegefestigkeit σ BB N mm ⁻²	Bruchschlagarbeit ω kJ/m ²	Härte nach Brinell N mm ⁻² längs und quer
Laubhölzer						
Schwarzpappel	8.800	77	30 – 35	55 – 56	50	30/10
Zitterpappel (Aspe)	≈ 7.800	75	25 – 40	52 – 60	40	20-23/11
Weide	7.200	46-64	24-34	31-47	70	23-35/13-16
Linde	7.400	85	44 -52	90 – 106	50	38-40/16
Schwarzerle	7.700-11.760	94	47-55	85-97	50-54	33-38/16-17
Buche	14.000-16.000	135	53-62	105-123	100	72/34
Stieleiche	11.700-13.000	90-110	52-61	88-95	60-75	64/41
Edelkastanie	9.000	135	41-50	64-77	55-59	33-38/18
Bergahorn	9.400-11400	82-144	49-58	95-112	62-65	62/27
Nadelhölzer						
Fichte	10.000-11.000	80-90	40-50	66-78	46-50	32/12
Kiefer	11.000-12.000	100-104	45-55	80-100	40-70	40/19

Tab.10.: Elastizität, Festigkeit und Härte der Schwarzpappel im Vergleich zu ausgewählten einheimischen Nutzhölzern, Werte nach DIN 86364, Grosser 1998, Grosser und Zimmer 1998

Die Aspe (Zitterpappel) zählt zu den schwersten Pappelhölzern, wie in Tabelle 1 ersichtlich ist. Insgesamt zählt das Pappelholz aber zu den leichten Hölzern.

In Tabelle 10 sieht man unter anderem, dass Pappelholz sehr weich ist (Härte nach Brinell 10 – 11 N/mm²) und gleichzeitig ist es sehr zäh. Pappelholz ist Pilz- und Insektenanfällig und wird der Dauerhaftigkeitsklasse 5 zugeordnet. (Quelle:

<http://www.proholz.at/holzarten/pappel-aspe/>)

Pappelholz als Zuschlag bei Holzzementwerkstoffen

Lange & Simatupang (1984) untersuchten, ungetrocknete, luftgetrocknete und im Trockner behandelte Späne von Pappel- und Fichtenholz. Aus diesen wurden zementgebundene Spanplatten hergestellt und deren Biegefestigkeiten nach 3, 10

und 28 Tagen bestimmt. Mit beiden Holzarten führten luftgetrocknete Späne zu höheren Festigkeiten der Platten als mit ungetrockneten Spänen. Die künstliche Trocknung der Späne führte zu einer herausragenden Verbesserung der Biegefestigkeiten der zementgebundenen Spanplatten aus Pappelspänen. Die gleiche Behandlung blieb dagegen ohne Wirkung, wenn Fichtenspäne verwendet wurden.

Wie Lange und Simatupang (1985) zeigen konnten, ist der Erhärtungsverlauf von zementgebundenen Fichtenspanplatten nicht von der Festigkeitsklasse des Zements beeinflusst. Der Zusatz von Erhärtungsbeschleunigern ist hingegen wichtig. Die Verwendung von Pappelholzspänen führt zu einer günstigen Festigkeitsentwicklung von den Holzzementplatten. Eine weitere wichtige Erkenntnis war, dass die Wirkung des Erhärtungsbeschleunigers ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2$) durch den Einsatz von Pappelholz fast vollkommen aufgehoben wurde. Die Wärmebehandlung des Beschleunigers führt nämlich zu einer ungünstigen Festigkeitsentwicklung bei den Fichtenspanplatten. Nicht so bei den Pappelspänen. Es wurden in dieser Arbeit genaue Methoden eingesetzt, die Eigenschaften der verwendeten Holzart in den Spanplatten zu bestimmen. Die Faktoren, die variiert wurden, waren Zementklasse, Zusatzmittel zur Beschleunigung der Zementerhärtung, Wasser/Zementwert, Presszeit und Erhärtungstemperatur. Die Holzart war der sechste Faktor.

Wirtschaftliche Bedeutung von Pappelholz

Pappelholz eignet sich laut Grosser & Zimmer (1998) hervorragend zur Herstellung von Spanholzplatten und anderen diversen Faserholzplatten, aber auch von Holzwolleplatten. In Deutschland ist die Pappel eines der wichtigsten Industrieböhlen. Dennoch ist in Deutschland der Anbau von Pappelholz im Rückgang. Es werden jährlich 150.000 bis 300.000 m³ Pappelholz für die industrielle Verwendung gefällt (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, 2004). Im Vergleich dazu werden in der Türkei laut Melek Elif Somer (2008) jährlich 4 Millionen m³ Pappelholz für die industrielle Verarbeitung geschlagen.

Europaweit wird Pappelholz in Kurzumtriebsplantagen zunehmend angebaut. Kurzumtriebsplantagen zeichnen sich durch hohe Investitionskosten und hohe Erträge bei der Holzproduktion aus. Sie werden vorwiegend zur Züchtung von Pappelholz und Weiden verwendet. Vor allem im Rahmen der Herstellung

erneuerbarer Energien, wie Brennstoffe, werden Kurzumtriebsplantagen europaweit immer bedeutender.

Kurzumtriebsplantagen von Pappelholz werden europaweit hauptsächlich in Italien (Norditalien wie z.B. die Firma Alasia Franco Vivai in Padua) und Frankreich betrieben.

Laut dem Bericht der Nationalen Pappelkommission in Bonn (2012, Pappeln und Weiden in Deutschland: im Zeitraum 2008 – 2011) werden zunehmend Kurzumtriebsplantagen mit Pappel- und Weidenholz angebaut, da die Nachfrage immer mehr steigt

Es musste zeitweise Pappelholz aus Frankreich, Italien, Ungarn und Österreich importiert werden, damit die Biomasseversorgung gewährleistet werden konnte. Derzeit existieren 5000 bis 6000 ha Kurzumtriebsplantagen mit Pappelholz in Deutschland (Bericht der Nationalen Pappelkommission, 2012). Wobei durch die rechtliche Nutzung dieser Plantagen als landwirtschaftliche Fläche und damit verbundenen Förderungen, wird laut diesem Bericht der Pappelkommission mit einer verstärkten Zunahme der Kurzumtriebsplantagen oder Energiewälder in Deutschland gerechnet. Auch in Österreich und Südosteuropa ist dieser Trend vorhanden und durch geeignete Fördermaßnahmen der Europäischen Union soll dies eine zukunftsreiche Möglichkeit nachhaltig und umweltschonend Holz für Brennstoffe und Holzwerkstoffe zu gewinnen, sein.

Bemann (2009) betont, dass Holz aus Kurzumtriebsplantagen zukünftig ein wichtiger Rohstoff sein wird. Er prognostiziert, dass die Holzmengen für die energetische und stoffliche Nutzung in Zukunft steigen werden. Er betont die Effizienz der Holzgewinnung aus Kurzumtriebsplantagen ergänzend zur herkömmlichen Holzwirtschaft.

Die Hölzer werden alle zwei bis vier Jahre geerntet mit sogenannten Gehölmähähäckslern, welche gleich beim Ernten, das Holz in Häckselgut zerkleinern. Danach werden die Späne zum Trocknen gefahren.

Pappelholz zählt laut der deutschen Staatsforstverwaltung (http://www.holz-von-hier.de/waldbesitzer-info/Forst_Holzmarkt_hr.pdf) zu den günstigsten Holzarten

4.2 Strategien und Möglichkeiten zur Wiederbelebung der Bauindustrie im Kosovo

In verschiedenen Sozialberichten aus europäischen Ländern, wie Deutschland und Schweiz, aber auch laut dem kosovarischen Statistikamt wird das kosovarische Bildungssystem infrastrukturell und auch qualitativ als mangelhaft beschrieben.

(<http://www.erisee.org/downloads/2013/2/Education%20Statistics%20%202010-2011%20ENG.pdf>)

Die Gesellschaft ist seit Jahren im Umbruch zwischen alten patriarchalen Strukturen, schwierigen politischen und somit sozialen Bedingungen und dem Einfluss der Diaspora auf der Mikroebene und der Globalisierung auf der Makroebene. Der Kosovo ist ein Land reich an Bodenschätzen (vor allem Braunkohle, Nickel, Zink und Blei) und hat eine ausgeprägte Agrarstruktur. Dies sind durchaus gute Bedingungen für Investitionen in unterschiedlichen Bereichen. Der Dienstleistungsbereich erwirtschaftet etwa zwei Drittel des BIP. Vor allem im Tourismus und der IT – Branche werden laut diversen Wirtschaftsanalysen genügend Potentiale gesehen . Das kosovarische Ministerium für wirtschaftliche Entwicklung hat mit Unterstützung der Deutschen Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) eine IT-Exportförderungsstrategie erstellt. Kosovarische IT-Firmen und der IT-Dachverband STIKK präsentieren sich seit mehreren Jahren erfolgreich auf der CEBIT in Hannover. Aufstrebenden IT-Firmen bietet das Innovation Centre Kosovo (ICK) Unterstützung vor allem in der Anfangsphase an.

(http://m.pristina.diplo.de/Vertretung/pristina/de/05/01-Wirtschaft/01-WiUebersicht/_wirtschafts_C3_BCbersicht-kosovo.html)

Der industrielle Bereich liegt dennoch im Entwicklungsbereich, nur 10 % der Unternehmen sind hier tätig. Hier ist Deutschland derzeit aktiv und investiert zunehmend in Produktionsstätten. Im April 2016 ist zusätzlich das Stabilitäts- und Assoziierungsabkommen mit der EU in Kraft getreten und somit nehmen auch die Investitionen zu (http://m.pristina.diplo.de/Vertretung/pristina/de/05/01-Wirtschaft/01-WiUebersicht/_wirtschafts_C3_BCbersicht-kosovo.html)

Unmittelbar nach der Unabhängigkeitserklärung des Kosovo als eigenständige Republik im Jahr 2008, hat die Universität St. Gallen in der Schweiz unter Dr. Urs Heierli ein Praxisprojekt in der Entwicklungsarbeit mit Entwicklungsstrategien für

einen unabhängigen Kosovo vorgestellt. In diesem Projekt sind anwendungsbezogene Beiträge und Informationen zur Bekämpfung von Armut und Arbeitslosigkeit beschrieben. Aus diesem Projekt (Heierli, 2008) stammen daher folgende Informationen:

Arbeitslosigkeit und Armut sind die Hauptfaktoren für eine Destabilisierung des Kosovo. Auswanderung, hauptsächlich von jungen Männern, trägt dazu bei, dass die Armut nicht zu stark wird. Mehr als eine halbe Millionen Kosovaren arbeiten im westlichen Ausland (Deutschland 29,98%; Schweiz 23,18%) und senden ihren Familien Geld. (Heierli, 2008) Eine Studie des Statistikamtes des Kosovo und der Weltbank bestätigt, dass Migration und Geldüberweisungen in die Heimat sehr effektiv zum Schutz vor Verarmung beitragen. Schätzungen zu Folge hat jeder Fünfte Kosovare einen Verwandten im Ausland, der ihm Geld schickt. Geldüberweisungen aus dem Ausland machen 15% des Bruttoinlandsprodukts aus, wohingegen die Beiträge von Geldgebern und Schenkungen nochmals 7,5% ausmachen. Der Kosovo hat die höchste Arbeitslosenrate des westlichen Balkan, fast 45% der Bevölkerung sind ohne eine Anstellung. Die Bevölkerung ist sehr jung, fast die Hälfte ist unter 25. Die Bevölkerung im Kosovo ist nicht nur sehr jung, sondern auch unverhältnismäßig arm, d.h. dass mehr als 40% der armen Bevölkerungsschicht unter 20 sind und mehr als 60% der Armen jünger als 30 Jahre alt sind. Jedes Jahr drängen ca. 30.000 Menschen in den Arbeitsmarkt, ohne dass es Aussicht auf Anstellung gibt (Ende 2011 waren 325.261 Personen arbeitslos gemeldet). (IOM, Länderinformationsblatt Kosovo, 2012)

Nachdem Anfang der 90er-Jahre den lokalen Behörden im Kosovo die Autonomie über den Bildungssektor entzogen wurde, begannen die Kosovo-Albaner ein paralleles Schulsystem aufzubauen. Dieses umfasste alle Schulstufen von der Grundschule bis zur Universität. Die Ausbildung der kosovo-albanischen Schüler fand gewöhnlich in Privathäusern statt und wurde durch eine informelle Steuer der Kosovo-Albaner sowie durch Remittances finanziert. Die Auswahl der unterrichteten Fächer war jedoch beschränkt und die Qualität dieser Ausbildung äußerst mangelhaft. Dennoch zogen die Kosovo-Albaner diese Art der Ausbildung dem formalen Schulsystem vor, damit die Kinder in ihrer Muttersprache unterrichtet werden konnten. (UNDP, 2006, S.39)

Nach Beendigung des Konflikts wurde das parallele Schulsystem formalisiert und die UNMIK begann mit dem Wiederaufbau der zerstörten Infrastruktur. Zwischen 1999 und 2001 wurden rund 1'000 Schulgebäude, die im Konflikt beschädigt worden waren, saniert oder gänzlich neu aufgebaut. (UNDP, 2006, S.39) Dies war nur mit Hilfe zahlreicher ausländischer Unterstützungen möglich. Auch die Schweiz hat einen Beitrag dazu geleistet (Ministry of Education, Science and Technology [MEST], 2007, S.28). Seit dem Jahr 2000 wird das Schulsystem im Kosovo schrittweise reformiert. Das traditionelle System wurde durch ein neues ersetzt, welches neun Pflichtschuljahre anstatt acht vorsah. Auf fünf Jahre Grundschule folgen sieben bis acht Jahre Sekundarschule, aufgeteilt in vier Jahre Mittelschule und drei bis vier Jahre Oberschule. Die Oberschule wiederum ist aufgeteilt in Gymnasien, die auf die Universität vorbereiten, und berufsbildende Schulen. Drei Jahre Berufsbildung sollen die jungen Menschen direkt auf den Einstieg in den Arbeitsmarkt vorbereiten. (UNDP, 2006, S.39f.) Im Jahr 2002 wurden die meisten Aufgaben im Bereich der Bildung von der UNMIK an das Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Technologie [MEST] übergeben. Daraufhin begann wiederum die serbische Gemeinschaft ein paralleles Schulsystem aufzubauen. Ihre Reintegration in das kosovarische Schulsystem stellt bis heute eine große Herausforderung dar. (MEST, 2007, S.18)

Viele Jugendliche brechen die Pflichtschule ab und die Arbeitslosigkeit bei den Jugendlichen und jungen Erwachsenen liegt bei über 30 Prozent (http://m.pristina.diplo.de/Vertretung/pristina/de/05/01-Wirtschaft/01-WiUebersicht/_wirtschafts_C3_BCbersicht-kosovo.html)

Fast 30 Prozent der kosovarischen Bevölkerung (513.000 laut <https://www.liportal.de/kosovo/gesellschaft/#c37428>) sind Schüler.

Davon gehen fast ein Drittel keiner Ausbildung nach. Im Gegensatz dazu besuchten im Jahr 2015/2016 über 120.000 Studierende öffentliche oder private Hochschulen (<http://m.pristina.diplo.de>)

Des Weiteren ist das staatliche Budget zu knapp bemessen, um der großen Anzahl an Jugendlichen im Kosovo eine Ausbildung zu ermöglichen und die Auswirkungen des Parallelsystems zu beseitigen (Europäische Kommission, 2007b, S.35). Im Jahr 2006 gab der Kosovo etwa 4.9% seines Bruttoinlandsprodukts für Bildung und

Wissenschaft aus, was nur wenig niedriger ist als der EU-Durchschnitt von 5.22%. Aufgrund des generell niedrigen Haushaltsbudgets ist diese Summe jedoch nicht ausreichend. (MEST, 2007, S.32) Künftig sollen jedoch die Bildungsausgaben pro Schüler auf das durchschnittliche Ausgabenniveau der EU-Staaten anwachsen. Um dies zu erreichen schlägt das MEST die Einführung spezieller Steuern vor; beispielsweise auf Luxusgüter. (MEST, 2007, S.66) Den Städten und Gemeinden fehlen sowohl die finanziellen Mittel als auch entsprechend qualifiziertes Personal (Engli, 2008).

Möglichkeiten der Fort- und Ausbildungen von Arbeitern in der Holzverarbeitung

Im Kosovo gibt es keine passenden Ausbildungen für Arbeiter in holzverarbeitenden Betrieben. Es werden nur sehr spezifische Ausbildungen in den Betrieben entsprechend der Verarbeitungsrichtlinien des Betriebes angeboten und das Resultat sind sehr spezifisch und individuell ausgebildete Facharbeiter in holzverarbeitenden Betrieben. Bei der Planung einer neuen Produktionsanlage werden von Unternehmen, wie Cetrus oder Bison auch entsprechende Schulungen für die Arbeiter angeboten. Laut Heierli (2008) waren 2008 ungefähr 4000 Schüler in sogenannten Schulungszentren für Lehrberufe. Statistische Daten zur Ausbildungssituation im Forst-, Holz- und Baubereich liegen kaum vor.

In Kosovo existieren 61 Berufsschulen (im Kompetenzbereich des Bildungsministeriums) und acht beruflich Bildungszentren des Arbeits- und Sozialministeriums, in welchen Schulungen für Arbeitslose durchgeführt werden. Als problematisch bei der beruflichen Aus- und Weiterbildung in Kosovo wird die unzureichende Dezentralisierung, die Einbindung der Sozialpartner sowie die Verzahnung von Theorie und Praxis beschrieben. Ein Hauptproblem sind die begrenzten finanziellen Ressourcen: laut einem Bericht der European Training Foundation (ETF) sind für berufliche Bildung lediglich 23 Euro pro Jahr und Schüler budgetiert (<https://www.liportal.de/kosovo/gesellschaft/#c37428>)

Wirtschaftliche Faktoren

Im Kosovo dominiert der Dienstleistungssektor, welcher 50% der Wirtschaftsleistung ausmacht. Der Industriebereich trägt nur zu 20% des BIP bei, während die Landwirtschaft mit 30% den zweitgrößten Sektor darstellt (CIA, 2008).

Der Industrialisierungsgrad des Kosovo ist niedrig; die Spätfolgen des Zerfalls des ehemaligen Jugoslawiens sind noch nicht überwunden. Die früheren sozialistischen Großbetriebe stehen noch immer still, erst ca. 50% der Staatsbetriebe wurden privatisiert. Die meisten Betriebe beschäftigen weniger als sechs Personen.

Kosovos Wirtschaft ist traditionell bestimmt von primären Gütern, d.h. der Landwirtschaft sowie der Ausbeutung von Rohstoffvorkommen. Verarbeitende Industrien sind kaum entwickelt. Unternehmen leiden unter veralteter Maschinerie und ungeklärten Eigentumsverhältnissen. Laut Munzinger (2006) scheinen Investitionen und Innovationen für eine industrielle Höherentwicklung schwierig. Mangelnde Infrastruktur und unzureichendes Humankapital, gepaart mit nicht mehr zeitgemäßem Kapitalstock, stellen große Hindernisse dar. Vor allem die technischen und finanziellen Probleme des Energiesektors ziehen die gesamte Wirtschaft in Mitleidenschaft, besonders die energieintensiven Branchen. Die wichtigsten Industriezweige des Kosovo bilden neben dem Bergbau und der Metallurgie, der Bausektor, in begrenztem Masse existiert auch eine Elektro- und Textilindustrie (CIA, 2008; Munzinger, 2006). Von den verschiedenen Rohstoffen werden vor allem Braunkohle, Nickel, Blei, Zink, Magnesium, Chrom, Bauxit und Kaolin gefördert.

Der Kosovo muss für Rechtssicherheit und geklärte Eigentumsverhältnisse sorgen, um politisches Risiko zu minimieren und ausländische Direktinvestitionen sowie weitere Kapitalzuflüsse anzulocken (Heierli, 2008).

Die Regierung ist im Sinne der Investitionsnotwendigkeit zur Förderung von Gewerbe und Industrie bemüht Gesetze zu implementieren, die ausländischen Investoren die Investitionen erleichtert.

Gesetzeslage im Kosovo betreffend Wirtschaft und Investitionen

Gesetz Nr. 02/L-33 Gesetz für ausländische Investoren

Dieses Gesetz aus dem Jahr 2005, welches vom Ministerium für Technik und Informatik und dem Ministerium für Handel und Wirtschaft unter der Verwaltung der Vereinten Nationen, erlassen wurde, dient vorwiegend der Förderung und Ermutigung von ausländischen Investoren im Kosovo. Ebenso der Regulierung und dem Schutz von ausländischen Investitionen in die kosovarische Wirtschaft. In diesem Gesetz werden neben der Gleichstellung von ausländischen Arbeitern mit inländischen Arbeitern, auch der Ersatz von Gewinnen oder Eigentum bei Konflikten, Krieg und anderen politisch instabilen Situationen genau festgelegt.

Es wird die Agentur zur Förderung von Investitionen vom Ministerium für Handel und Industrie eingerichtet, die neben der Überwachung der Einhaltung des Gesetzes auch die Förderung und Vermittlung von ausländischen Investitionen im Kosovo organisiert und begleitet. Sie ist auch für die Kommunikation zwischen der kosovarischen Regierung und den Investoren zuständig. Die Agentur wird von einem Vorstand geleitet, welcher aus Mitgliedern der Ministerien für Handel und Wirtschaft und Wirtschaft und Finanzen, sowie der Wirtschaftskammer besteht (aus Provisional Institutions of Self Government, Assembly of Kosovo).

Gesetz 04/-L-035 Gesetz für die Reorganisation von zugeordneten Unternehmen und deren Vermögen.

Dieses Gesetz wurde im Jahr 2011 zur Organisation von bestehenden, vor allem ehemaligen öffentlichen, Unternehmen und deren Liquidation und Verwaltung von bestehendem Vermögen, erlassen. Hier wird die Kosovarische Agentur zur Privatisierung (Agjencia Kosovare te Privatizimit AKP) beschrieben, deren Hauptaufgabe es ist die bestehenden Unternehmen zu inventarisieren und Ausschreibungen zu organisieren, bei denen die Unternehmen samt Liegenschaften veräußert werden. Dieses Gesetz wurde von keinem Ministerium, sondern direkt von der damaligen kosovarischen Präsidentin Atifete Jahjaga verabschiedet. (aus Gazeta Zyrtare e Republikës së Kosovës/Nr. 23/2011, Prishtine)

Baurecht im Kosovo

Gesetz Nr. 04/L-110 Gesetz für das Bauwesen

Dieses Gesetz wurde von der Republik Kosovo mit der Voraussetzung erlassen, dass bestehende Gesetze im Bauwesen und der Raumplanung an dieses Gesetz angepasst und harmonisiert werden.

4.2.1 Ökologische Faktoren

Da bei Holzzement vor allem der ökologische Aspekt ein sehr wichtiger ist und hier die Betonung auf die Wiederverwertung von Holzabfällen bei der Herstellung von Holzbeton, Holzspanbeton oder Holzzement immer wieder betont wird, soll hier spezifisch auf die Situation im Kosovo eingegangen werden. Da im Kosovo die Organisation und die Beschaffung von Holzabfällen oftmals zu aufwändig wäre, ob fehlender Infrastrukturen bei der Vernetzung der Klein- und Mittelbetriebe im Holzverarbeitenden Sektor und ein Großteil der Arbeit vor allem im privaten Rahmen gemacht wird, sollte eine Alternative in der Beschaffung von Holzspänen gesucht werden.

Auch die internationale Entwicklung am Holzmarkt ist ein weiterer Faktor, weshalb der Anbau von Kurzumtrieb in Erwägung gezogen werden sollte. (Beemann)

Da in den letzten Jahren auch Späne aus Kurzumtrieb mit verschiedenen Hölzern für die Herstellung von Holzwerkstoffen verwendet werden, war die Idee, einen Kurzumtrieb mit unterschiedlichen Pappelklonen auch im Kosovo anzulegen. Pappelhölzer aus zwei Gründen, einmal, da sie als geeignet für die Herstellung von Holzspanbeton gesehen werden und zum anderen, da sie auch ideal für den Kurzumtrieb sind.

Bevor spezifisch auf den Kurzumtrieb im Kosovo eingegangen wird, soll ein Einblick in diese Thematik gewährt werden.

Überblick über Energiewälder im Kurzumtrieb

Natürlich erneuerbare Ressourcen sind wichtige Mittel in vielen Lebensbereichen, so auch in der Bauwirtschaft. Es werden stetig neue Baumaterialien entwickelt und auch in der Vergangenheit eingesetzte und zwischenzeitig vergessene Materialien, wie Holzspanbeton oder Holzzement, gewinnen zunehmend an Bedeutung.

Wie Schadauer (2012) feststellt, sind fossile Energien zeitlich begrenzt und der verstärkte Abbau hält unvermindert an. Er betont eine differenzierte Betrachtung der erneuerbaren Ressourcen und unterscheidet bei der Nutzung des Holzes drei Formen:

- primäre, direkte Nutzung aus dem Wald
- sekundäre, kaskadische Nutzung aus der Holzverarbeitungskette
- tertiäre Nutzung aus Holzmüll

So sind für die Herstellung von Holzspanbetonplatten vorwiegend die sekundäre und tertiäre Nutzung des Holzes von Bedeutung.

Ausgehend von früher eingesetztem Holzzement, welcher jahrzehntelang bis in die 80er Jahre in Südosteuropa hergestellt wurde, wird Pappelholz als ein günstiger Zusatz für die Herstellung von Holzzement betrachtet.

Nach Recherche von aktuellen Entwicklungen in der Pappelzüchtung und Einsatz von Pappelholz in Europa, kam die Idee, Pappelholz aus Kurzumtrieb für die Herstellung von Holzspanbetonplatten zu nutzen.

In Tschechien und Russland befinden sich Fabriken, welche Holzzementplatten für den Hausbau herstellen und da werden hauptsächlich wegen der Verfügbarkeit, Nadelholzspäne, vor allem aus Fichtenholz, verwendet.

Ich möchte in dieser Arbeit neben den Begriffserklärungen im Kurzumtrieb und aktuellen Entwicklungen, auch eine kurze Darstellung Möglichkeiten des Kurzumtriebs im Kosovo mit Ertragsschätzung beschreiben.

Kurzumtriebsflächen sind Ackerflächen, auf welchen schnell wachsende Baumarten, welche eine starke Stockausschlagsfähigkeit haben, als Steckhölzer gepflanzt werden. Da bei Kurzumtrieb der hohe Ertrag ein wichtiger Faktor ist, werden in der Regel 1500 bis 16.000 Steckhölzer oder Pflanzen pro Hektar gesetzt (Ruhm & Schuster, 2012).

Der Name Kurzumtrieb leitet sich vom Rückschneiden und Wiederaustreiben („Ausschlagsbetrieb“) in kurzen Intervallen von wenigen Jahren ab (Lewis, 2012).

Es wird im Kurzumtrieb in Europa und Nordamerika vorwiegend Holz zur Gewinnung von Hackschnitzel für Wärmeerzeugung angebaut (Biomasse). Nicht so in den Entwicklungsländern oder in China und Indien, dort wird Holz aus Kurzumtrieb vor allem zur Verarbeitung von Spanplatten und für die Papierproduktion verwendet (Lewis, 2012).

Auch in Ländern, wie Österreich, wo der Waldanteil bei ungefähr 47 % der Oberfläche liegt, kann die steigende Nachfrage nach Hackgut und Industrieholz von 2 bis 3 % jährlich kaum aus der Forstwirtschaft gedeckt werden (Hochbichler, 2007).

Holz aus Kurzumtrieb dient primär auch zur Förderung der Unabhängigkeit von fossilen Rohstoffen (Liebhard, Deim, Groiss, Refenner & Hochbichler, 2012).

Neben den ökologischen Aspekten, sind auch ökonomische Faktoren bei Kurzumtriebsanlagen wichtig. Vor allem die Konfrontation der ökonomischen und ökologischen Aspekte bei Kurzumtriebsflächen scheint immer wieder die Balance einer nachhaltigen Bodenbewirtschaftung durcheinander zu bringen.

In Österreich ist die praktische Erfahrung der Holzproduktion im Kurzumtrieb noch recht gering (Liebhard et. al, 2012), es werden daher vor allem Schädlings- und Krankheitsbekämpfung der Pflanzen problematisch, da oft das Wissen nicht vorhanden ist, damit umzugehen.

Wie Liebhard et. al. (2012) beschreibt, so ist der schmale Grad einer Vernetzung zwischen einer ökologisch nachhaltigen Bewirtschaftung von Landwirtschaft und steigende Energie- und Rohstoffproduktion auf landwirtschaftlich bewirtschafteten Flächen zu beachten.

Es ist eine Konkurrenz zwischen Kurzumtrieb und Ackeranlagen für Nahrungs- und Futtermittelproduktion vorhanden und dies ist ein zusätzlicher Faktor, der beachtet werden muss, bei der Überführung von Flächen in einen Kurzumtriebsbestand (Liebhard et. al. 2012).

Liebhard et. al. (2012) betonen die Risiken, bei großflächigem Anbau von einer oder nur zwei Baumarten und wenigen Sorten im Rahmen einer Produktionstechnik, welche primär die hohen Erträge fördert. Risiken von Schädlingsbefall oder Krankheiten können durch Auspflanzungen von unterschiedlichen Baumarten oder Klonen minimiert werden. Liebhard et. al (2012) unterscheiden bei den Risiken abiotische (Überflutungen, Wind, Trockenheit und Schnee) und biotische (Unkraut, Krankheiten, Schädlinge, Wildschäden...) Faktoren.

Es sind bei der Planung der Anlage zunächst die abiotischen Faktoren zu beachten. So sind Flächen, welche gefährdet sind, regelmäßig überflutet zu werden, nicht geeignet, da zumeist der Abtransport der geernteten Holzhäcksel auf feuchtem Boden nicht möglich ist. Die Gefahr die Wurzeln der Bäume zu zerstören, ist zu groß. Vor allem Schädlinge sind ein hohes biotisches Risiko und daher müssen die Kurzumtriebsanlagen regelmäßig chemisch und mechanisch behandelt werden. Ebenso ist die Unkrautbekämpfung vor allem im Auspflanzjahr empfehlenswert (Liebhard et. al. 2012).

Wie schon erwähnt, bestehen in Europa die Verhältnisse von Kurzumtriebs- zu Ackerflächen, wo Nahrungs- und Futtermittel angebaut werden eher zu Gunsten der Nahrungs- und Futtermittelproduktion. Lewis (2012) hingegen erklärt im Rahmen des EU-Projekts Benwood, welches unter anderem auch die Unterschiede des Kurzumtriebes zwischen Industrieländern und Entwicklungsländern zeigt, dass es in Ländern, wie Indien und China seit den 80er Jahren eine starke Ausweitung der Flächen für Kurzumtriebsanlagen gibt und dies teilweise zu der oft prekären Situation hinsichtlich der Nahrungsmittelknappheit in diesen Ländern, zu Einschränkungen in der Bewilligung von neuen Kurzumtriebsflächen, führt.

Lewis (2012) hat vor allem die anderen Zugangsweisen, welche durchaus als ökologisch bedeutsam gesehen werden können, in den „Non Annex Ländern“ (vgl.

Lewis, 2012 – soll Entwicklungsländer bedeuten) zu den Kurzumtriebsanlagen zusammengefasst und diese möchte ich hier auflisten:

- geringere Verfügbarkeit von mineralischem Dünger, daher mehr Kultivierung von Bäumen und engere Zusammenarbeit zwischen Forschungseinrichtungen und Landwirten, um die Bedingungen für die Bäume zu optimieren.
- Wasserknappheit führt zu Ideen, wie Erdmulden um die Bäume, welche mit Wasser gefüllt werden oder Rückhalten von Regenwasser
- Bäume werden dort vermehrt gepflanzt, um den Boden fruchtbarer zu machen
- Bäume werden auch als Futterquelle genützt
- Ausfälle werden unmittelbar nachgepflanzt
- Holzkohle als Energieträger im Haushalt
- betrachten von längeren Umtriebszeiten und stärkeres Hinterfragen der ökologisch fragwürdigen Mäh-Hack-Technik.

Weingartmann (2011) empfiehlt eine belüftete Lagerung des Holzes, bevorzugt in den Sommermonaten, da die Abtrocknungseffekte deutlich besser seien.

Ausgehend von einem Wassergehalt von 40 bis 55 % von frischem Kurzumtriebsholz, ist eine entsprechende Lagerung oder bei Bedarf eine technische Trocknung ein wichtiger Aspekt bei Kurzumtriebsholz. Gründe für die Trocknung von Hackgut sind vor allem bezüglich der Qualität der Späneverwendung. Die Materialgüte der Späne ist auf jeden Fall von der entsprechenden Lagerung und bei Bedarf auch Trocknung abhängig. Bei feuchtem Holz laufen Atmungsprozesse der Gewebezellen und der Mikroorganismen ab, welche gleichzeitig mit Substanzabbau bei Freisetzung von Wasserdampf, CO² und Wärme einhergehen. Damit das Risiko von Schimmelpilzentwicklung minimiert wird, sollte auf unter 20 % getrocknet werden. Bei verschiedenen Lagerungsversuchen von Hackgut aus Kurzumtrieb wurde grobes und feines Hackgut unter verschiedenen Lagerbedingungen verglichen. Es wurde als wichtigste Schlussfolgerung aus dem Lagerungsversuch herausgefunden, dass Mittel- und Grobhackgut ohne notwendige Durchlüftung gelagert werden kann, bei Feinhackgut ist eine Belüftung notwendig, damit vor allem Trockenmasseverluste nicht zu hoch werden (Weingartmann, 2011).

Vom Institut für Waldökologie in Wien wurde im Auftrag der BOKU eine Studie zum Holz- und Biomasseaufkommen Österreich (HOBI) durchgeführt, welche im Sinne einer Metaanalyse unterschiedliche Versuche zur Anlage von Energiewäldern im Kurzumtrieb ausgewertet hat (Englisch et. al. 2009). Aus dieser Studie möchte ich den Aspekt des Nährstoffentzuges hier betrachten, der als großer Kritikpunkt bei Kurzumtriebsflächen gilt.

Es wird eine Formel dargestellt, welche die Nährstoffentzüge berechnet:

„Die jährlichen Nährelemententzüge (N, P, K) durch die Biomassernte können in Abhängigkeit von der Rotationsdauer (x) und dem durchschnittlichen Biomassenertrag (dzuw) nach der Formel: $y=dzuw.a.x^b$ (a, b elementabhängige Regressionskoeffizienten) für Pappel und Weide kalkuliert werden. Bei einem Biomassenertrag von 10 - 12 t/ha/Jahr ist bei einer vierjährigen Rotationsdauer mit einem jährlichen Nährstoffentzug von 43 kg N, 6 kg P, 25 kg K, 59 kg Ca und 7 kg Mg zu rechnen.“ (vgl. Englisch et. al., S. 3, 2009).

Wie bei diesem Beispiel zu sehen ist, sind die Nährstoffentzüge, wenn Pappeln und Weiden angebaut werden, doch beträchtlich. Wie Englisch et. al. (2009) berichten, kann je nach angepflanzten Bäumen, die drei – bis siebenfache Menge der Nährstoffe im Vergleich zur konventionellen Forstwirtschaft entzogen werden. Hingegen sind die Ca-Entzüge bei landwirtschaftlicher Nutzung der Bäume geringer als bei konventioneller Forstwirtschaft. (Englisch et. al. 2009). Durch Düngung und optimal auch Artenwechsel der Nutzung, kann dem starken Nährstoffentzug gegengesteuert werden. (Englisch et. al. 2009).

In Tabelle 11 werden kalkulierte Nährstoffentzüge für folgende Zuwachsniveaus: 6-8, 10-12 und 14-16 (t/ha/Jahr) gültig für Weide und Pappel, dargestellt. Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumentzüge wurden nach der Formel $y=dzuw.a.x^b$ berechnet, Calcium- und Magnesiumentzüge wurden aus Mittelwerten berechnet (aus Englisch et.al. 2009):

Rotationsdauer [Jahre]	Nährstoffentzug [kg/ha/Jahr]				
	N	P	K	Ca	Mg
Biomassenzuwachs: 6-8 [t/ha/Jahr]					
2	42	6	20	38	4
4	27	4	16	38	4
6	21	3	14	38	4
8	18	3	13	38	4
10	16	2	12	38	4
12	14	2	11	38	4
Biomassenzuwachs: 10-12 [t/ha/Jahr]					
2	66	10	31	59	7
4	43	6	25	59	7
6	33	5	22	59	7
8	28	4	20	59	7
10	24	4	18	59	7
12	22	3	17	59	7
Biomassenzuwachs: 14-16 [t/ha/Jahr]					
2	90	14	42	81	9
4	58	9	34	81	9
6	46	7	30	81	9
8	38	6	27	81	9
10	33	5	25	81	9
12	30	4	24	81	9

Tabelle 11: Nährstoffentzüge (kg/ha/Jahr) je nach Zuwachsraten der Biomasse (English, 2009)

Ausgehend von der HOBİ Studie konnten drei unterschiedliche Ertragsniveaus festgestellt werden (Englisch et. al. 2009):

- durchschnittliche, für den Kurzumtrieb geeignete Standorte mit herkömmlichen Klonen: 6 - 8 t/ha/Jahr
- sehr gute Standorte mit intensiver Bestandspflege und mit herkömmlichen Sorten:
10 - 12 t/ha/Jahr
- auf optimalen Standorten mit intensiver Pflege und mit "neuen" für den Kurzumtrieb optimierten Sorten: 14 - 16 t/ha/Jahr.

Es werden laut Englisch et.al. (2009) Regionen mit Jahresmitteltemperaturen ab 8 Grad Celsius empfohlen, aber auch kühlere und submontane Gebiete gelten als gute Standorte. Ein wichtiger Faktor für einen hohen Ertrag ist eine nachhaltige Wasserversorgung des Standortes.

Es werden bei den Rotationen drei unterschiedliche Kategorien, je nach Ernteintervall, unterschieden (vgl. Stoll, 2011):

- Mini-Rotation: die Bäume werden nach zwei- bis dreijähriger Wachstumszeit geerntet. Vom wirtschaftlichen Aspekt betrachtet, werden dichte Bestände empfohlen (bei Pflanzungen von 2 bis 4 cm Abstand wären dies 16.000 bis 20.000 Bäume/Hektar).
- Midi-Rotation: die Ernte der Bäume wird nach 4 bis 6 (maximal 10 Jahren) Jahren Wachstum durchgeführt. Die Bäume haben Stammesdurchmesser von ungefähr 6 – 8 cm und es sind geringere Bestandszahlen zum Ertragsaufbau notwendig im Vergleich bei Mini-Rotationen (vgl. Stoll, 2011, S.16), hier werden 6.000 – 9.000 Bäume/Hektar empfohlen.
- Maxi-Rotation: hier werden die Bäume nach 10 – 20 Jahren geerntet, die Stammesdurchmesser betragen 10 – 12 cm und es wird eine Anbaudichte von 1.500 – 3.000 Bäume/Hektar empfohlen.

In Amerika wurde bereits in den 20er Jahren des 20. Jahrhunderts in New York mit ersten Forschungen zu Kurzumtrieb begonnen. Es gab in den 60er und 80er Jahren dann in Nordamerika intensive Förderungen in diesem Bereich und trotz eines Pappelwaldbestandes von 46 Millionen Hektar in den Vereinigten Staaten und Kanada (Stanton, 2012), verfügen die Vereinigten Staaten über 45.000 Hektar Flächen von Kurzumtrieb mit Pappelbäumen, in Kanada sind es 14.000 Hektar. Die jährlichen Zuwachsraten betragen, je nach Standort und Zustand der Plantagen, 15 – 35 m³/Hektar (Stanton, 2012).

In Deutschland zum Vergleich, betrug 2008 die Anbaufläche von Agrarholz im Kurzumtrieb ungefähr 1500 Hektar (Krüßmann, 2009 laut Harm 2012). Potentielle Fläche für den Kurzumtrieb in Deutschland wären 400.000 Hektar und in Österreich 70.000 Hektar (Bemmann, 2007, nach Harm 2012), welche jedoch bei weitem noch nicht in Anspruch genommen werden.

In Nordamerika wird neben der Verwendung für die Biomasse, vor allem auch für die Papierproduktion das Holz aus Kurzumtrieb verwendet (Stanton, 2012).

Da hier die Kurzrotation mit maximalem Ertrag im Vordergrund steht, sind andere Verwendungsmöglichkeiten, wie für Holzspanbetonplatten dort kaum vorhanden.

Die Verwendung von Holz aus dem Kurzumtrieb, wird in Europa vor allem von jener als Biomasse dominiert. Andere Industriezweige, wie die Hersteller von Spanplatten oder anderen Baumaterialien, wie Holzspanbeton, verwenden das Holz aus Kurzumtrieb (Agrarholz) kaum.

Hersteller von Holzzementplatten oder Holzspanplatten in Europa, wie die Firma Cetris in Tschechien, verwenden vorwiegend Holz von jungen und alten Fichten- und Tannenstämmen (ohne Rinde) mit Stammesdurchmessern von 20 bis 25 cm. Das Holz wird zur Trocknung gelagert (Bednarsky, 2014).

Die Verwendung von Holzspänen aus Holz, welches aus Kurzumtrieb gewonnen wird, für Holzwerkstoffe wird laut dem aktuellen Wissensstand nur von der Firma Egger in Tirol/Österreich verwendet. Auch dort wird einerseits die Eignung von Pappelholz für die Herstellung von Rohspanplatten hervorgehoben, aber die hohe Feuchtigkeit in den Spänen aus dem Kurzumtriebsholz als schwierig betrachtet (Harm, 2012).

Die Firma Egger hat 2008 in Rumänien nach eingehenden Bodenanalysen und Standortbestimmung, eine Versuchsfläche über 13 Hektar mit Pappelklonen mit unterschiedlichen Pflanzabständen angelegt. Das Holz soll in Midi-Rotationsintervallen geerntet werden, da der Rindenanteil bei den Bäumen geringer ist. Aber auch im Sinne einer verminderten Feuchtigkeit des Holzes werden hier Umtriebszeiten von bis zu 8 Jahren empfohlen (Harm, 2012).

Zusammenfassend konnten folgende Erkenntnisse zur Verwendung von Pappelplantagenholz aus dieser Versuchsanlage, welches anschließend im OSB Werk in Radauti/Rumänien verwendet werden soll (5% des benötigten Rohstoffs Pappel soll aus dem Holz aus Kurzumtrieb gedeckt werden, hierfür würden 2.100 Hektar Kurzumtriebsflächen benötigt werden) dargestellt werden:

Vorteile:

- gute Zerspanbarkeit und hohe Spanausbeute
- heller, homogener Span
- gute, plastische Verformbarkeit beim Heißpressvorgang
- hohe Biegefestigkeiten der Spanplatten durch bessere Orientierbarkeit der Späne
- Dichtereduktion in der Fertigware möglich

Nachteile:

- für Midi-Rotationen aktuell keine effizienten Erntetechniken
- schwer zu entrinden
- Abnahme einiger mechanisch-technologischer Kenngrößen der Platten

4.2.2 Planung von Kurzumtrieb mit Pappeln im Kosovo

Die Wälder im Kosovo, welche laut dem Kosovo National Forest Inventory (Stein et. al. 2012) 44,7 % der Oberfläche des Kosovo bedecken, sind zu 38 % (180.800 ha) in privatem Besitz und 62% (295.200 ha) in öffentlicher Hand. Die Pflege und Bewirtschaftung der Wälder sind sehr unterschiedlich und oft werden die Wälder nicht ausreichend gepflegt und erhalten. Vor allem Waldbrand ist ein Problem im Kosovo, allein im Jahr 2012 sind 12.200 ha oder 2,5 % der gesamten Waldfläche im Kosovo vom Feuer zerstört worden. 14,5 % der Jungbäume sind noch immer beschädigt (Stein et. al, 2012). Die wirtschaftliche Verwertung von Holz wird im Kosovo noch immer nicht optimal genutzt, da das Holz fast vollständig als Brennholz verwendet wird (vergleiche Kapitel 4). Doch auch illegales Fällen von Bäumen in den Wäldern ist ein andauerndes Problem im Kosovo (Ministerium für Landwirtschaft, Forstwirtschaft und rurale Entwicklung, 2009), ebenso ein intransparenter Holzmarkt und administrative Schwierigkeiten bei der Erteilung von Lizenzen zur Abholzung von Bäumen. Insgesamt ist die Forstwirtschaft im Kosovo noch auf einem sehr niedrigen Entwicklungsstand und ohne professionelle Unterstützung aus dem Ausland, wird sich dies nicht in nächster Zukunft ändern (Ministerium für Landwirtschaft, Forstwirtschaft und rurale Entwicklung, 2009).

Angesichts dieser Situation, sind Überlegungen, Pappelholz im Kurzumtrieb anzupflanzen und damit industrielles Holz zu erzeugen, entstanden.

Da das Ertragspotential stark standortabhängig ist, ist bei der Planung einer Kurzumtriebsanlage neben den rechtlichen Bedingungen vor allem der Standort genau zu betrachten.

Im Kosovo wird durch das System, bei welchem die Bodenbeschaffenheit in 5 Kategorien eingeteilt wird, die Anwendungsmöglichkeit der Böden festgelegt:

Kategorien 1 – 3 sind für landwirtschaftliche Nutzflächen zu verwenden, wobei hier in aufsteigender Folge, die Qualität des Bodens abnimmt (Kategorie 1 Boden mit hohem Nährstoff und guter Humusversorgung, somit ein Zustand der höchsten Ertragsfähigkeit).

Kategorien 4 und 5 bedeutet, dass die Böden nur zur Bebauung vorgesehen sind. Diese Böden dürfen nicht landwirtschaftlich genutzt werden.

Die Klimaverhältnisse im Kosovo sind warm und gemäßigt. Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei 9,1 Grad Celsius. Die durchschnittlichen Temperaturen schwanken im Jahr ungefähr um 19,8 Grad Celsius. Die durchschnittlichen Niederschlagsmengen liegen bei 35 bis 64 mm, wobei der Mai als niederschlagsreichster Monat gilt. Summiert über das gesamte Jahr sind Niederschlagsmengen von 552 mm üblich (Climate Data Org, 2014).

In der Nähe der Stadt Gjakova im Kosovo, nahe der Grenze zu Albanien bestehen seit mindestens 15 Jahren brachliegende Ackerflächen. Diese wurden früher als landwirtschaftliche Flächen für Obst- und Getreideanbau verwendet.

Die Erträge auf diesen Flächen betragen 100 Tonnen Obst/Hektar im Jahr und 5 Tonnen Getreide/Hektar im Jahr.

Eine Bewässerungsanlage, welche von dem naheliegenden Wasserwerk Radoniq Hydrosystem versorgt wird, ist auch vorhanden.

Die zur Verfügung stehende Fläche zur Überführung in eine Kurzumtriebsfläche beträgt mindestens 1000 Hektar.

Sie liegt 300 Meter über dem Meeresspiegel und es sind keine nennenswerten Steigungen vorhanden.

Wildtiere wie Rehe sind nicht ansässig in der Gegend, vorwiegend Hasen und Füchse.

Der Boden ist nährstoffreich und hat eine durchschnittliche Humusschichte.

In Abbildung 98 sind Luftbilder von den Ackerflächen zu sehen. Es ist infrastrukturell gut zu erkennen, dass gute Straßenverbindungen für den Transport vorhanden sind, aber auch genug Fläche für Trocknungs- und Lageranlagen.



Abbildung 100: Ackerflächen in der Nähe von Gjakova (vom Gemeindeamt Gjakova zur Verfügung gestellt, 2013)

Die Ackerfläche scheint geeignet zu sein für die Überführung in eine Kurzumtriebsfläche. Es ist Braunerde mit einem guten Nährstoffanteil. Laut Stoll (2011) sind Ackerflächen mit guter Nährstoffversorgung für Kurzumtrieb vorteilhaft, da die Düngung der Fläche durch das Nährstoffpotential für mindestens 15 Jahre nicht notwendig wäre. Ebenso beschreibt Stoll (2011), dass Pappeln im Vergleich zu Weiden auch bei ungünstigeren Bodenbedingungen hohe Erträge bilden können.

Es wären noch biologische Faktoren der Erde, wie die vorherrschenden Mikroorganismen zu betrachten, denn erst durch die mikrobiologische Aktivität ist in Abhängigkeit von Temperatur und Sauerstoffversorgung die Verfügbarkeit der Nährstoffe und Mineralisierung möglich (Ferner, 2013). Der Humusanteil könnte bei dieser Ackerfläche, bei ersten Defiziten durch Zufuhr von organischem Material erhöht werden, da dies auch eine Verbesserung der biologischen Faktoren bedeuten würde.



Abbildungen 101 und 102: Ackerfläche in der Nähe von Gjakova/Kosovo (Aufnahme aus dem Jahr 2013)

Wie aus den Abbildungen 101 und 102 ersichtlich ist, sind neben der guten Infrastruktur und ausreichenden Fläche, welche potentiell auch für die Errichtung eines Biomassewerkes genutzt werden könnte, auch gute Anbindungen an elektrische Versorgungsleitungen möglich.

Einer Schätzung (Besprechung am 24.04.2014 mit Prof. Hochbichler) zufolge, könnten je nach Rotationsdauer, wobei auch hier eine Midirotation (10 – 12 Jahre) angestrebt wird, 8 – 12 Tonnen Hackgut/Hektar/Jahr erreicht werden.

Wie aus vorhergehenden Beschreibungen hervorgeht, soll mindestens Holz aus Midirotationen verwendet werden und bei einer Gesamtackerfläche von 1000 ha, wäre es sinnvoll zunächst eine Fläche von 100 ha anzubauen und dann jedes Jahr eine zusätzliche Fläche von 100 ha zu erweitern, so könnte bei Beendigung des Anbaus nach 10 Jahren, auf der ersten Fläche von 100 ha bereits geerntet werden.

Für die ersten 10 Jahre, bis die ersten Hölzer geerntet werden können, werden die Späne in der Produktionsanlage aus gekauften Hölzern und eventuell Abfallhölzern selbst hergestellt.

100 ha	100 ha	100 ha	100 ha	100 ha
100 ha	100 ha	100 ha	100 ha	100 ha

Das Diagramm zeigt zwei Reihen von fünf rechteckigen Blöcken, die jeweils '100 ha' beschriftet sind. Die obere Reihe ist in fünf vertikale Spalten unterteilt, wobei die Blöcke von links nach rechts in abnehmender Helligkeit (von hellorange bis dunkelbraun) gefärbt sind. Die untere Reihe besteht aus fünf gleichmäßig hellgrünen Blöcken.

Abbildung 103: Darstellung des Verlaufes des sequentiellen Anbaus der Teilbereiche einer Kurzumtriebsfläche im Kosovo

- 1) wenn bei einer Anbaufläche von 1000 Ha Kurzumtrieb nach 20 Jahren abgebaut werden und die Wurzeln im Boden bleiben, ist dies eine Möglichkeit, dass die Wurzeln dann verfaulen und so zum „biologischen Dünger“ werden.
- 2) Pappelklone sind im Kurzumtrieb empfehlenswert.
- 3) Auf einer Fläche von 1000 Hektar bei einem Ertrag von 10 Tonnen/Jahr/Hektar sind 10 000 Tonnen/Jahr/Hektar möglich. Die Bepflanzungen können in 10 Parzellen zu je 100 Hektar sukzessive erfolgen und diese Fläche mit zwei Umtrieben zu je 10 Jahren genutzt werden. Dann wäre eine Pause des Kurzumtriebes notwendig, die Erträge wären jedoch sehr hoch und können bei entsprechender Lagerung gut verwertet werden.

Ausgehend von bereits existierenden Berechnungen für die Kosten für eine Kurzumtriebsplantage, werden auch jene Kennzahlen herangezogen. Da im Kosovo de facto keine Erfahrungswerte vorhanden sind, wird auf jene Kosten verwiesen, die in Österreich für die Investition in eine Kurzumtriebsfläche berechnet wurden.

Die Zahlen stammen von Walter Holzer von der Bioenergie Burgenland (Holzer, 2007). Er geht bei einem Kurzumtrieb mit Pappelholz mit einer Umlaufzeit von 10 Jahren von Investitionskosten mit 529 Euro/ ha aus, bei einem Ertrag von ungefähr 800 Euro/ ha.

4.2.3 Planung einer Produktionsanlage zur Herstellung Holzbeton-Deckenelementen mit Holzleichtbeton

Da in dieser Arbeit Informationen aus unterschiedlichen Bereichen (Geschichte, Politik, Architektur, Stadtplanung und Urbanismus, nachhaltigen Baumaterialien) mit dem Ziel ein umfassendes Werk zu schaffen zusammengetragen und bearbeitet wurden, welches auch mögliche Investitionen in der Zukunft im südlichen Raum von Europa mit umfangreichen Informationen unterstützen soll, wird in diesem Kapitel ein Leitfaden mit den elementaren Faktoren für eine Fertigungsanlage im Kosovo erarbeitet. Eine Kostentabelle für Investitionen für eine Produktionsanlage für Holzbeton-Deckenelemente mit Holzleichtbetonplatten aus eigener Fertigung, sowie einer Kurzumtriebsanlage mit Pappelstecklingen schließt dieses Kapitel ab.

Phasen bei der Planung und Gestaltung eines Industrieobjektes

Der Bau oder die Umgestaltung einer Fabrik oder eines Industrieobjektes bedarf eines professionellen Projektmanagements (Janak, 2008). In der Fachliteratur ist prinzipiell die Planung und der Bau einer neuen Produktionsanlage Inhalt der unterschiedlichen Phasenmodelle.

Bei der Planung einer Produktionsanlage wird in diesem Fall ein bereits vorhandenes Betriebsobjekt verwendet. Daher wird hier vom Aspekt der Umgestaltung eines Betriebsobjektes in eine Produktionsanlage die Planung dargestellt.

Laut Janak (2008), wird bei der Planung und Ausführung eines Bauprojektes im deutschsprachigen Raum die Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) als Grundlage bei der Gestaltung der zeitlichen Abläufe herangezogen.

Laut der Honorarermittlung 2007+ der Kammer für Architekten und Ingenieurkonsulenten in Österreich werden folgende Phasen bei der Planung eines Bauobjektes unterschieden:

- a) Projektvorbereitung
- b) Planungsphase
- c) Ausführungsphase
- d) Projektabschluß

Laut der ÖNORM B 1801-1 (Oberndorfer, 2007) werden folgende Phasen bei einem Projekt in der Objekterrichtung unterschieden:

- 1) Grundlagenermittlungsphase
- 2) Vorentwurfsphase
- 3) Entwurfsphase
- 4) Ausführungsphase
- 5) Inbetriebnahmephase
- 6) Nutzungsphase

Die meisten Modelle zur Darstellung der verschiedenen Phasen bei einer Projektabwicklung im Bau- und Planungsbereich haben ähnliche Phasenverläufe.

Es wird hier auf die sechs Phasen laut der ÖNORM B 1801-1 eingegangen und diese werden ebenso als Struktur für das Beispiel einer Produktionsanlage für Deckenelemente im Verbund aus Holz-Beton-Holzleichtbeton wie in Kapitel 7 beschrieben, herangezogen.

Grundlagenermittlungsphase

in dieser Anfangsphase sind folgende Personen beteiligt:

- Grundeigentümer
- Auftraggeber/Bauwerber
- Berater/Sachverständige/Fachleute des Auftraggebers/Bauherren
- Planverfasser für die Produktionsprozesse
- Behörden
- Anrainer und Anlieger

Zu Beginn sollten vom Auftraggeber Analysen über den Bedarf, den Nutzen die vorhandene/benötigte Infrastruktur und Finanzierungs- und Subventionsmöglichkeiten zusammengefasst werden.

Projektsteuerung sollte bereits in der Grundlagenermittlungsphase beginnen

Da in diesem Fall ein Objekt zur Verfügung steht, entfällt die Planung und der Bau eines betrieblichen Objektes. Das Funktionsprogramm, welches die Beziehungen der Räume zueinander und zur Umwelt darstellt (Oberndorfer, 2007) muss je nach Komplexität des Projektes von mehreren Beratern gut vorbereitet werden.

Danach werden die Projektstruktur und der Kostenrahmen bestimmt und ausgearbeitet. Hier werden die beteiligten Fachleute in Verbindung zueinander gebracht und die ersten Kostenschätzungen gemacht. Ein erster grober Terminzeitrahmen wird hier ebenso erstellt (Janak, 2008)

Schuh hat in seiner Vorlesungsreihe an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen im Rahmen seiner Vorlesungen „Fabriksplanungen“ die Logistik und unterschiedlichen Einflussfaktoren bei der Planung einer Produktionsanlage mit übersichtlichen Grafiken dargestellt.

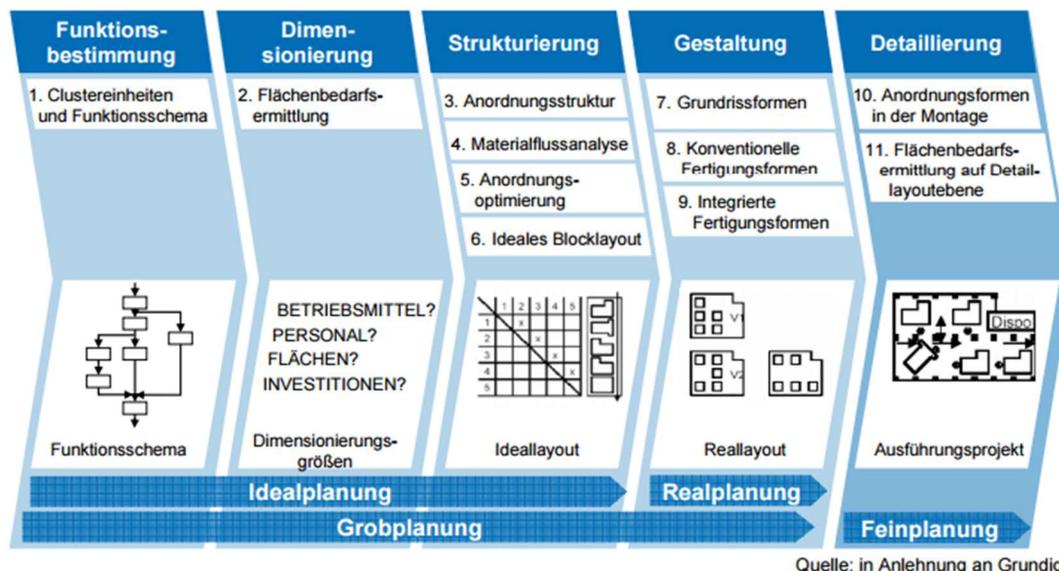


Abbildung 104: Planungsverlauf einer Fabrik (Schuh, 2006).

In Abbildung 104 werden die einzelnen Phasen in der Planung und Gestaltung einer Fabrik dargestellt). Es wird von der groben Planung, welche vor allem die

Produktionsbereiche und die räumlichen Bereiche darstellt, bis zur Feinplanung, in welcher die genauen Produktionsdetails (technisch, räumlich und zeitlich) beschrieben werden, der Verlauf dargestellt (Schuh, 2006).

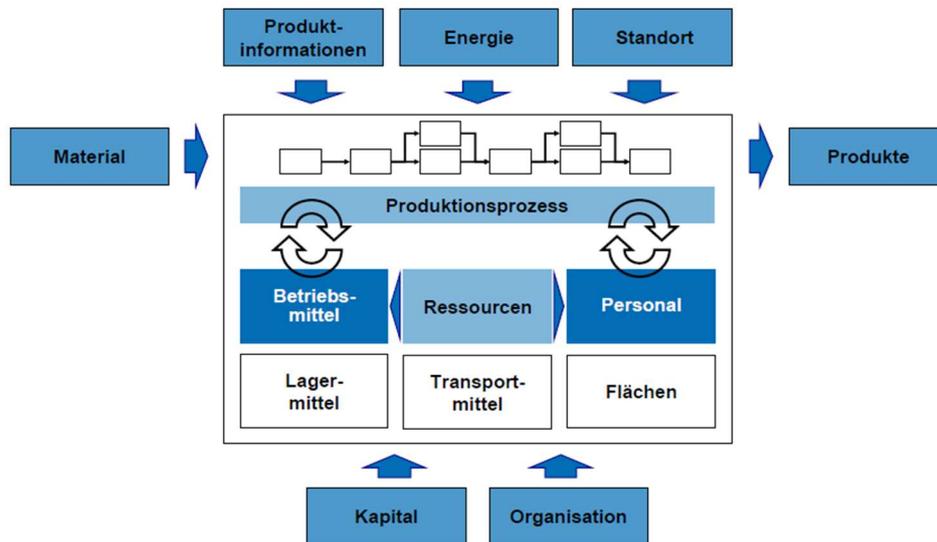


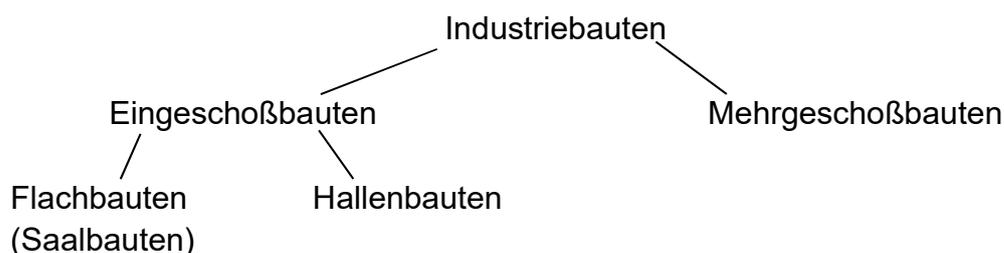
Abbildung 105: Einordnung der Prozess- und Ressourcenplanung nach Schuh (2006)

In Abbildung 105 sind die verschiedenen Prozesse in einem Fertigungsprozess mit den wichtigsten Einflussfaktoren und Ressourcen dargestellt (Schuh, 2006). Der Produktionsprozess wird von zwei Hauptressourcen (Betriebsmittel und Personal) in einem kreislaufförmigen Prozess geleitet.

Einteilung von Industriegebäuden

Bei Industriegebäuden ist die Grundstücksgröße laut Janak (2008) von verschiedenen Faktoren abhängig. Empfohlen wird ungefähr die fünffache Größe der zu errichtenden oder vorhandenen Gebäude. Es sollten die räumlichen Umstände berücksichtigt werden, Raum für Parkplätze, geologische Beschaffenheit (Janak, 2008).

Bei Industriegebäuden werden folgende Unterscheidungen gemacht:



Hallenbauten: hohe Raumhöhen bis 15 m – durch Raumhöhe ist Transport von großen Lasten über Lastenkräne möglich. (Stahlbeton, Stahl und Holz).

Flach- oder Saalbauten: große zusammenhängende ebenerdige Grundflächen, die lichten Raumhöhen sind sehr niedrig. Stahlbetonelemente oder Stahlkonstruktionen, Lasten aus dem Obergeschoß nicht vorhanden – das Tragwerk kann auch geringer dimensioniert werden.

Vorteile von Flachbauten:

- Große zusammenhängende Flächen, die übersichtlich sind
- Möglichkeit zur Erweiterung vorhanden
- Niedrige Baukosten

Nachteile:

- Höhere Energie- und Unterhaltskosten

Die Fraktale Fabrik

Da in dem vorgestellten Projekt mehrere bei Bedarf unabhängig voneinander funktionierende Teilbereiche (Kurzumtrieb inklusive Lager, Sägewerk, Produktionshalle für Deckenelemente, Lager) zusammenarbeiten, wurde das Konzept der „Fraktalen Fabrik“ als passend befunden. Daher soll es in diesem Rahmen kurz vorgestellt werden.

Die Fraktale Fabrik nennt die einzelnen Abteile „Fraktale“.

„Ein Fraktal ist eine selbständig agierende Unternehmenseinheit, deren Ziele und Leistungen eindeutig beschreibbar sind.“ Warnecke (1993)

Die Abteilungen oder Fraktale sind prinzipiell nicht als selbständige Einheiten konzipiert, der Unterschied ist, dass die Mitarbeiter der Fraktale mehr Verantwortung und Mitspracherecht im Fertigungs- und Arbeitsprozess erhält. (Henning et. al 2006).

Produktionsbereich	Fraktale
Sägewerk	Balken, Späne
Holzzementplatten	Holzzementplatten für Deckenelemente und Dämmung
Holz-Beton-Holzleichtbeton-Deckenelemente	mit einer oder zwei Holzzementplatten

Tabelle 12: Darstellung der einzelnen Produktionsbereiche als Fraktale und Beschreibung dieser

Infrastrukturen im Kosovo für die Herstellung von Holzspanbeton

Im Kosovo wurden, wie in Kapitel dargestellt, von der Firma TAROLIT in zwei Werken im Kosovo, fast dreißig Jahre lang Holzzementplatten hergestellt. Mit der Einstellung der Produktion, endete auch der Einsatz von Tarolit im Bauwesen im Kosovo. Bestehende Gebäude aus Tarolit, werden teilweise noch verwendet, teilweise für neue Betriebsobjekte recycelt (siehe Kapitel)

Die erste Produktionsanlage für Tarolitplatten in Decan, wurde in den sechziger Jahren errichtet. Nach ihrer Schließung Anfang der Neunziger Jahre, wurden die Anlagen und die gesamte Einrichtung der Fabrik von dem Mutterunternehmen Tarolit Ostrunica im heutigen Serbien, wegtransportiert und das leere Betriebsobjekt bis vor wenigen Jahre unter dem Namen „NewCo Tarolit Warehouse L.L.C, zum Verkauf. Das Gebäude hat eine Grundfläche von 1.812 m² und steht auf einem 0,5 ha großen Grundstück. Es liegt nahe der Transitroute zu Gjakova im Westen des Kosovo. Bevor

die Produktionsstätte geschlossen wurde, waren dort 30 Mitarbeiter beschäftigt. Laut der Kosova Trust Agency, einer Organisation, die seit über zehn Jahren im Kosovo Grundstücke und Objekte, die ehemals dem Staat gehört haben, erfasst, verwaltet und auch den Wert bestimmt, aber auch Verkäufe organisiert, ist das Grundstück mit den Objekten darauf im Mai 2006 um ungefähr 135.000 Euro versteigert worden (vgl. Press Release Kosova Trust Agency, 2006).

Ausgehend von der Projektplanung im Kosovo eine Fabrik zur Herstellung von Holzkonstruktionen mit Holzspanbeton wiederzubeleben, wird hier ein leerstehendes Betriebsobjekt als mögliche Produktionsstätte beschrieben. Da auch ein Kurzumtrieb mit unterschiedlichen Pappelklonen geplant ist, scheint dieses weiter unten beschriebene Objekt ideal zu sein, da es in der Nähe von ungefähr 1000 Hektar brachliegender Ackerfläche liegt.

Dieses Objekt liegt in der Nähe der Stadt Gjakova (im Südwesten vom Kosovo), welches zur Produktion von Holzzementplatten von mehreren Faktoren heraus, als geeignet befunden wird:

- 1) Nähe zur Hauptstraße, welche direkt mehrere wichtige Städte und auch Autobahnen verbindet
- 2) in der Nähe befinden sich zum Verkauf befindliche Grundstücke, auf welchen im Kurzumtrieb Pappelstecklinge angebaut werden können.

In Abbildung 106 sind aus der Luftperspektive (entnommen von Google Earth, aufgerufen am 24.4.2017) die leerstehende Produktionsanlage, sowie die Ackerflächen in der Nähe abgebildet.

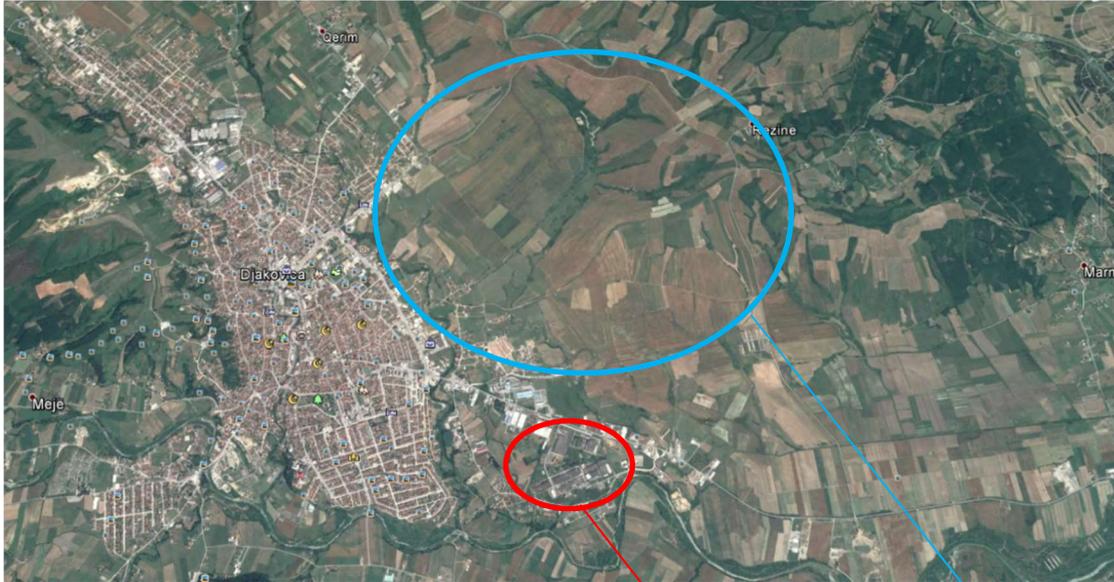


Abbildung 106: Luftbild von möglichem Grund für Produktionsanlage Ackerfläche für Kurzumtrieb

Diese Anlage kann gekauft, als auch gemietet werden, ebenso wie die anliegenden Grundstücke. Die Grundstücke, welche für den Kurzumtrieb verwendet werden können, waren in Besitz des Staates und stehen im Rahmen einer Privatisierungsmaßnahme zum Verkauf.



Abbildung 107: mögliche Produktionshalle - Außen- und Innenansicht

Die potentielle Produktionsanlage (Abbildung107) ist ein Flachbau und besteht aus einer großen Halle und zwei kleineren Hallen, welche als Sägewerk und Lager verwendet werden können.

Mögliche Anlagen zur Herstellung von Holzleichtbetonplatten

In diesem Fall soll Holz aus der lokalen Forstwirtschaft und nach 10 Jahren zusätzlich auch Holz aus dem Kurzumtrieb in der Nähe der Fabrik zur Herstellung der Holzwollezementplatten verwendet werden.

Es werden in dieser Produktionsanlage neben einem Sägewerk auch eine Anlage von der Firma Eltomation zur Herstellung von Holzwollezementplatten vorgeschlagen. Zum Vergleich soll noch der Produktionsablauf von VELOX-Platten dargestellt werden.

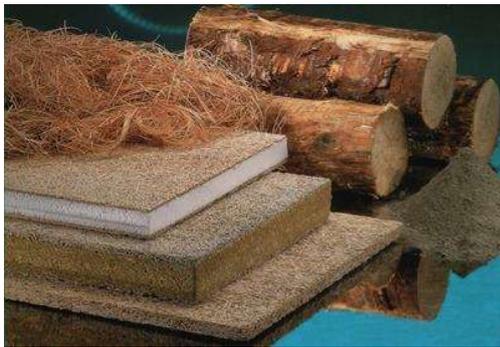


Abbildung 108 : Holzwollezementplatten hergestellt auf einer Eltomationanlage
(aus: <https://www.eltomation.com/eng/our-products/wood-wool-cement-board-plant>)

Die Firma Eltomation mit Sitz in Holland, stellt je nach Produktionsbedarf individuelle Anlagen zur Herstellung von Holzwollezementplatten her. Mittlerweile auch mit Einsatz des Programmes Autodesk Inventor und Autodesk PDM (aus: <https://www.cadac.com/de/projekte/eltomation/>)



Abbildung 109: Holzwolle wird auf dem Förderband angeordnet



Abbildung 110: Anlage zur Herstellung von Holzwollezementplatten von der Firma Eltomation

(aus: <https://www.eltomation.com/eng/our-products/wood-wool-cement-board-plant>)



Abbildung 111: Holzzementplatten werden hier gepresst und getrocknet

Die Holzwollezementplatten (WoodWoolCemenBoards WWCB), welche auf den Eltomationanlagen hergestellt werden können mit Längen von 2400 mm (maximal 3000mm) hergestellt werden, welche in 600 oder 1200 mm lange Platten geteilt werden können. Die Weite ist mit 600 mm begrenzt und die Plattendicke folgendermaßen möglich: 15 mm, 25 mm, 35 mm, 50 mm, 75 mm und 100 mm

(aus: <https://www.eltomation.com/eng/our-products/wood-wool-cement-board-plant>)

Die Dichten sind nach DIN 1101 je nach Plattendicke in Tabelle 13 abgebildet:

Plattendicke	Dichte
15 mm	570 kg/m ³
25 mm	460 kg/m ²
35 mm	415 kg/m ³
50 mm	390 kg/m ³
75 mm	375 kg/m ³
100 mm	360 kg/m ³

Tabelle 13 : Plattendicke und -dichte von den WWCB hergestellt auf Eltomationanlagen

(<https://www.eltomation.com/eng/wood-cement-boards/wood-wool-cement-board>)

Bei den Eltomananlagen werden zwei Versionen angeboten:

- Vollautomatische Holzwollenzementplattenanlage - Wood Wool Cement Board WWCB Plant mit einer „Finishingline“, welche eine Plattentrocknung, Plattendickekalibrierung, Sägen für die Profilierung und Teilung der fertigen Platten, einer Sprühlacklinie mit Trocknung und automatischer Stapelung der Platten
- Halbautomatische / erweiterbare Holzwollenzementplattenanlage - expandable/ semi-automated WWCB Plant, ohne die „Finishinglinie“, welche für Produktionen empfohlen wird, wo der Absatzmarkt noch nicht klar ist und somit die Herstellungskapazitäten nicht vorhersehbar sind.

Da in diesem Fall die erweiterbare Anlage in Betracht gezogen wird, sollen weitere Merkmale diesbezüglich beschrieben werden:

- Für eine Arbeitsschicht werden 22 bis 26 Mitarbeiter benötigt (inklusive Lager und Reinigung und Instandhaltung der Anlage)
- Die Fabrikhalle benötigt mindestens die Maße 70 x 24 m bis 135 x 40 m (1.680 bis 5400 m² Grundfläche) mit einer allgemeinen Hallenhöhe von 5 bis 6 m, an manchen Stellen sollte sie 7 m hoch sein.
- Die Kosten (inklusive Planung, Projektmanagement, Transportkosten und Installation) betragen 5.500.000, -- bis 6.500.000,-- Euro.
- Die Produktionskapazitäten sind bei Platten mit den Dimensionen 2400 x 600 x 50 mm: 9.330 m² oder 465 m³ oder 6.480 Platten / Tag
- Die Rohmaterialien für die Holzwollenzementplatten sind, Kiefer- Fichten- oder Pappelspäne, Portlandzement CEM I 52,5 R, Wasser und Mineralsalze, wie zum Beispiel Natriumsilikat
- Für eine Produktionschicht (6.480 Platten/Tag) werden 20 Tonnen Holzwolle, 34 Tonnen Zement, 22 m³ Wasser und 1,4 Tonnen Salzlösungen benötigt.

Die Firma Velox hat auf ihrer Firmenhomepage folgenden Produktionsablauf (Abbildung 101) dargestellt, dieser entspricht im Wesentlichen auch dem Ablauf auf den Eltomationsanlagen:

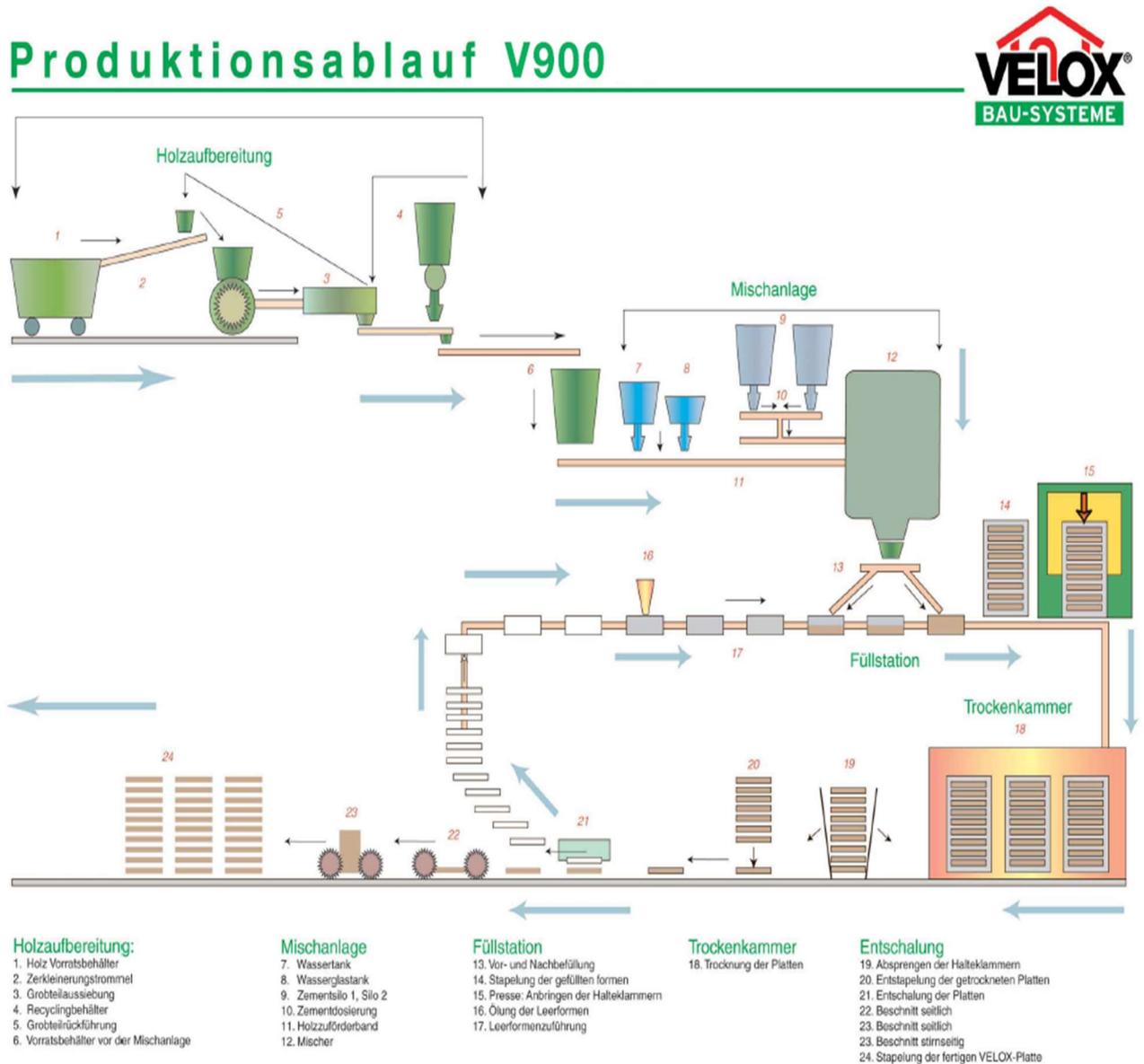


Abbildung 112: Produktionsablauf von Holzwoolbetonplatten von der Firma Velox (aus: www.velox.at)

In Tabelle 14 werden die Investitionskosten im ersten Jahr für eine Anlage in der Nähe von der Stadt Gjakova dargestellt.

Die Tabelle wurde in Anlehnung an die Kalkulationsformblätter 7 laut der ÖNORM B 2061 und der Projektplanungstabelle (aus <http://www.pm-handbuch.com/planung/>) erstellt.

4.2 Strategien und Möglichkeiten zur Wiederbelebung der Bauindustrie im Kosovo

Teilaufgabe/ Bereich	Personal	Material	Investition	Sonstiges	Gesamtkosten/€
Grundstück (5000 m²)			800.000,--		800.000,--
Produktionshalle (3000 m²)			400.000,--		400.000,--
Sägewerk	10 Mitarbeiter/ 250 Euro mtl.	3 Woodmizer LT 10 á 5.388,--	16.164,--		46.164,--
Anlage	22- 26/Schicht/ 250 Euro mtl.	Semiautomated WWCB Plant von Eltomation	6.500.000,-	Einschulung der Mitarbeiter	6.766.000,--
Montagetische	10 Mitarbeiter/ 250 Euro mtl.	2 x Selbstbautisch VarioTec WTV 100 (Fa. Weinmann Holzbausystemtechnik GmbH) á 30.000,--	60.000,--		90.000,--
Lager	4 Mitarbeiter/ 250 Euro mtl.	Innenausstattung/ Gabelstapler / Entsorgungscontainer			21.600,--
Fuhrpark	3 Mitarbeiter/ 200 Euro mtl.	2 LKW á 25.000,--			57.200,--
KUP für 1000 Ha	5 Mitarbeiter/ 200 Euro mtl.		529.000,--	Jährl Miete 1000 Ha / 100.000,--	641.000,--
Investitionskosten Inkl.laufende Kosten für 1 Jahr in €					<u>8.821.964,--</u>

Tabelle 14: Kostenübersicht über Investitionskosten für eine Produktionsanlage, Kurzumtrieb und Sägewerk

Es werden neben den üblichen Personalkosten im Kosovo (hier für ein Jahr berechnet), die Investitionskosten und auch die zuvor errechneten Kosten für einen Kurzumtrieb (hier hochgerechnet auf 1000 Hektar, die angemietet werden können). Die Kosten für die Maschinen und Anlagen wurden den Herstellerwebsites entnommen. Für die Montagetische zur Herstellung der Deckenelemente wurde die Broschüre „ Montagetische für den Holzrahmenbau vom Kompetenzzentrum der Bauwirtschaft“ , 2011 herangezogen.

5 Entwicklung und Untersuchungen von Holz-Beton-Deckenelementen mit Holzleichtbeton

5.1 Grundlagen und Begriffsbestimmungen-

Nachdem im vorangegangenen Kapitel die Rahmenbedingungen für eine mögliche industrielle Fertigung von Deckenelementen beschrieben wurde, werden die Materialien Beton und Holz(leicht)beton im Kontext als Verbundmaterialien dargestellt.

Die Holz-Beton-Verbundsysteme werden zu Beginn mit einem kurzen geschichtlichen Überblick in ihren Grundfunktionen beschrieben.

Danach werden Holz-Beton-Verbundkonstruktionen, aufgegliedert nach den Prinzipien, den Verbindungssystemen, Rechnungsmethoden und Lösungen dargestellt.

Anschließend wird die Entwicklung von Prototypen von Deckenelementen im Holz-Holzbeton-Betonverbund erläutert.

Schließlich werden in diesem Kapitel die experimentellen Untersuchungen der Probeträger bezüglich des Verhaltens bei Kurzzeitbelastung dargestellt. Das Bruchverhalten wird dargestellt und beschrieben und die Probeträger werden hinsichtlich der Biegesteifigkeit verglichen. Ebenso werden die Bauteile mit Biegesteifigkeiten von Nullverbund (Balken) und starrem Verbund (theoretische Werte) verglichen.

5.1.1 Holz-Beton-Verbundsysteme

Da Holz-Beton-Verbundsysteme die Grundlage der in dieser Arbeit entwickelten Deckensysteme bilden und der Holzleichtbeton mit dem Ziel dieses Verbundsystem weiterzuentwickeln, eingesetzt wurde, wird auf die Holz-Beton-Verbundsysteme eingegangen.

Holz-Beton-Verbunddecken gelten immer noch als eine wenig bekannte Bautechnik und sie werden vorwiegend zur Sanierung von Decken in bereits vorhandenen Gebäuden verwendet.

Wie Huber (2010) in seiner Dissertation anmerkt, werden auch in Neubauten zunehmend Holz-Beton-Verbunddecken eingesetzt, aber auch Wandelemente

werden in dieser Technik verwendet. Er beschreibt, dass die Qualität des Verbundes hauptsächlich durch die Verschiebungs-Steifigkeit der Kontaktfuge zwischen Holz und Beton beeinflusst wird. Hier sind die Verbindungsmittel ein maßgeblicher Faktor in der Wirksamkeit der Schubfuge (Huber, 2010).

Bei Holz-Beton-Verbund- Deckenkonstruktionen ist die Gebrauchstauglichkeit ein wichtiger Faktor. So sind bei der Bemessung dieser die Verformungen ein wichtiger Bereich. Verformungen können die Funktionstüchtigkeit, das Aussehen oder die Einrichtung beeinflussen oder sogar Schäden an nicht tragenden Bauteilen verursachen (Kolb, 2010). Daher sollten in dieser Arbeit die entwickelten Holz-Beton-Verbunddeckenelemente vor allem im Hinblick auf ihr Verformungsverhalten untersucht werden. Davon ausgehend werden aktuelle Forschungen in diesem Bereich hier kurz vorgestellt, da diese einen sogenannten Ausgangspunkt für eine Weiterentwicklung von Holz-Beton-Verbunddecken mit Holzleichtbeton darstellen.

Damit Verformungen die Gebrauchstauglichkeit nicht zu sehr beeinträchtigen, werden Begrenzungen von $l/300$ bis $l/500$ (wobei $l/500$ als maximal zu tolerierende Durchbiegung sei) empfohlen (Kolb, 2010)

Vor allem bei Decken, welche hohe Lasten, größere Spannweiten, eine besonders steife Konstruktion mit hohem Schall- und Brandschutz gefordert werden, bieten Holz-Beton-Verbunddecken eine wirtschaftliche und differenzierte Alternative zu Holz- und Stahlbetondecken (Kolb, 2010).

Zur Differenzierung von den gebräuchlichsten Deckensystemen in Holz- oder Holz-Beton-Verbundbauweise, soll folgende Abbildung einen vorläufigen Überblick verschaffen (Abbildung 113):

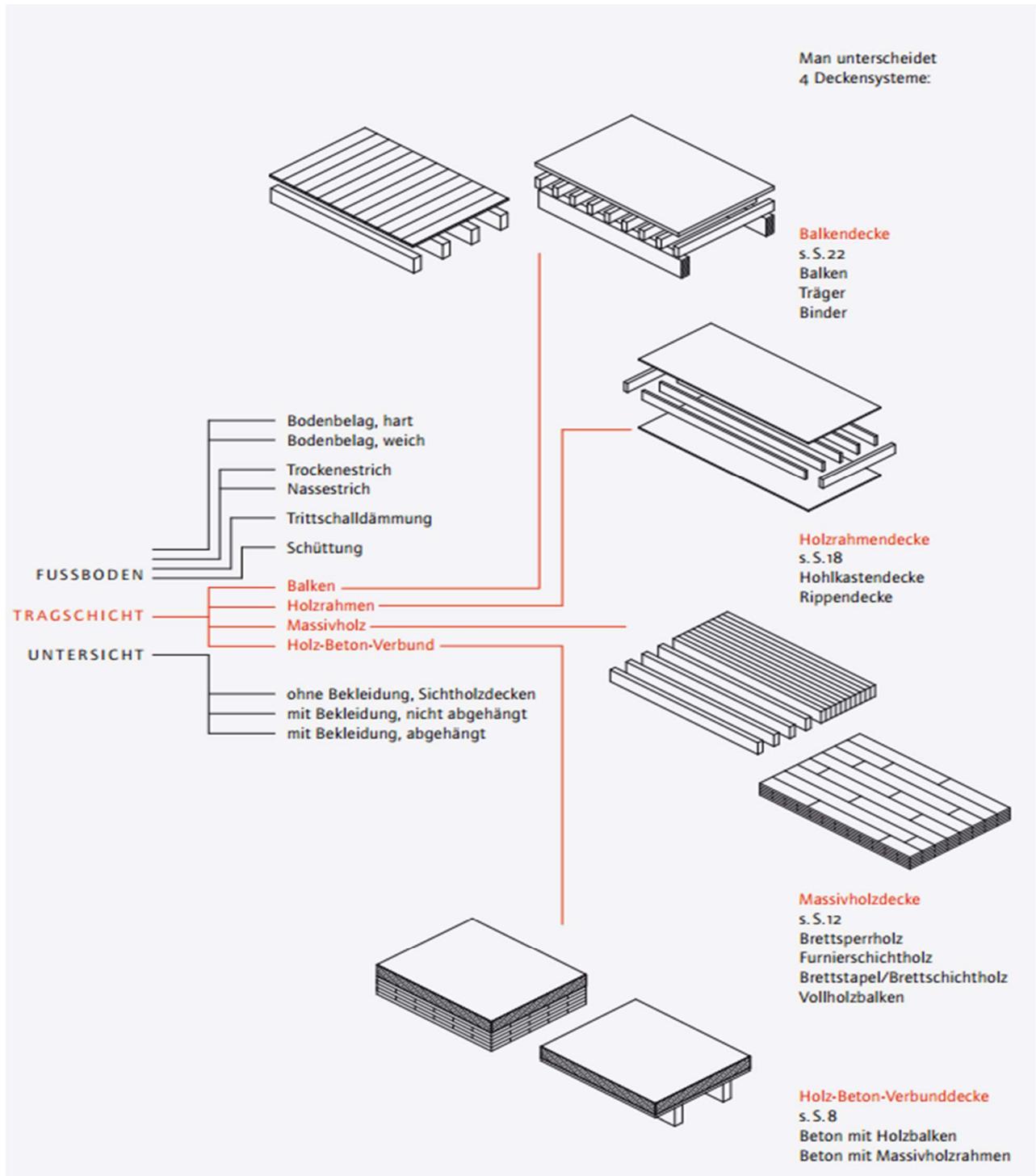


Abbildung 113: Deckensysteme mit möglichen Fußboden und Untersichtbekleidungen (aus Zuschnitt 54, 2014 proholz austria)

Geschichtlicher Überblick von Holz-Beton-Verbunddecken

Die ersten Holz-Beton-Verbunddecken wurden in den 40er Jahren in Deutschland zum Patent angemeldet (Kirchmayer, 2012).

Schäfers (2010) hat in seiner Dissertation eine ausführliche Entwicklung der HBV-Konstruktionen in Europa und USA vorgestellt. So beschreibt er die patentierte „Decke aus hochkantig stehenden Holzbohlen oder Holzbrettern und Betondeckschicht“ aus dem Jahr 1922 von Paul Müller. Dieser Verbund wurde durch Stahlbügel gefertigt, welche in die Holzbalken eingenagelt wurden und als Schub- und Zugbewehrung der Betonplatte dienten.

Schäfers (2010) stellt die Entwicklungen von HBV Konstruktionen in Nordamerika und Europa gegenüber. Er beschreibt detailliert, dass bis zum Ende des zweiten Weltkrieges vor allem in Deutschland Forschung und Anwendung von HBV Konstruktionen im Deckenbereich aktiv waren. Bis zu den 80er Jahren ging dann das Interesse stark zurück und erst seit Mitte der 80er Jahre wird verstärkt im Bereich HBV Bauweisen geforscht und gebaut.

In Amerika hingegen ist die Entwicklung und Anwendung von HBV Konstruktionen seit den 30er Jahren ungebrochen. Ein Beispiel der frühen Forschungen der HBV Konstruktionen sind die Skizzen von McCullough aus dem Jahr 1932 von der Oregon State Highway Department von Verbundsystemen (Abbildung 114):

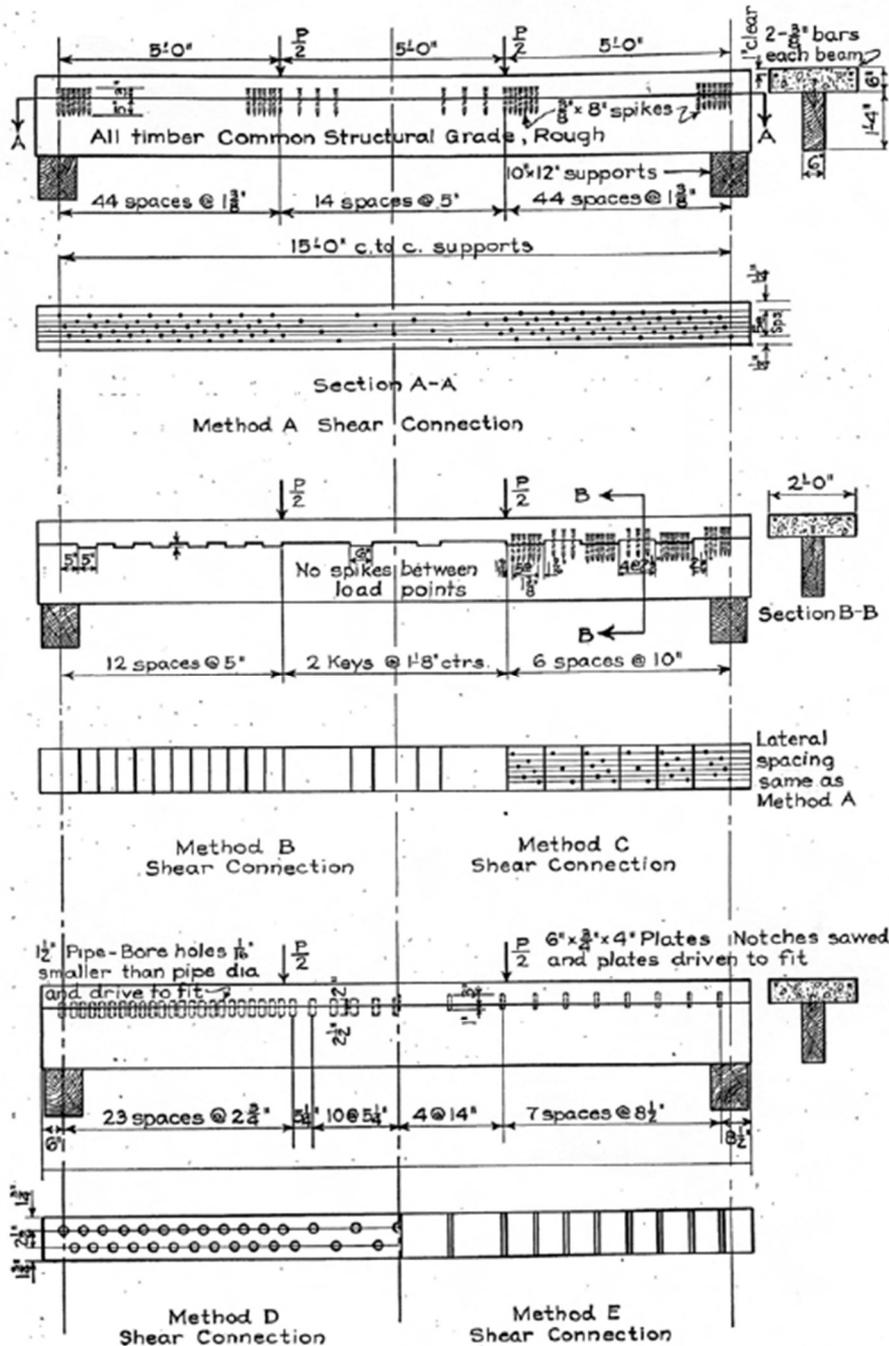


Abbildung 114: Verbundsysteme von McCullough (1932) aus Schäfers, 2010

McCullough hat Rückschlüsse zur Effizienz der von ihm untersuchten Verbundsysteme durch die Traglasten der geometrisch gleichen Querschnitte in Verbindung mit den messtechnisch erfassten Dehnungsverläufen über die Querschnittshöhe erfasst.

Seiler hat im Jahr 1933 an der George Washington University folgende Verbundkonstruktion entwickelt (Abbildung 115):

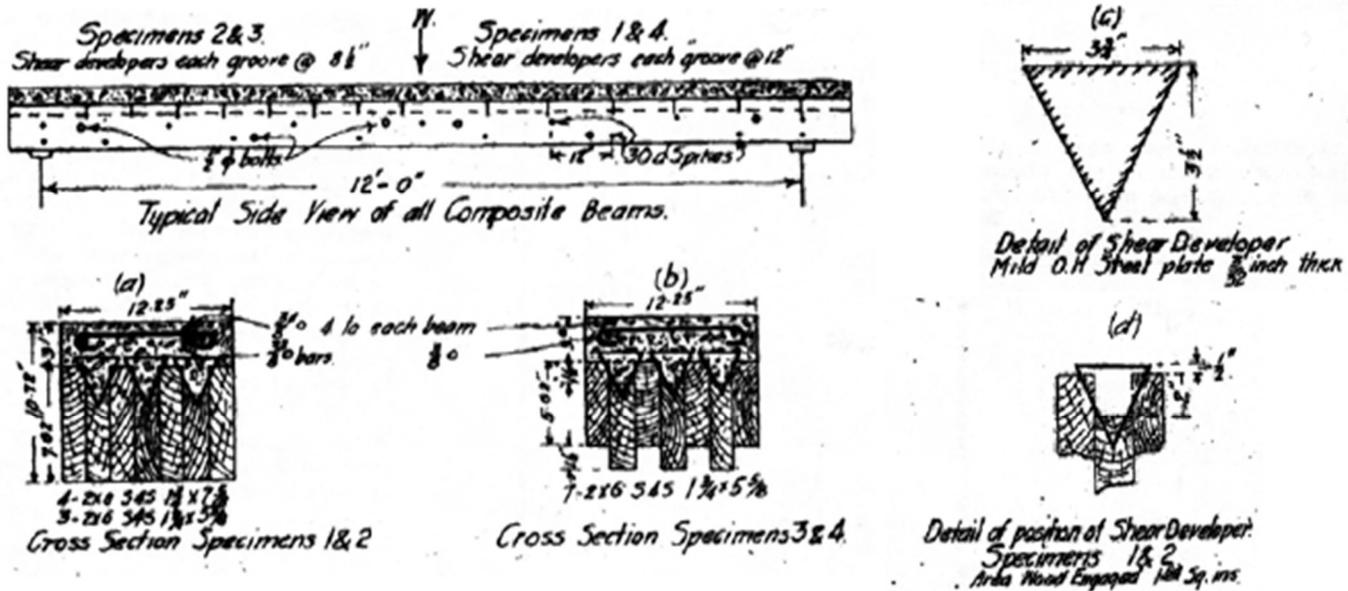


Abbildung 115: HBV-Konstruktion von Seiler (1932) mit dreieckigen Stahlblechen im Holz als Verbundmittel (aus Schäfers, 2010).

Die Konstruktionen von Seiler bestanden aus miteinander genagelten Brettlamellen und dreieckigen Stahlblechen, welche als Verbundmittel dienen. Die Stahlbleche wurden vor dem Betonieren ins Holz geschlagen.

Die Forschung hat in den letzten Jahren die Holz-Beton-Verbunddecken verstärkt untersucht und es werden nicht nur hinsichtlich der Steifigkeit und Duktilität verbesserte Systeme entwickelt, sondern auch kostengünstige und effiziente Konstruktionen, welche möglichst vor Ort auf der Baustelle schnell eingebaut werden können.

Beton und Holz(leicht)beton in Verbundkonstruktionen mit Holz

„Holzleichtbeton im Verbund in der Verwendung für Deckenkonstruktionen mit Holz und Beton stellt innerhalb bestimmter Spannweiten und Lastbereiche eine sehr wirtschaftliche Konstruktionsform dar. Dies gilt sowohl für die Sanierung oder die Tragfähigkeitserhöhung der Altbausubstanz, als auch für Neubauvorhaben.“

(Schäfers, 2010)

In der praktischen Anwendung ergeben sich einige Vorteile:

- Der Beton liegt in der Biegedruckzone und das Holz in der Biegezone. Damit können die dominierenden Festigkeitseigenschaften beider Materialien gut genutzt werden.
- HBV-Konstruktionen verfügen über eine hohe Biegefestigkeit und eine hohe Steifigkeit.
- HBV-Decken sind weniger schwingungsanfällig als reine Holzdecken.
- Der Beton sorgt für einen verbesserten Schallschutz (Luftschallschutz bis 50dB) (Schäfers,2010)
- Verbesserung des Brandschutzes – erreichbar ist eine Feuerwiderstandsdauer von F30, F60 oder F90 A/B.

Beton als Verbundmaterial

In der Forschung wird Selbstverdichtender Beton im Verbund mit Holz empfohlen (Winter & Fadai, 2015) Die folgenden Vorteile werden hierfür hervorgehoben:

- Kürzere Bauzeit
- Einfachere Bauweise
- Höhere Beanspruchbarkeit

Da in der praktischen Anwendung jedoch dieser Beton vom ökonomischen Aspekt her nicht empfehlenswert ist, sei die Anwendung auch von normalem Estrichbeton erwähnt.

Holzleichtbeton als Verbundmaterial

Holzleichtbeton (wird auch als Holzbeton oder Holzzement bezeichnet) gilt als nachhaltiges und ressourcenschonendes Baumaterial, in welchem Abfälle aus nachwachsendem Rohstoff (Holz) verarbeitet werden. Holzleichtbeton zeigt im Verbund mit Holz und Beton positive Eigenschaften hinsichtlich der Tragfähigkeit und der Aussteifungswirkung.

Weitere Vorteile beim Einsatz von Holz(leicht)beton sind (vgl. Kapitel 3.1):

- schallabsorbierende Wirkung
- hohe Brandbeständigkeit.
- Gewichtsreduktion der Verbundkonstruktion
- Geringe Wärmeleitung
- Unterschiedliche Formgebungen möglich
- Ökologisch wertvoll

Der Einsatz von Holzleichtbeton bei HBV Bauteilen ist noch in der Entwicklungsphase und wird vorwiegend im Forschungsbereich angewandt.

5.1.2 Holz-Beton-Verbund in der Forschung

In diesem Bereich werden Holz-Beton-Verbundkonstruktionen aus vier unterschiedlichen Aspekten näher beschrieben. Es werden zunächst die Prinzipien dargestellt danach werden unterschiedliche Systeme, die sich vor allem in der Verbindungsweise unterscheiden, dargelegt.

Es werden drei Rechnungsmethoden umschrieben, hier sei die Arbeit von Kuhlmann erwähnt, welche zwei Arten von Berechnungen vergleicht.

Abschließend werden noch Lösungen präsentiert.

Grundlagen von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen

Holz-Beton-Verbunddecken sind hybride Konstruktionen, werden auch als Sandwichkonstruktionen bezeichnet, bei welchen der Beton vor allem die Druckkräfte aufnimmt und Holz, entweder in Brett- oder Rippenform, als Zuglage dient. Die schubfesten Verbindungen werden entweder durch Formschluss oder diverse mechanische Verbinder hergestellt.

Ausgehend von den Grundkenntnissen, dass bei Holz-Beton-Verbunddecken der Beton im statischen Sinne, vorwiegend Druckkräfte aufnimmt und das Holz vor allem auf Zug und teilweise auf Biegung beansprucht wird, wird ersichtlich, wie viele Möglichkeiten sich bei der Entwicklung von diesen Deckensystemen bieten können. Bei HBV-Konstruktionen kann durch die optimale Ausnutzung des Holzverbundes das Tragverhalten wesentlich verbessert werden. Beispielsweise kann durch eine Vergrößerung der Oberfläche mehr Haftverbundfläche geschaffen werden. Dies kann durch das Aufrauen der Holzoberfläche, oder einfach durch das Profilieren des Holzes geschehen. (Schernberger 2011)

Konstruktionen mit Holz und Beton werden seit 2002 auch mit Stahlfaserbeton gebaut. Faserbeton soll hier aussteifend und stabilisierend wirken (vor allem die Traglaststeigerung und Erhöhung der Momententragfähigkeit). Der Beton wirkt sich auch positiv auf das Schwingungsverhalten durch eine erhöhte Biegesteifigkeit und das Brandwiderstandsverhalten wird verbessert (Bölcsekey, 2005)

In einem Verbund mit mehreren Materialien ist die Erhöhung der Biegesteifigkeit des Gesamtquerschnitts im Vergleich zu den Biegesteifigkeiten der einzelnen Querschnitteile ein Ziel.

Arten von Holz-Beton-Verbundsystemen

Es werden starrer oder steifer und nachgiebiger Verbund unterschieden. Je steifer der Verbund, umso höher ist auch die Biegesteifigkeit.

Die Spannungen verteilen sich je nach Verbundart entsprechend. In untenstehender Grafik wird dies veranschaulicht (Abbildung 105):

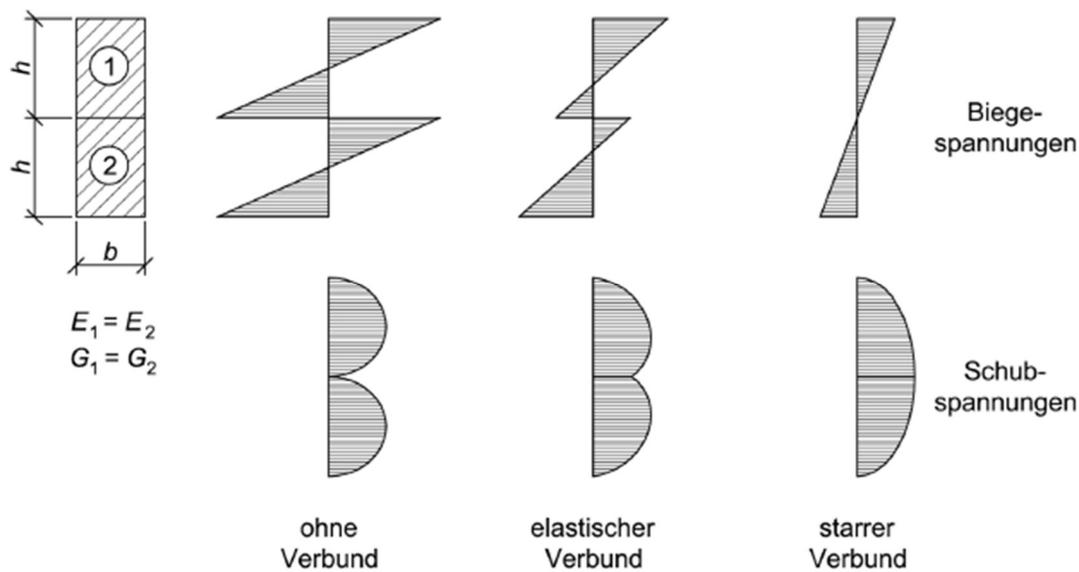


Abbildung 116: Spannungsverteilung von Trägern im Verbund (Glaser, 2005)

Die Schwingungsanfälligkeit wird im Verbund oftmals auch reduziert.

Die Verbundbauteile setzen sich in einer Konstruktion aus mehreren Teilquerschnitten von unterschiedlichen Baumaterialien zusammen. Diese Teilquerschnitte sind an der Lastabtragung, je nach Material und Querschnitt spezifisch, beteiligt.

Bei der HBV- Bauweise dient der Beton der Aufnahme der inneren Druckkräfte und Holz nimmt die Zugkräfte auf. Holzleichtbeton wird, je nach Einsatz und Verbindung, eine ausgleichende Funktion zugesprochen. In Abbildung 116 werden die inneren Druck- und Zugkräfte von Beton und Holz des biegebeanspruchten HBV-Trägers entsprechend ihrer Intensität dargestellt:

Die Verbindungsmittel dienen der Übertragung der Schubkräfte zwischen den Querschnittsteilen und beeinflussen somit die Beschaffenheit der Verbundquerschnitte.

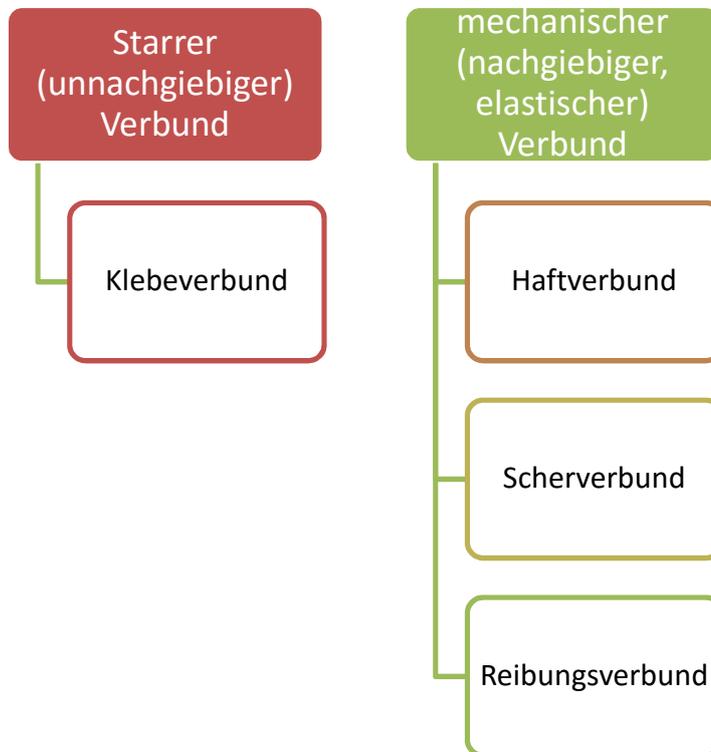


Abbildung 117: Überblick über die unterschiedlichen Verbundarten bei Holz-Beton-Verbund

Beim Haftverbund werden zwei Grenzflächen durch Bindungskräfte, unabhängig wie hoch die Belastung ist, miteinander verbunden. Wenn Beton und Holz miteinander sich verbinden, so ist der Haftverbund unter anderem auch von der Zementsteinbildung des Betons bedingt (Schernberger, 2011).

Wenn ein starrer und wirksamer Haft-Verbund vorhanden ist und keine Verschiebungen auftreten, beziehungsweise ohne weitere Verbundmittel/Verdübelungen, kann nur nach Versagen, s.a. „Klebeverbund“ wirksam werden (Bölcskey, 2017).

Scherverbund: wird auch als mechanischer Verbund bezeichnet. Die Verbindungsmittel sind stiftförmig (Schrauben, Nägel, Bolzen), Formteile aus Stahl oder Profilierungen im Holz. Die maximal übertragbare Kraft ist vom Beton, spezifisch vom seiner Bruchcharakteristik, abhängig (Schernberger, 2011).

Dabei ist der Scherverbund oder mechanische Verbund durch eine weit verbreitete Methode. Die maximal übertragbare Kraft wird im Scherverbund durch die Bruchcharakteristik des Betons bestimmt.

Reibungsverbund: wenn in einer Verbindungsfuge die Bewegung zwischen beiden Materialoberflächen aufgehalten wird. Der Reibungsverbund wird auch durch die Oberflächeneigenschaften beeinflusst. Diese Form des Verbundes erhöht sich mit der Last, welche quer zur Verbundfuge verläuft. Wenn das Holz durch Profilierungen in der Kontaktfläche bearbeitet wird, kann der Reibungsverbund durch Verzahnung erhöht werden (Schernberger, 2011).

Schernberger, 2011 zählt in seiner Arbeit als maßgebende Einflussfaktoren für die Verbundwirkung auf:

- Temperatur: Hydratation wird mit steigender Temperatur vom Holz verstärkt
- Feuchtegehalt: Feuchtigkeit von den Verbundmaterialien beeinflussen sich im Bereich der Kontaktfugen (W/Z Gehalt vom Beton wird durch Holz beeinflusst)
- Saugfähigkeit
- Quellen und Schwinden
- Oberflächenbeschaffenheit: Holz sollte gereinigt sein und nicht chemisch vorbehandelt sein (Reduzierung der Tragfähigkeit)

Aufgrund der unterschiedlichen Materialeigenschaften von Holz und Beton (Kriechen und Schwinden), ist unter Berücksichtigung der Holzfeuchte stets eine Nachweisführung hinsichtlich der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit erforderlich.

Deckenkonstruktionen sind als tragende Elemente unterschiedlichen Lasteinwirkungen ausgesetzt. Selbst wenn das Eigengewicht gering ist, müssen die zusätzlichen Auflasten berücksichtigt werden. Schließlich werden dann noch die Nutzlasten, je nach Nutzungsart des Gebäudes hinzugefügt. Daher sind statische Überlegungen, wie die unterschiedlichen Materialien verbunden werden, unumgänglich.

Es werden folgende Konstruktionsarten unterschieden (nach Kolb, 2010):

- Balkendeckenbauweise mit einer linearen Tragkonstruktion (BSH, Leimholz, Vollholz)
- Brettstapeldecken (flächige Tragsysteme) oder plattenförmige, verleimte Produkte als Holz-Tragkonstruktionen

Kirchmayer (2012) unterscheidet in seiner Arbeit zusätzlich noch die Dippelbaumdecke, welche hauptsächlich im Kontext von Sanierungen von Dippelbaumdecken, welche mit Beton aufgegossen werden und die Furnierschichtholzplatte, welche selten vorhanden ist.

Ausgehend von BauWissenOnline (abgerufen am 4.11.2016) werden in Tabelle 15 folgende Holz-Beton-Verbund-Systeme unter anderem getrennt nach Verbundwirkung und -mittel dargestellt:

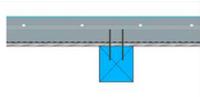
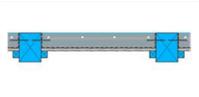
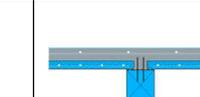
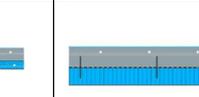
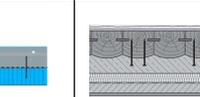
Deckensystem	 HBV-Decke aus Holzbalkenlage und Ortsbeton	 HBV-Decke aus Holzbalkenlage und Ortsbeton zwischen zwei Balken	 HBV-Decke aus Holzbalkenlage und Elementdecke	 HBV-Decke aus Brettstapellage und Ortsbeton	 Dippelbaumdecke
Verbundwirkung	Trägerverbund	Trägerverbund	Trägerverbund	Träger- und Flächenverbund	Flächenverbund
Verbundmittel	Nägeln, Verbundschrauben, Verbundanker, Schubverbinder, Kopfbolzen	Nägeln, Verbundschrauben, Verbundanker, Schubverbinder, Kopfbolzen	Schubverbinder	Schubverbinder, Kerven, Versätze und Einschnitte in der Platte	Nägeln
Anwendungsgebiete	Deckensanierung, Neubau	Vorwiegend Deckensanierung	Vorwiegend Neubau	Vorwiegend Neubau	Deckensanierung, Deckenverstärkung
Hersteller	TiComTec HBV Balkendecke Friedrich Verbundsysteme System Top Erne AG Holzbau SupraFloor	Friedrich Verbundsysteme System Slim	Holzbau Gröber HBV-TT-Deckensystem	TiComTec HBV Plattendecke Inholz Holzbetonverbunddecken	

Tabelle 15 : Übersicht über verschiedene Holz-Verbund-Systeme (aus BauWissenOnline)

Schubverbindung: Die Schubverbindung zwischen Holz und Beton ist ein wichtiger Bestandteil der Holz-Beton-Verbunddecke. Es wird zwischen dem kraftschlüssigen Schubverbund direkt zwischen Holz und Beton und der Schubverbindung durch Metall-Verbindungsmitel unterschieden (Kolb, 2010).

Glaser (2005) thematisiert zu Beginn seiner Dissertation, dass neu entwickelte HBV-Konstruktionen aus dünneren Betonplatten in der Druckzone und in der Zugzone aus Holz und diversen Schubverbindungsmitteln bestehen. Er betont den deutlichen Einfluss der Verbindungsmittel in der Kontaktfuge zwischen Holz und Beton auf das Trag- und Verformungsverhalten. Rehm (1961, 1969) hat sich eingehend mit dem Verbundproblem beschäftigt. Er hat die Kraftübertragungs-Problematik bei Verbundkonstruktionen ausgehend von seinen Forschungen zum Verbund zwischen Beton und Stahl ausführlich dargestellt. Er stellte fest, dass bei Last zu Beginn die Verformungen langsam und dann sehr schnell steigen. Die Messungen der Verschiebungen hat er in einen elastischen und einen plastischen Anteil getrennt. Die Verbundspannungs-Schlupfbeziehungen hat er durch differentielle Gleichungen auch für längere Dimensionen bei den Verbundkonstruktionen berechnet.

Kraftschlüssige Schubverbindung:

Auch hier werden zwei Arten unterschieden, einerseits die querlaufenden Kerben nahe dem Auflagerbereich und andererseits unterschiedlich hohe Lamellen beim Brettstapel. Durch diese Lamellen wird eine Reibungsfläche erzeugt, mittels welcher die Schubkräfte zwischen Holz und Beton aufgenommen werden können.

Für die Verbindung zwischen Holz und Beton werden daher folgende Verbindungsmittel verwendet:

- Schrauben, Anker oder Stahldübel
- Schubübertragung durch Kerben, Dübel oder Versätzen.

Die statische Berechnung, die Auswahl der Verbindungsmittel sind sorgfältig unter Berücksichtigung der Tragwerksplanung durchzuführen.

Die Dicke der Betonplatte ist abhängig von den zu übernehmenden Druckkräften der Gesamt-Deckenkonstruktion, den einzulegenden Installationen und den Schallschutzanforderungen.

Die untenliegende Holzdeckenkonstruktion übernimmt die inneren Zugkräfte der Gesamtkonstruktion (Kolb, 2010). Dies wird auch in Abbildung 118 mit einer angenommenen Spannungsverteilung in einer HB-Verbundkonstruktion dargestellt:



Abbildung 119: Probekörper von Feix, Fleck, Meixner und Thaler (2010) während dem Betongießen

Bei diesen Konstruktionen wird das Holz mit dem Beton mittels Formschluss verbunden. Das Verbindungsmittel ist ein Vergussmörtel, welcher in die aufeinander abgestimmten Ausnehmungen im Holz und Abschalungen im Beton, gegossen wird (Abbildung 119)

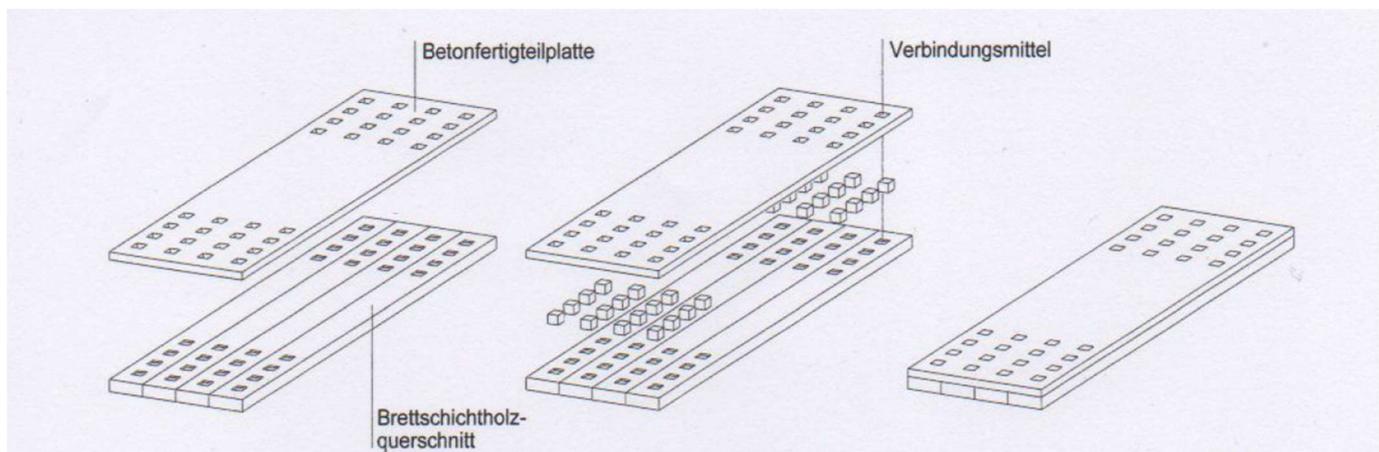


Abbildung 120: Darstellung der Montage eines getrennt vorgefertigten HBV-Deckensystems (Feix et al 2010)

Feix et al (2010) betonen neben den weiteren Vorteilen von Holz-Beton-Verbunddecken, wie geringe Konstruktionsstärken, hohe Steifigkeit, hoher Schallschutz, erhöhter Brandschutz, den zusätzlichen Vorteil bei der getrennten Vorfertigung von Holz- und Betonteilen damit, dass hier die Übertragung der Baufeuchte des Betons auf das Holz wegfällt. Ebenso kann das Schwindverhalten des Betons keinen Einfluss auf die Holzelemente haben und insgesamt können die Bauteile sauber zusammengesetzt werden.

Weitere Vorteile, spezifisch auf die entwickelten Deckensysteme bezogen, sind laut Feix et al (2010): kurze Montagezeiten, hoher Vorfertigungsgrad, durch Werksfertigung hohe Qualitätsstandards, Betonschicht benötigt durch getrennte Fertigung Holz nicht mehr als „verlorene Schalung“ und trägt Eigenlast selbständig.

Die Geometrie der Verbindungsmittel und ihre Auswirkung auf das Trag- und Verformungsverhalten der Deckenelemente werden durch Abscherversuche an Probeträgern untersucht (Feix et. al, 2010)

Feix et. al (2010) erklären, dass bei HBV-Systemen die einwirkenden Schnittgrößen einen höchstmöglichen Normalkraftanteil in den einzelnen Querschnitten über Biegung abtragen. Sie bezeichnen schubweiche Verbindungen als verantwortlich für die Reduzierung dieser Normalkraftanteile und zur Erhöhung der Biegeanteile der einzelnen Querschnitte, vor allem im Holzquerschnitt. Daher folgern sie, dass Versagen von Bauelementen im HBV normalerweise durch Überlastung des Verbindungsmittels entsteht bei einem Biegezugbruch beim Holz.

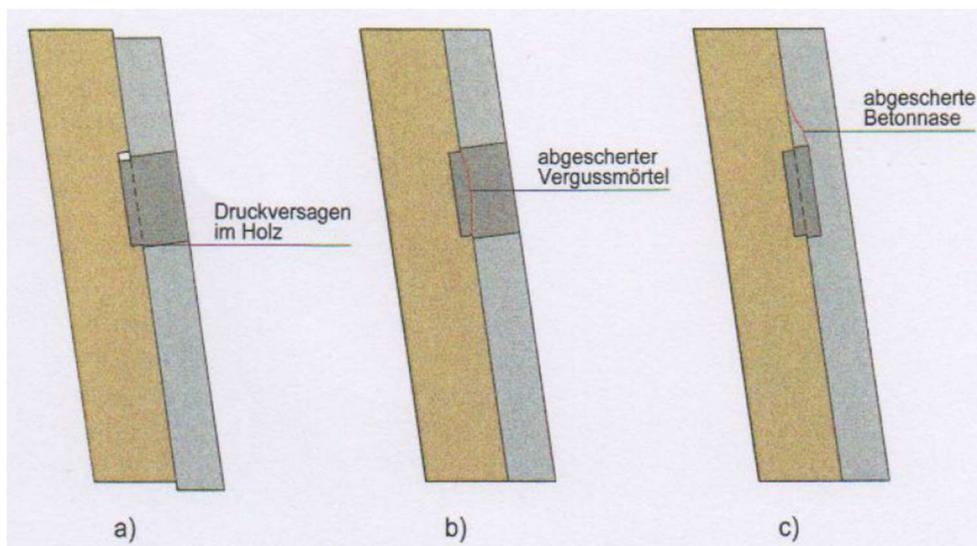


Abbildung 121: Versagensarten bei den HBV-Systemen mit Formschluss (Feix et. al, 2010)

Dieter Fleck (2013) hat anschließend in seiner Dissertation an der Universität Innsbruck das Trag- und Verformungsverhalten dieser getrennt vorgefertigten Holz-Beton-Verbundsysteme in weiterer Folge untersucht.

Im Jahr 2012 haben Wieland Becker und Tobias Götz das Thema Holz-Beton-Verbund in Form von Rippendecken untersucht. Hier war das Ziel, den Betonanteil in

der Decke im Vergleich zu Massivdecken um 50 bis 60 % seiner Masse zu reduzieren, bei Spannweiten bis 10 m und Konstruktionsstärken zwischen 40 und 50 cm (Becker und Götz, 2012).



Abbildung 122: Prototyp eines TT-Elements mit 6 m Spannweite (Becker und Götz 2012)

Becker und Götz (2012) charakterisieren den Gebrauchstauglichkeitsnachweis von Decken im Holzbau durch Durchbiegungsbegrenzungen. Bei ihren HBV-Rippendecken wird der Nachweis zur Begrenzung des Eigenschwingungsverhaltens beschrieben, da Becker und Götz (2012) diesen als sinnvoll erachten, wenn die Durchbiegung aus ständiger und quasiständiger Last unabhängig von der Feldlänge, mehr als 6 mm beträgt.

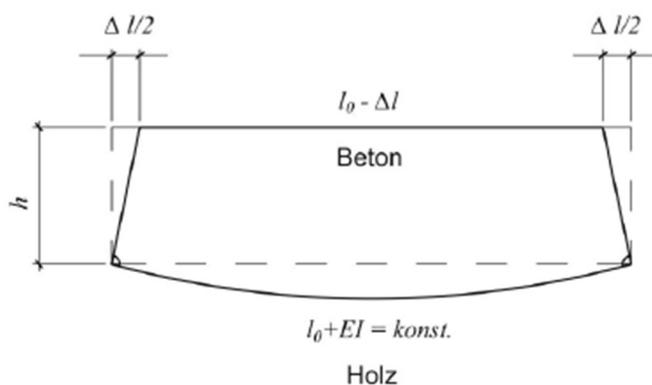
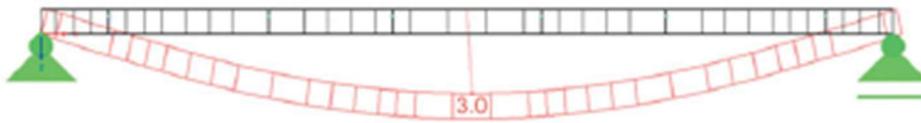


Abbildung 123: Stabmodell eines HBV-Elements im Schwindprozess des Betons (Becker und Götz, 2012)

Das Schwindverhalten des jungen Betons führt durch die Verkürzung der oberen Betonplatte in Abhängigkeit von der Steifigkeit der Holzkonstruktion zu einer Anfangsverformung des Holz-Beton-Elements.

Verformung unter Eigengewicht – $t = 0$



Verformung unter Schwinden – $t = 0$

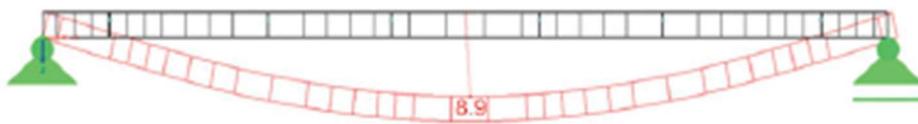


Abbildung 124: Verformungsbilder des TT-Elements (Prototyp) aus Becker und Götz, 2012

Sie haben durch Simulationen des Trägers im Stabwerk (Abbildung 124) beginnende Durchbiegungen ermittelt und konnten Werte zwischen 10 und 12 mm ermitteln. Die daraus folgende Empfehlung war daher, HBV-Elemente während des Herstellungsprozesses so zu lagern, dass eine planmäßige Überhöhung vor dem Einbau ermöglicht wird.

Testbauträger, welche auf Verformungen oder Bruch durch Belastungen getestet werden, wie bei Becker und Götz (2012) auch mit theoretisch errechneten Verformungen unter gewissen Belastungsvoraussetzungen verglichen.

Analytische und numerische Darstellungen des Trageverhaltens bei Holz-Beton-Verbundsystemen

Kuhlmann und Michelfelder (2006) haben in ihrem Artikel über Optimierungen von Kerben bei Holz-Beton-Verbundplatten folgende drei Berechnungsmethoden vorgestellt: γ – Methode, Rahmenmodell und die Scheranalogiemethode, diese wurden hinsichtlich der Genauigkeit zur Bestimmung von theoretischen Biegesteifigkeiten miteinander verglichen:

γ – Methode

$$s_{ef} = 0.75 \cdot s_{min} + 0.25 \cdot s_{max}$$

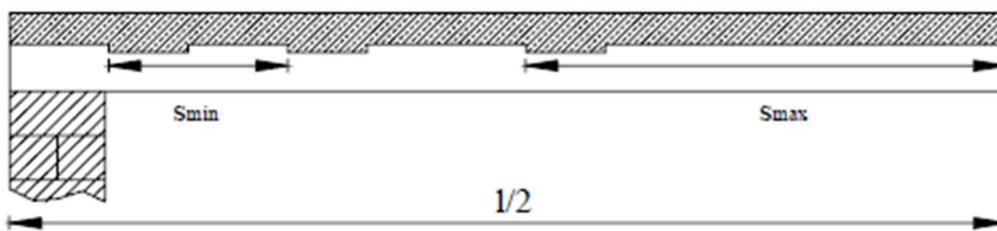


Abbildung 125: Definition der Verbindungsdistanzen (Kuhlmann, 2006)

Bei dieser Methode wird bei der Berechnung der effektiven Biegesteifigkeit ein Gammafaktor berücksichtigt. Diese Methode eignet sich für Balken mit gleichmäßiger Belastung und unterschiedlichen Verbindungsabständen. Es hat sich laut Kuhlmann (2006) bei dieser Berechnungsmethode herausgestellt, dass die effektive Biegesteifigkeit um ungefähr 5 % unterschätzt wird und somit höhere Verformungswerte als bei der Finiten Elemente Methode erzielt werden, trotz einer Anpassung der Gleichung (Abbildung 114) durch eine Regressionsanalyse.

$$s_{ef} = 1.14 \cdot s_{min} + 3.14 \cdot s_{max} / 1 \cdot (s_{max} - s_{min})$$

Abbildung 114: Gleichung zur Definition der Verbindungsdistanzen nach Regressionsanalyse (Kuhlmann, 2006)

Rahmenmodell

Beim Rahmenmodell wird theoretisch das Tragwerk als Rahmen dargestellt. Die Verbindungen werden entsprechend ihrer realen Distanz dargestellt und somit genau berechnet. Die Schätzung wird durch die Bestimmung der inneren Kräfte und Momente berechnet, welche vom Rahmenmodell herangezogen werden. Hierbei stellt der obere „Gurt“ die Betonlage dar und der untere „Gurt“ die Holzlage, welche durch steife klappbare Verbindungen an den entsprechenden Stellen verbunden sind.

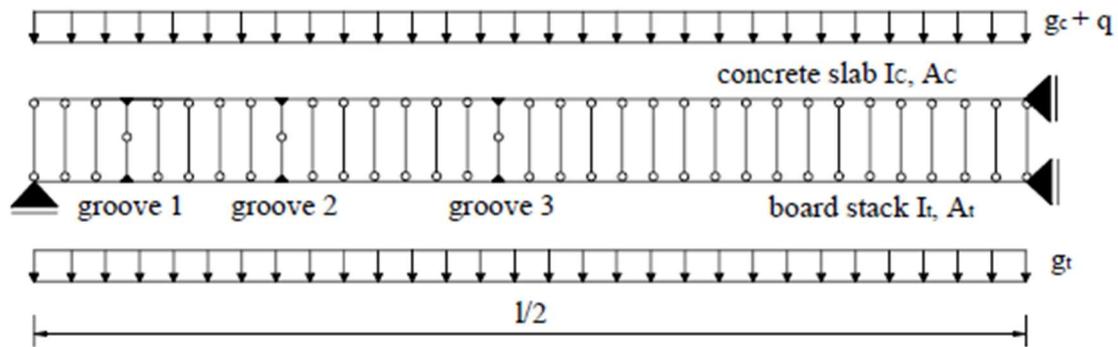


Abbildung 126: Rahmenmodell /Trussmodell (Kuhlmann, 2006)

Die Eigenlast wird auf beide Schichten (Beton und Holz) verteilt, hingegen die Nutzlast nur auf die obere Betonlast.

Berechnet wird die effektive Biegesteifigkeit mit folgender Formel (Abbildung 127):

$$EI^* = \frac{K_{ser/u}}{3} \cdot \left[\left(\frac{h_c}{2} \right)^3 + \left(\frac{h_t}{2} \right)^3 \right]$$

- incl. K_{ser} stiffness of the connection in the serviceability limit state
- K_u stiffness of the connection in the ultimate limit state
- h_c height of the concrete cross-section
- h_t height of the timber cross-section

Abbildung 127 : Formel zur Berechnung der Biegesteifigkeit beim Rahmenmodell (Kuhlmann, 2006)

Die Ergebnisse bei dieser Methode werden als zufriedenstellend von Kuhlmann (2006) beschrieben.

Scheranalogiemethode

Bei dieser Methode ist die Betonlage in ein Zwei-Komponenten-Balkensystem geteilt, welche durch Koppelstäbe verbunden ist dargestellt.

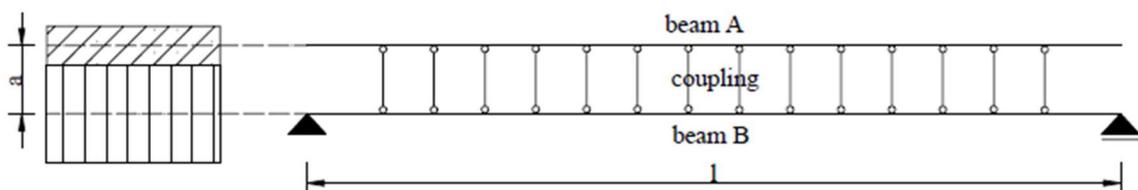


Abbildung 128: Balkensystem entsprechend der Scheranalogiemethode (Kuhlmann, 2006)

In Abbildung 130 ist eine konventionelle Auflagerausbildung für eine HBV-Decke dargestellt. Becker und Götze (2012) haben wie in Abbildung 131 eine neue Auflagerausbildung getestet, welche die Querpressung, als auch die Trittschalldämmung reduziert. Die Betonkonsole wird hierfür in die vorbereitete Ausklinkung gelegt. Der Wandquerschnitt wird zusätzlich zur Abtragung der Deckenlast eingesetzt. Der Problematik mit dem Schwindverhalten des Betons haben Becker und Götze (2012) durch die getrennte Vorfertigung der Filigrandecken aus Beton versucht entgegenzusteuern.

Andere Hersteller, wie MMK Holz-Beton-Fertigteile GmbH (ein Joint-Venture Unternehmen gemeinsam von Kirchdorf Fertigteilverwaltung AG und Mayr-Melnhof Holz Holding AG) lassen die HBV Deckenelemente gemeinsam in einer Produktionsstätte herstellen.

Das HBV – Deckenelement wurde letztes Jahr unter dem geschützten Namen XC®-Decke auf den Markt gebracht, welche nach dem XC®-Verbundsystem auf der Baustelle miteinander verbunden wird (siehe Abbildung 121). Da dieses Deckensystem auch für hohe mehrgeschossige Gebäude verwendet werden soll, wurde hier auf die bewährte Brettstapelsystembauweise zurückgegriffen. Das Deckensystem wird bereits fertig zur Baustelle gebracht.



Abbildung 132: Deckenelement XC © von MMK Holz-Beton-Fertigteile während der Befestigung am Bauobjekt (<http://www.holzcluster-steiermark.at/index.php/755-clusterpartner-mayr-melnhof-praesentiert-gemeinsam-mit-kirchdorfer-beton-das-xc-holz-beton-verbundelement>)



Abbildung 133: Ein Deckenelement XC© von MMK wird mit dem Kran auf das Holzgerüst aufgebracht.

(<http://beton.ofroom.net/beton/texte/produkt/mmk-holz-beton-fertigteile-xc-decke>)

Ob getrennt oder gesamt vorgefertigt, der Forschung bieten sich noch genügend Möglichkeiten, Holz-Beton-Verbundsysteme in Kombination mit Holzzement in einer Konstruktion zu vereinen mit dem Ziel durch eine innovative Form des Deckensystems die einzelnen Vorteile der verschiedenen Materialien maximal auszunützen und die Relativverschiebungen in den Verbundfugen zu minimieren. Denn gerade die inneren statischen Variablen, welche selbst durch aufwändige Näherungsverfahren zur Modellierung des Kurz- und Langzeitverhaltens von Holz-Beton-Trägern, nicht immer genügend Aufschluss geben über das Zusammenspiel der unterschiedlichen Kräfte.

Es sollen kurz die baurechtlichen Grundlagen für Deutschland, Österreich und Schweiz dargestellt werden. Da Deutschland und Österreich ähnliche Grundlagen (Eurocode 5 und 2 bzw. in Österreich ÖNORM 8 und 9) haben, wird im Hinblick, dass diese Normen heute auch in Südeuropa (spezifisch im Kosovo) herangezogen werden, auch kurz darauf eingegangen.

HBV Konstruktionen werden als eine nicht geregelte Bauweise in der Fachliteratur beschrieben. Es gelten für die Baustoffe Holz und Beton der Eurocode 5 und 2, jedoch gibt es keine Normen für die Verbindungsmittel zwischen den Querschnittsteilen aus diesen Baustoffen. Es wird daher in Österreich beispielsweise für neu entwickelte Konstruktionen aus Holz, Beton und eventuell Holzleichtbeton ein Gutachten durch Sachverständige verlangt.

5.2 Entwicklung des Decken-Prototyps mit einer Holzleichtbeton-Verbundkonstruktion

In der Forschung sind folgende Ziele in der Optimierung von Holz-Beton-Verbunddecken beschrieben (aus Pro holz Arbeitsgemeinschaft der österreichischen Holzwirtschaft,

<http://www.proholz.at/zuschnitt/45/compositeelementsofwoodconcrete/>):

- Schlankere Holzzuglagen
- Einfachere Verbindungstechniken
Gewichtsreduktion
- Einsatz von Holzleichtbeton zur Verbesserung der Querkzugfestigkeit und Gewichtreduktion

Diese Punkte, waren Ausgangslage, um in weiterer Folge weiter optimierte Deckenbauteile mit guter Verbundwirkung in Holzleichtbeton-Verbundbauweise und einem innovativen Balkensystem zu entwickeln.

Es werden hier einige Abbildungen von Entwürfen für Prototypen für Holzleichtbeton-Verbundkonstruktionen abgebildet. Wobei hier der Schwerpunkt in der Weiterentwicklung die Balkenform ist, welche primär eine Erweiterung der Zugzone bewirken soll. Ebenso war eine Erhöhung der Tragfähigkeit dadurch eine Überlegung in diesem Prozess. Vom ökonomischen Aspekt ausgehend, ist zu betonen, dass diese Balken aus einem rechteckigen Balken ohne dabei Holzabfälle zu produzieren, geschnitten werden können (siehe Abbildung 142) Die innere schräge Fläche des Balken, soll bewirken, dass an den Haftflächen eine erhöhte Reibung zwischen den beiden Materialien entstehen soll und somit eine Steigerung der Tragfähigkeit und effektive Biegesteifigkeit bewirken soll. Gleichzeitig soll eine Reduzierung der Betonlage erzielt werden, dies auch mit Unterstützung der Holzleichtbetonlage. Das Verhältnis von der Betonschicht zur Balkenhöhe soll auch dem Verformen der Konstruktion durch das Kriechverhalten des Betons entgegenwirken.

Ein Fortschritt der Eigenschaften, wie Schwingung, Wärmeisolation, Schallabsorption und Brandbeständigkeit sollen ebenso durch den Einsatz von Holzleichtbeton (fertige Platten oder in die Konstruktion gegossen) erreicht werden.

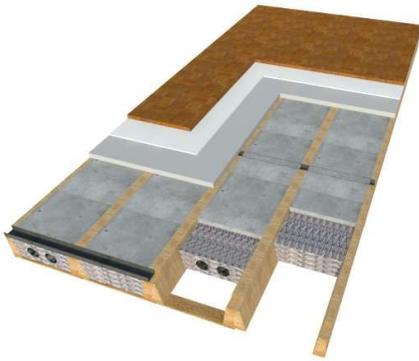


Abbildung 134: Entwurf für ein Deckenelement



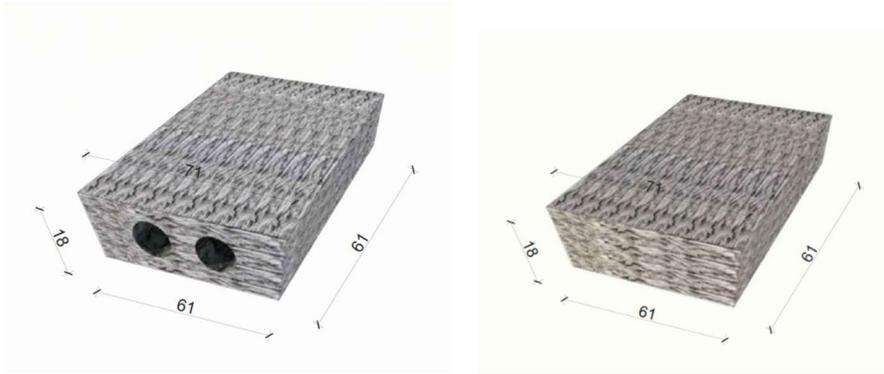
Abbildung 135: Querschnitt

In Abbildung 134 ist eine Holz-Beton-Holzleichtbeton-Verbundkonstruktion für ein Deckenelement zu sehen, welche schräge Balken hat. Es wurden in den Holzbetonplatten Öffnungen für Rohre und Leitungen vorbereitet.

In Abbildung 135 wird dieses Modell einmal mit Auslassungen und einmal ohne dargestellt. Diese Konstruktionselemente können entweder mit oder auch ohne Hohlräume vorgefertigt werden, je nachdem für welchen Verwendungszweck diese vorhergesehen sind. Die einfache Installationsführung ist bei den Elementen mit den Auslassungen ein mögliches Ziel.



Abbildung 136: Holz-Beton-Holzbeton-Verbund mit Darstellung der unterschiedlichen Baustoffe (Rigipsplatte, Holzbalken, Holzbetonplatten und Betonschicht)



Abbildungen 137 und 138 : Darstellung der Maße von einem Holzleichtbetonplattenelement mit und ohne Auslassungen für Rohre oder Leitungen

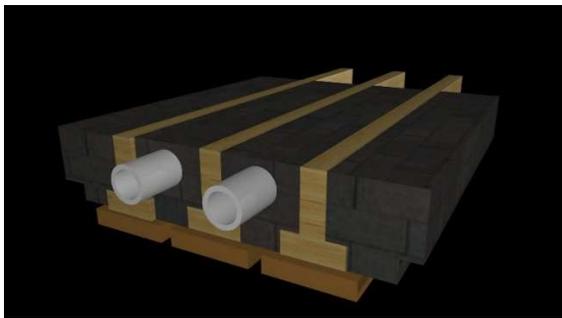


Abbildung 139: Entwurf für ein Deckenelement aus Holzträgern in T-Form und Holzbetonelementen

Ein hoher Vorfertigungsgrad von Bauteilen ermöglicht eine kürzere Bauzeit auf der Baustelle. Diese können dann in einer effizienten Weise vor Ort auf der Baustelle befestigt werden. Bei den entwickelten Prototypen werden in einer hybriden Bauweise die Materialien Holz, Beton und Holzleichtbeton mit unterschiedlichen Verbundweisen untersucht. Die konischen Holzbalken bilden die höchste Schichte, die Betonschicht wurde auf eine Minimaldicke reduziert und die Holzleichtbetonschicht wird in der Mitte als ausgleichende Schicht (aber auch als sogenannte „verlorene Schalung“) eingebracht.

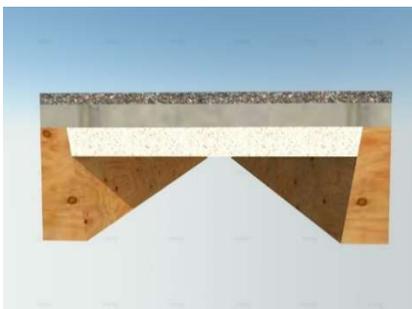


Abbildung 140: Querschnitt vom Prototyp mit den verwendeten Materialien, Holzbalken, Holzleichtbetonschicht und Betonschicht

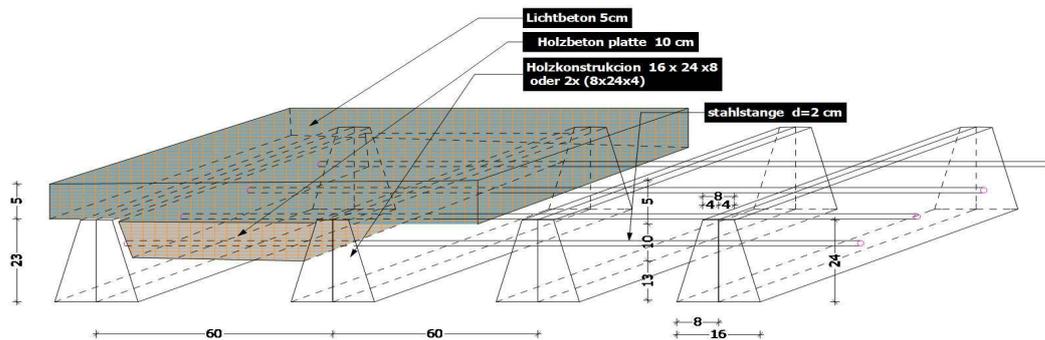


Abbildung 141: Deckenelemente mit Stahlstangen verbunden für den endlichen Einsatz

Werner (2016) beschreibt die Wirkungsweise von Holzleichtbeton in einer Verbundkonstruktion. In einem Berechnungsverfahren hat er die Schichthöhen in einer Holz-Beton-Holzleichtbeton-Konstruktion analysiert, indem er die Schichthöhen der einzelnen Materialien den Durchbiegungen gegenübergestellt hat. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass wegen des nachteiligen Verhältnisses zwischen höherer Tragfähigkeit und zusätzlichem Eigengewicht, eine Erhöhung der Betonschicht nicht nützlich ist, jedoch eine Erhöhung der Holzschicht. Die Mittelschicht, bestehend aus Holzleichtbeton, wirkt sich bei einer Erhöhung ebenfalls positiv auf die Gesamtsteifigkeit und somit auf das Tragverhalten aus (Werner,2016).

Die entwickelten Holz-Beton-Holzleichtbeton-Verbundkonstruktionen sind in ihrer Anordnung so gestaltet, dass eine absolute Minimierung der Konstruktionshöhe und folglich der Eigenlasten ein erwünschtes Ziel ist. Bei den Prototypen waren die Reduzierung der Bauhöhe, ein effizienter multipler Einsatz (Deckenelement mit Hohlräumen für Leitungen, Rohre etc.) und eine Vereinfachung der Konstruktion, welche kosten- und zeitsparend ist im Ansatz schon erkenntlich und wurden in den Bauträgern weitergeführt und teilweise umgesetzt.

Die Deckenelemente sind einfach konstruiert, sie können vor Ort auf der Baustelle zusammengebaut werden oder in einer eigenen Produktionsstätte vorgefertigt werden und beim Objekt dann zusammengesetzt werden.

In Abbildung 142 ist ein Vorschlag skizziert, wie die entwickelten Deckenelemente in Gebäuden mit Holztragwerken eingesetzt werden könnten:

e



Abbildung 142: Holz-Beton-Holzleichtbetondeckenelemente in einem dreigeschossigen Gebäude mit Holztragwerk.

Bei Holz-Beton-Verbunddecken, mit oder auch ohne Holzleichtbetoneinsatz, wird in der Forschung unter anderem der Einsatz für große Spannweiten als Vorteil angeführt. (vgl. Zuschnitt 54, 2014, Pro Holz Austria). Bei der hier entwickelten Ausführung soll eine normale Spannweite in Kombination mit ökonomischen Aspekten vor allem im Einsatz im Wohnungsbau betrachtet werden.

Holz-Beton-Verbunddecken werden auch vorwiegend zur Sanierung von bestehenden Holzdecken eingesetzt. Hier wurde die Fertigung von neuen Teilelementen vorgestellt, welche leicht zu transportieren sind und vor allem im Neubau, auch für mehrgeschossige Gebäude eingesetzt werden sollen. Durch ihre geringe Bauhöhe können auch im Innenausbau variable Lösungen für die Raumgestaltung entwickelt werden. Vor allem die Möglichkeit diese Elemente auch als Einsatzort für die Rohre, Leitungen, Fußbodenheizungen, machen diese Deckenelemente besonders vielseitig.



Abbildungen 143 und 144: Querschnitt vom Deckenelement mit Aluminiumschienen zur Befestigung von Rigipsplatten. Im dadurch entstandenen Hohlraum können Leitungen oder Rohre verlegt werden.

Die Hohlräume in den Deckenelementen können auch zur Dämmung verwendet werden. So wäre eine Überlegung, dass diese mit Zellulosematerial von der Firma Isocell aufgefüllt werden.

Bei der Verbindung der einzelnen Materialien wurde, entsprechend dem Ziel, eine möglichst einfache Konstruktion zu schaffen, vor allem Holzschrauben verwendet. Wie schon zuvor erwähnt haben Becker und Götz (2012) bei den von ihnen getesteten Rippendecken in Holz-Beton-Verbundbauweise das Schwindverhalten des jungen Betons als Ursache für die Verformung der Deckenelemente beobachtet und eine Durchbiegung „in situ“ nach 28-tägiger Lagerung (Verformung durch Eigengewicht und unter Schwinden wurden zusammengerechnet) von 10 bis 12 mm festgestellt. Es wurde eine Reduzierung der Betonplatte als Ziel formuliert, wobei hier von Konstruktionsstärken zwischen 40 und 50 cm berichtet wurde.

Die Prototypen der hier entwickelten Deckenelemente, können eine deutlichere Reduzierung der Betondecke vorweisen, welche vor allem durch die Balkenform möglich ist. Somit wird auch die Verformung durch das Eigengewicht und folglich durch das Betonschwinden hier reduziert und erleichtert auch die Lagerbedingungen, da hier nicht auf zusätzliche Maßnahmen in der Lagerung zur Reduzierung der Verformungen geachtet werden muss.

Das Schwindmaß kann für die hier entwickelten Deckenelemente, wie bei Becker und Götz (2012) berechnet werden, vorausgesetzt die Anfangsverformung ist bekannt

5.3 Experimentelle Untersuchungen zu den entwickelten Deckenelementen

Dieser Abschnitt beschreibt die experimentellen Biegeuntersuchungen, die für diese Arbeit durchgeführt wurden. Zunächst erfolgt eine Beschreibung der Bauteile und der verwendeten Materialien, einschließlich der Komponenten des Sandwich-Systems. Im Weiteren wird der Herstellungsprozess der Bauteile und Komponenten erläutert. Beschrieben wird auch die Versuchsanordnung mit den verwendeten Messmitteln und der Versuchsablauf.

Im Anschluss wird auf die unterschiedlichen Besonderheiten der Versuchskörper, den Versuchsablauf, die Versagensform und das Verformungsverhalten der Bauteile eingegangen. Es folgen ein Vergleich der Versuchsergebnisse und der daraus gewonnenen Erkenntnisse, sowie Vorschläge für die bestmögliche Verwendung und die Weiterentwicklung von Holz-Beton-Verbundtragwerken.

Es handelt sich um Vorversuche, um konstruktive Lösungen oder die konstruktive Durchführungsmöglichkeiten zu testen.

5.3.1 Beschreibung der Versuchskörper

Grundidee der Prototypen für Holz-Beton-Holzleichtbeton-Deckenelemente

Die hier entwickelten Deckenträger aus Holzbetonverbundsystem werden in vier unterschiedlichen Varianten hergestellt, wobei diese einer Grundidee entspringen (siehe Abbildung 145)

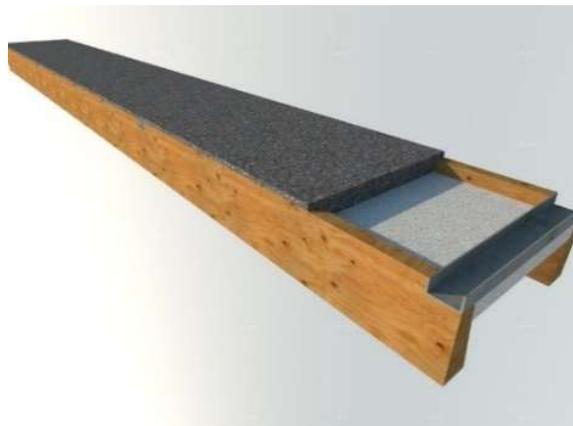


Abbildung 145: entwickelter Prototyp für ein Deckenelement aus Holz-Beton-Holzleichtbeton (Anmerkung: auf dem 3D-Schaubild wird die Betonplatte höher dargestellt, als in den Werkplänen. Dort werden die seitlichen Holzträger ebenfalls noch mit Beton überdeckt, was brandschutztechnische Vorteile hat)

Die vorgestellten Deckenträger haben alle die gleiche Konstruktionshöhe von 24cm und eine Breite von 60cm sowie eine Spannweite von 500cm.

In der Betonschicht in der Druckzone werden 4 Stück Metall-U-Profile angeordnet, welche ebenfalls mit Beton ausgegossen werden.

Die untere Schalung für die Betonschicht wird durch Velox-Platten (Holzspanbetonplatten) hergestellt, welche durch die raue Oberfläche einen Verbund mit dem Beton eingehen

(vgl. <http://www.velox.at/de/produkteleistungen/fertigschalungen/plattenzuschnitte/>).

Die beiden Holzträger haben einen trapezförmigen Querschnitt, wobei die größte Breite vom 8cm im unteren Bereich angeordnet wird, wo auch die größten Zugkräfte von den Holzfasern aufgenommen werden müssen. Im oberen Bereich ist die wirtschaftliche Gewichts- und Materialeinsparung beim Holzquerschnitt bis auf 4cm möglich, da hier die Druckkräfte durch den Beton aufgenommen werden. Überdies wird durch die Abschrägung die Velox-Platte gegen Absinken gestützt. Die Querkräfte im Bereich der Auflager der Träger werden durch die beiden Holzträger übernommen.

Die technische Funktion der U-Profile wird hauptsächlich zur Sicherung gegen das Abscheren der Betondecke bei der Durchbiegung des Trägers dienen. Weiters halten sie die beiden Holzträger zusammen und auf der vorgegebenen Distanz. Sie dienen weiters als Abstandhalter.

Wesentlich für die Funktion der Holz-Beton-Verbundtechnik ist eben die Herstellung des Verbundes zwischen den beiden Baustoffen und hier im Falle der schmalen Deckenträger die Verhinderung des Kippens der Holzgurte bei seitlichen Querbelastungen bzw. Verdrehung des Holzquerschnittes bei Biegebelastungen.

Vorab werden kurz die vier Varianten der Deckenelemente aus dem statischen Blickwinkel dargestellt, sie unterscheiden sich ausschließlich in der Verbundtechnik:

PO1 – der Verbund zwischen Holz und Beton erfolgt hier durch Verschraubung der U-Profile mit den Holzträgern mit jeweils einer Schraube pro U-Profil auf jeder Seite.

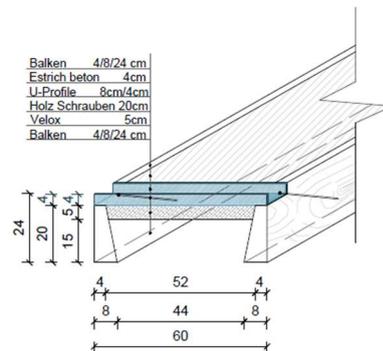


Abbildung 146: Verbund P01 im Querschnitt und mit den genauen Dimensionen

PO2 – der Verbund zwischen Holz und Beton erfolgt hier durch Schrauben seitlich im rechten Winkel in den Holzträgern mit 20cm langen Schrauben im Abstand von 20cm auf jeder Seite.

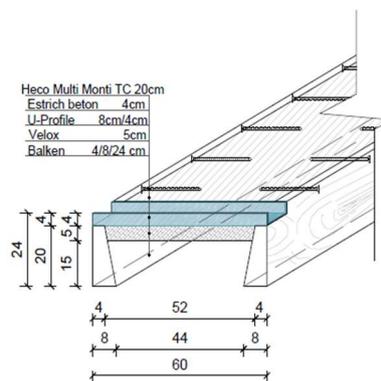


Abbildung 147: Verbund P02 hier erscheint die Betonplatte so dünn, da die seitlichen Schrauben nur 2cm Betonüberdeckung oben haben und somit die Verbundwirkung nicht stattfinden kann. Die Rissbildung des Betons kann hier am wahrscheinlichsten eintreten.

PO3A – der Verbund zwischen Holz und Beton wird hier durch keinerlei Verschraubung hergestellt. Der einzige erkennbare Verbund besteht durch die Befestigung der U-Profile in den Aussparungen der Holzträger. Die Betonplatte ist mit der Velox-Platte verbunden und stützt sich gegen die U-Profile im Falle einer Biegebeanspruchung des Verbundsystems ab.

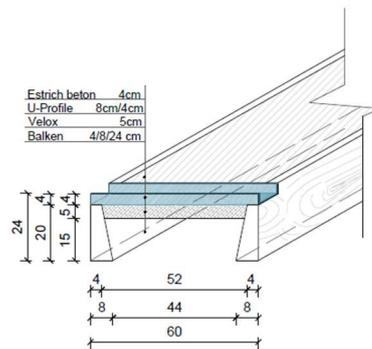


Abbildung 148: Verbund P03A wird als Vergleichsträger im Sinne der Nullhypothese bezeichnet, da er keine zusätzlichen Verbindungen hat, außer die U-Profile und die Holzschrauben, welche wie bei allen anderen Trägern die Velox-Platten zusätzlich befestigen.

PO4A – der kraftschlüssige Verbund zwischen Holz und Beton erfolgt hier durch Schrauben seitlich im schrägen Winkel in den Holzträgern mit 20cm langen Schrauben im Abstand von 20cm auf jeder Seite. Hier wird noch ein 20cm breiter zusätzlicher Velox -Streifen mittig angeordnet, welcher dafür sorgt, dass die Schrauben in der Betonplatte in einer Tiefe von 4cm angeordnet sind und daher hier eine bessere Betonüberdeckung der Schrauben erzielt wird als bei Variante PO2A.

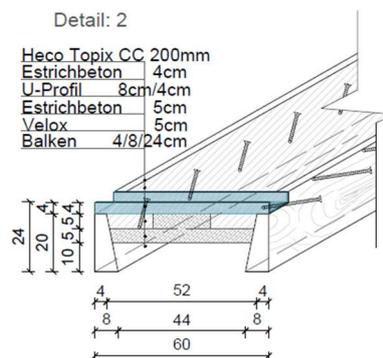


Abbildung 149: Verbund P04, welcher die aufwändigste Konstruktion mit drei Verbundarten des mechanischen Verbundes (Haft- Scher- und Reibungsverbund) darstellt.

In der Literatur wird meistens eine Abstufung der Schrauben gemäß statischer Berechnung empfohlen. Im konkreten Fall dieser Versuchsbauteile für eine optimale Versuchsausführung wurde darauf verzichtet. (Bölcskey, 2017)

Verwendete Materialien für die Bauteile

Konische Tragbalken aus Fichtenholz: Es werden Balken aus rohem Fichtenholz der Festigkeitsklasse C27 mit den Abmessungen B=12 cm, H=24 cm verwendet. Aus einem Balken werden schräg zwei trapezförmige Balken mit den Maßen B=4 cm (oben) und B=8 cm (unten) geschnitten. Die Balkenlänge ist einheitlich 500 cm (siehe Abbildung 150). Die Balken wurden vom Sägewerk Priestersberger, Wiener Neustadt, geschnitten. Sie stammen aus dem Lager dieses Sägewerkes und wurden vorher mindestens 6 Monate trocken gelagert.

Estrichbeton: Portlandzement, Gesteinskörnung 0 – 8 mm mit einer Druckfestigkeit von 30 N/mm². Der Beton wurde händisch aufgetragen und wurde 28 Tage getrocknet. Die Dicke der Betonschicht entspricht den Vorgaben für Holz-Beton-Verbundtragwerke und beträgt 4 cm. Das Mischungsverhältnis beträgt 1:4 (1 Teil Zement und 4 Teile Estrich). Die Verarbeitungskonsistenz des Estrichbeton ist erdfeucht.

Holzleichtbeton: Dieses Verbundmaterial besteht aus Zement, Sägespänen, Wasser, Additiven und Zuschlagstoffen. Die VELOX Platte ist ein erprobtes Industrieprodukt, das für unterschiedliche Aufgabenstellungen, in unterschiedlichen Stärken, Größen und Qualitäten verwendet wird. Für die Bauteile dieser Versuchsreihe wurden ausschließlich VELOX Platten WS 50 (zementgebundene Holzspan-Dämmplatte nach ÖNORM B 6022 mit erhöhter Druckfestigkeit) verwendet. Sie sollen laut dem Hersteller VELOX Bau-Systeme vor zu starker Durchfeuchtung geschützt werden und eben gelagert werden. VELOX Platten weisen folgende Eigenschaften auf:

Plattendicke	d	mm	50
Standardformat		mm	2000 x 500
Max. Gewicht		Ca. kg/m ³	560
Biegezugfestigkeit	lt. ÖNORM	N/mm ²	1,0
Wärmeleitfähigkeit	λ _n	W/mK	0,100
Brandverhalten	lt. ÖNORM EC 13501-1	A2	

Tabelle 16: Eigenschaften von VELOX WS 50 Platten (www.velox.at)

U-Träger aus allgemeinem Baustahl: die U-Träger aus allgemeinem Baustahl werden nach EN 10279/DIN1026 aus dem Material S235JRG2 nach DIN 17200 mit einem Gewicht von 8,90 kg/m zu einem Listenpreis von 207,40/kg wurden von der Firma Posamentir GesmbH in den Abmessungen 80x40x4 (Profilmaße h/b/s in mm) in 60 cm lange Teile getrennt. Pro Bauteil werden 4 Verbindungselemente eingesetzt

Holzbretter (Aussteifungselemente): Zur Aussteifung der Bauteile wurden Holzbretter (rohes Fichtenholz, Festigkeitsklasse C27) in den Abmessungen H=2 cm, B=10 cm, L=60 cm an der Balkenunterseite mit Holzschrauben verschraubt.

Holzschrauben (Verbindungselemente):

Spax Senkkopf T-Star plus 8 x 200 mm Teilgewinde verzinkt gelb (Abbildung 150).



Abbildung 150: Spax Senkkopf T-Star plus Holzschrauben

HECO Multi-Monti Timber Connect (MMS – TC) 7,5 x 100 mm Kombination aus Holzschraube und Schraubanker.



Abbildung 151: HECO Multi Monti Timber Connect (MMS-TC) 7,5x100 mm (www.heco-schrauben.de)

Sie wird vorwiegend zur Befestigung von Holzbauteilen auf Beton eingesetzt. Sie hat ein Beton- und ein Holzgewinde und ermöglicht ein höheres Lastniveau bei der Übernahme von Zug- und Querlasten. Diese Lasten sind unabhängig von der Dicke der Holzbauteile (www.heco-schrauben.de)

Der Schraubkopf kann vollständig im Holz versenkt werden.

Diese Schrauben wurden für die Konstruktionen P02 A und P02B verwendet.

HECO Topix-CC Combi Connect 6,5 x 190 mm Stahlschrauben für den Holzbau



Abbildung 152: HECO Topix CC 6,5 x 190 (www.heco-schrauben.de)

Die HECO Topix CC (Abbildung 152) wurde speziell für den Ingenieurholzbau entwickelt und soll als Verbindungsmittel zusätzlich hohe Zug- und Druckkräfte übertragen. Sie besteht aus zwei Gewinden mit unterschiedlichen Gewindesteifungen und zieht die Bauteile, die verbunden werden zusammen. Die Schraubenspitze und die Form des Zylinderkopfes lassen kleinste Schraubenabstände zu. Sie wird für neue Konstruktionen, aber auch zur Stärkung und Instandsetzung von bestehenden Holzkonstruktionen eingesetzt (www.heco-schrauben.de)

Diese Schrauben wurden bei den Konstruktionen P04A und P04B eingesetzt.

Herstellung der Holzleichtbeton-Verbunddeckenelemente

Die Versuchskörper – die Bauteile – stellen eine Weiterentwicklung der Holz-Beton-Holzleichtbeton- Verbundtragwerke dar, welche in einem jahrzehntelangen Prozess entstanden sind. Holzleichtbeton im Einsatz mit Holzkonstruktionen oder Holz-Beton-Verbundkonstruktionen für Decken als innovatives Tragsystem und somit Beitrag in der Forschung. „Eine der wesentlichen Erkenntnisse aus den Plattenversuchen ist, dass der Verbund zwischen der Beton- und der Holzspanndämmplatte (VELOX-Platte) außerordentlich gut funktioniert.“ (Kirchmayer, 2012)

In Abbildung 145 ist der prinzipielle Aufbau des Verbundtragwerkes mit den verwendeten Materialien Holz, Beton und Holzbeton dargestellt.

Als prinzipielle Grundlage für die Ermittlung der Bauteilhöhe (h_{ges}) wurde das Verhältnis von Bauteilhöhe zu Spannweite (L) mit $h_{ges} / L = 20$ angenommen:

$$h_{ges} = \frac{500}{20} = 25\text{cm}$$

Die Bauteilhöhe wurde aufgrund des vorgewählten Balkenquerschnittes von 20 cm (Breite) x 24 cm (Höhe) reduziert. Die Form der Balken (aus einem Rohbalken entstehen durch einen Sägeschnitt zwei Balken) wurde vor allem aus ökonomischen und konstruktionsspezifischen Gründen gewählt.

Die Balken aus rohem Fichtenholz werden zuerst auf eine Länge von einheitlich 500 cm geschnitten. Im weiteren Arbeitsschritt werden die Balken der Länge nach in zwei

spiegelbildlich angeordnete Hälften geschnitten. Dieser Trennschnitt erfolgt mit Hilfe einer mobilen Bandsäge-Einrichtung vom Typ Wood Mizer LT15. Dazu wird der Rohbalken schräg so auf den Sägetisch gespannt mit Unterstützung einer Holzleiste unter dem Balken, dass der Schnitt zwei trapezförmige Bauelemente mit einer Breite von 4 cm auf der Schmalseite und 8 cm auf der gegenüberliegenden Seite ergibt (siehe Abbildung 142).



Abbildungen 153 und 154: Balken auf der Wood Mizer LT 15 vor und während dem Schnitt

Die konstruktionsspezifischen Gründe sind, dass die Balken (Abbildung 35 und 36), wenn sie nach dem Schnitt entgegengesetzt zusammengebaut werden, eine belastbare Konstruktionsgrundlage ergeben, welche in Verbindung mit den anderen Verbundelementen eine Optimierung des fertigen Deckenelements bewirken sollen.

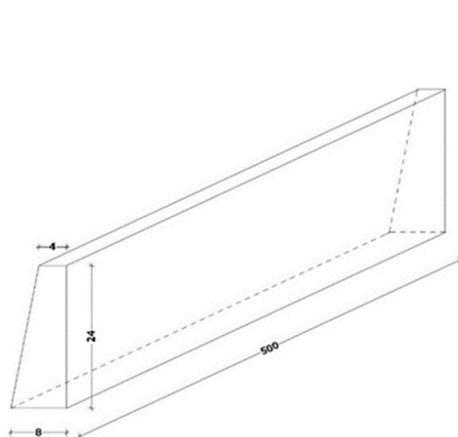


Abbildung 155: Abmessungen des Balkens

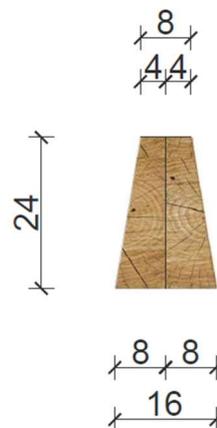


Abbildung 156: Balken zusammengesetzt.

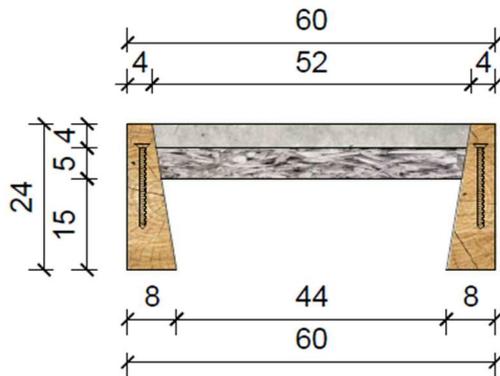


Abbildung 157: Querschnitt des Deckenelements in HBHLB-Verbund

Die Mindestdicke einer Tragwerkskonstruktion in Holz-Beton-Verbundbauweise beträgt aus Gründen des Feuerschutzes 6 cm. „Untersuchungsergebnisse an HBV-Rippenelementen liegen bei einer dreiseitigen Brandbeanspruchung nach 30 min im Holztiefenbereich zwischen 50 und 60 mm ebenfalls bei Temperaturwerten von ≈ 50 °C.“ {Becker 2012 #3D: 400} Für das Deckensystem in Holz-Beton-Leichtbauweise wurde eine Dicke der Betonschicht mit 4 cm angenommen, die Dicke der Holz-Beton-Verbundplatte (Velox Holzspan-Dämmplatte WSD 50) beträgt 5 cm.

Im nächsten Arbeitsschritt werden die trapezförmigen Bauelemente mit dem jeweils senkrechten Schenkel und mit der größeren Breite unten aneinandergestellt und in der Länge auf Stoß ausgerichtet (siehe Abbildung 39).



Abbildung 158: Vorbereitung für Stege



Abbildung 159: Balken mit gesägten Stegen

Dann werden die Aufnahmen für die U-Profile in die oberen, schmalen Stege der Balken geschnitten. Die Ausschnitte haben eine Tiefe von 40 mm, sind 80 mm breit und haben folgende Positionen: zu Beginn 150 cm entfernt von einem Ende des Balkens, in der Mitte beträgt der Abstand zwischen den Ausschnitten 200 cm und dann wieder 150 cm bis zum anderen Ende des Balkens (Abbildung 9 und 10).

Nach diesem Arbeitsschritt werden die Balken mit den vorgeschrittenen Auslassungen für die U-Profile um 180° umgeschlagen, so dass die breitere Balkenunterseite oben liegt.



Abbildungen 160 und 161 : Befestigung der Holzbretter auf der breiten Unterseite der Balken zur Stabilisierung der Konstruktion

Die Balken werden zur zusätzlichen Stabilisierung unten durch Bretter mit den Maßen $H = 2 \text{ cm}$ und $B = 10 \text{ cm}$ in Abständen von je einem Meter miteinander verbunden (Abbildung 161).



Abbildung 162: Befestigung der U-Profile mit Holzschrauben

Oben werden die Balken mit U-Profilen (mit den Maßen $H = 4 \text{ cm}$, $B = 8 \text{ cm}$) miteinander verbunden. In den zuvor gesägten Auslassungen (Abbildung 162) werden diese Profile dann mit drei Holzschrauben verbunden.

Anschließend werden die beiden Balken gegeneinander gestellt, so dass die Schnittschrägen sich zwischen den beiden Balken befinden. Nunmehr können die vier U-Baustahlträger in die Aussparungen gesetzt werden. Dabei muss die Profilöffnung nach oben zeigen. Wichtig ist, dass die beiden Balken exakt parallel zueinander ausgerichtet werden und über die Außenkanten gemessen 60 cm Abstand zueinander haben.



Abbildung 163: befestigte U-Profile



Abbildung 164: Balken mit Profilen gestapelt

Anschließend werden die VELOX Platten unterhalb der U-Profile befestigt und haben die Maße $L = 200 \text{ cm}$ $B = 50 \text{ cm}$ $H = 5 \text{ cm}$ (Abbildung 165 und 166). Zwei VELOX Platten mit den Abmessungen werden dazu von einem Ende der Verbundkonstruktion zwischen die Balken geschoben.



Abbildung 165 und 166: die geschnittenen Veloxplatten (200x50x5 cm) werden in die Konstruktion geschoben und danach mit Holzschrauben verbunden

Diese Platten dienen zusätzlich als Schalung für die Betonlage, welche auf die Platte gegossen wird. Ein Haftverbund zwischen Beton und Holzleichtbeton wird herbeigeführt. Ebenso haben die Platten schall- und wärmeisolierende Funktionen. Sollte eine Verbesserung der wärmeisolierenden Eigenschaften erwünscht sein, so kann eine zusätzliche Schicht von VELOX Platten eingefügt werden. Bei den getesteten Konstruktionen wurde eine Reihe VELOX Platten bei folgenden Systemen montiert: P01, P01A, P02A, P02B, P03A.

Nunmehr kann die VELOX Platte auf die geschlossene Profilseite der U-Baustahlträger geschraubt werden. Die VELOX Platte mit den Abmessungen 5 cm x 50 cm Breite und zweimal 250 cm Länge wird dazu von einem Ende der Verbundkonstruktion zwischen die Balken geschoben werden .



Abbildung 167 : eingeschoben Veloxplatte im Bauteil /Oben- und Queransicht

Nachdem die VELOX-Platten in die Konstruktion geschoben werden, werden sie seitlich mit den Spax Senkkopf T-Star plus 8 x 200 mm befestigt (Abbildung 168)



Abbildung 168 : Spax Senkkopf T-Star plus 8 x 200 mm Holzschraube mit Teilgewinde wird seitlich eingebohrt zur Befestigung der VELOX Platte



Abbildung 169 : Spax Holzschraube zwischen Balken und VELOX Platte

Bei den Bauteilen P01 und P01A werden jeweils noch Holzschrauben der Länge 200 mm schräg unter 45° durch die U-Baustahlprofile in die Balken eingeschraubt (siehe Abbildung XX). Dabei ist darauf zu achten, dass die Holzschrauben immer in Längsrichtung der Balken und zu deren Mitte hin zeigen.



Abbildung 170: Bauteil P01 mit schräg eingebohrter Spax Senkkopf T-Star Holzschraube (7,5 x 200 mm) das U-Profil wurde mit 3 Spax Senkkopf T-Star plus 4CUT gleitbeschichtet (6 x 100 mm) befestigt.

Für die Bauteile P02A und P02B wurden längs der Balken, nachdem die Konstruktion fertig betoniert und getrocknet war, HECO MMS TC 75 x 100 mm jeweils im Abstand von 20 cm von außen durch die Balken in die VELOX Platten geschraubt.



Abbildung 171: Träger P02A auf den Auflagern
seitlich ist die Schraube HECO-MMS TC im Balken
sichtbar



Abbildung 172: Träger P02A nach dem Bruch,
die Betonschicht wurde geöffnet, die HECO
MMS TC sind deutlich sichtbar

Bei den Systemen P04A und P04B wurde eine zusätzliche, in der Mitte längs durchgeschnittene VELOX Platte (Breite ca. 40 cm, Länge 200 cm, 2 Stück/Bauteil) eingefügt und später darauf der Beton gegossen.



Abbildung 173: zweite VELOX Platte und
HECO Topix CC vor der Betonierung



Abbildung 174 : Bauteil P04A betoniert

Für die Bauteile P04A und P04B gilt: Vor dem Betonieren werden noch HECO Topix-CC 200/6,5 Schrauben schräg (45°) von außen in die Seitenwangen der Balken gebohrt. Diese Schrauben werden anschließend einbetoniert und sollen der Stärkung der Konstruktion dienen. Wenn diese Vorarbeiten ausgeführt sind, wird der Estrichbeton auf die Konstruktionen geschüttet und geglättet. Dabei ist darauf zu

achten, dass der Raum zwischen der unteren VELOX Platte und der Profilkante der U-Baustahlträger vollständig und sauber verfüllt wird. Bei den Systemen P04A und P04B ist das Gießvolumen um das Volumen der zweiten VELOX Platten verringert, aber seitlich an den Balken erhöht sich die Reibungsfläche zwischen dem Beton und dem Holzbalken.



Abbildungen 175 und 176 : Auftragen des Betons bei beiden Konstruktionstypen (P01A – P03A) / (P04A und P04B)

Da die Betonschicht eine Dicke von 4 cm beträgt, wurde keine Bewehrung eingesetzt. Die U-Profile sollten als Abschnittstrennungen dienen und somit eine Rissbildung im Beton verhindern, da die Betonflächen durch die U-Profile getrennt werden. Ebenso wird ein Effekt der Verstärkung in den Druckkräften durch die U-Profile, welche einbetoniert werden, erwartet. Eine kervenverbundähnliche Wirkung soll hier zusätzlich erzeugt werden und somit die Haftung verbessern.

Die Trocknungsphase für den Beton dauert ungefähr 28 Tage. Nach Ablauf dieser Frist können die Verbundbauteile im Versuch getestet werden.

Unterschiedlich sind die sieben untersuchten Bauteile P01 bis P04B aufgrund der Verbindungsmittel und auch des Materialeinsatzes (siehe Tabelle 17). Die einfachste Form ist das Bauteil P03A. Es entspricht dem in Abbildung 143 dargestellten Querschnitt ohne zusätzliche Befestigungen und Verbindungen.

Die konstruktiven Unterschiede der Bauteile werden wie in Tabelle 17 zusammengefasst beschrieben:

Bauteil	Beschreibung Bauteil	Symbolbilder
P01	20 cm schräge Schrauben 6,5 mm seitlich in die U-Profile eingeschraubt im Winkel von 45 °	
P01A	20 cm schräge Schrauben 6,5 mm seitlich in die U-Profile eingeschraubt im Winkel von 45 °	
P02A	Seitlich im Balken nach Betonierung und Trocknung im Abstand von 20 cm Multi-Monti Timber Connect MMS – TC 100/7,5 Stahl befestigt	
P02B	Seitlich im Balken nach Betonierung und Trocknung im Abstand von 20 cm Multi-Monti Timber Connect MMS – TC 100/7,5 Stahl befestigt	
P03A	Keine zusätzlichen Befestigungen oder Verbindungen	

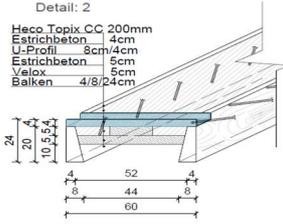
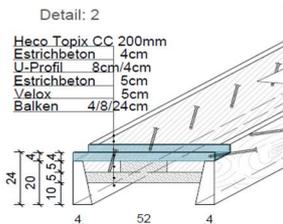
P04A	Zweite Schicht VELOX Platte und vor Betonierung HECO Topix-CC 200/6,5 Stahlschrauben schräg in die Balken gebohrt.	<p>Detail: 2</p> <p>Heco_Topix-CC 200mm Estrichbeton 4cm U-Profil 8cm/4cm Estrichbeton 5cm Velox Balken 4/8/24cm</p> 
P04B	Zweite Schicht VELOX Platte und vor Betonierung HECO Topix-CC 200/6,5 Stahlschrauben schräg in die Balken gebohrt.	<p>Detail: 2</p> <p>Heco_Topix-CC 200mm Estrichbeton 4cm U-Profil 8cm/4cm Estrichbeton 5cm Velox Balken 4/8/24cm</p> 

Tabelle 17: Konstruktionsmerkmale der unterschiedlichen Bauteile

5.3.2 Versuchsanordnung

Die Versuchsanordnung ist ein 4-Punkt-Biegeversuch. Das Bauteil wird auf die Auflager A und B positioniert und in den Drittelpunkten mit den beiden gleich großen Kräften F belastet. Die Momentenlinie ist zwischen den Kräfteinleitungspunkten konstant (Biegung ohne Querkraft).

Die Bauteile werden im Biegeversuch mit zwei Zylindern im Abstand von 246 cm belastet. Der Abstand von den Zylindern zu den beiden äußeren Enden der Bauteile beträgt 127 cm (Abbildung 177).

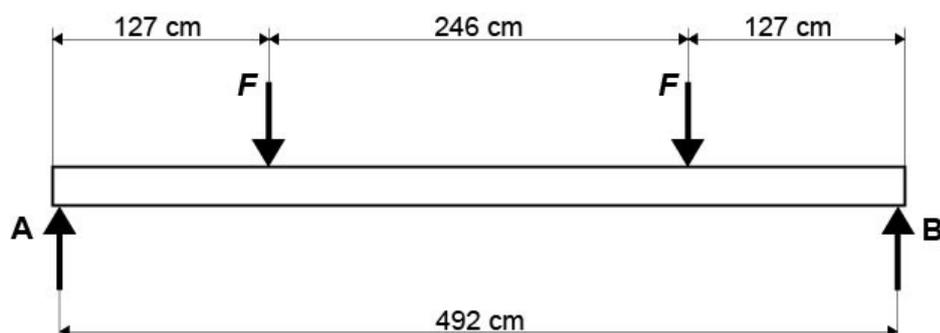


Abbildung 177: Versuchsaufbau mit Maßen, Auflagern (A/B) und Lasteinleitung (F)

Die Belastung beginnt bei 2 kN und wird zunächst bis 10 kN gesteigert, nach 30 Sekunden wird die Belastung wieder bis 2 kN verringert. Daran anschließend wird die Belastung wieder bis auf 20 kN erhöht, nach 30 Sekunden abermals bis 2 kN verringert.

Beim dritten Mal steigt die Belastung zunächst bis 25 kN, dann werden die digitalen Wegaufnehmer für die Durchbiegung und die Holz-Betonverschiebung entfernt und das Bauteil bis zum Bruch belastet (Abbildung 168). Es wird dann nur noch die Durchbiegung durch den Sensor M00, welcher sich an einem der hydraulischen Einzelprüfzylinder befindet, gemessen.

Die Belastung erfolgt in kN pro F, das bedeutet, dass die Belastungen durch beide Prüfzylinder (F) in gleichem Ausmaß erfolgen (Abbildung 178).

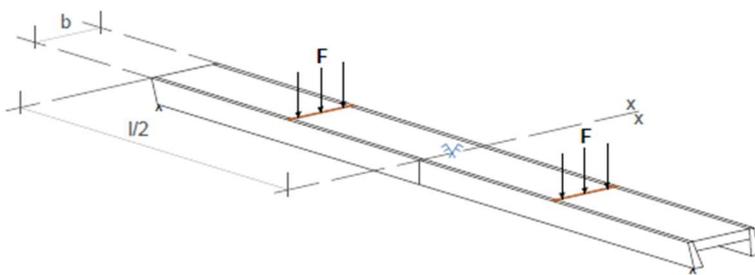


Abbildung 178: axonometrische Darstellung der Lastverteilung durch die beiden hydraulischen Einzelprüfzylinder (F).

Das Versuchsverfahren erfolgte laut der ÖNORM EN 380 (Allgemeine Grundsätze für die Prüfung unter statischen Belastungen, 1993). Die Geschwindigkeit der Belastungen betrug 10kN/min und eine Testung dauerte durchschnittlich 4 Minuten.

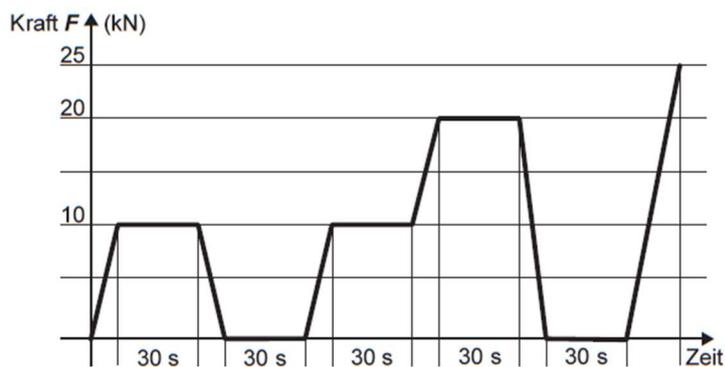


Abbildung 179: Schematische Belastungskurve

Prüfanlage

Die Belastungsprüfungen und Versuche erfolgen auf einer Prüfanlage der Firma Amsler im Labor der Camillo Sitte Versuchsanstalt für Bautechnik in Wien 3. Die Anlage besteht aus einem Prüfstand und einer Prüfmaschine. Die Prüfmaschine ist mit einer computergestützten Steuerung ausgestattet, wodurch es möglich ist, Belastungskurven vorzugeben und die Messdaten aufzuzeichnen. Die Kraft-Durchbiegungskurve wird gemeinsam mit den Durchbiegungswerten, welche in einer Tabelle ausgegeben werden, in einem Ordner gespeichert und können für die Datenverarbeitung herangezogen werden. Die Messwerte für alle Messsensoren wurden im Sekundentakt aufgezeichnet.



Abbildung 180: Prüfstand ohne Bauträger



Abbildung 181: Prüfstand mit Bauträger



Abbildung 182: Prüfstand mit Steuerung

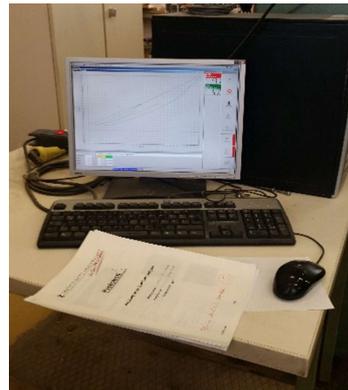


Abbildung 183: Computer zur Datenerfassung und Diagrammerstellung

Verwendete Messmittel

Die digitalen Wegaufnehmer M02, M03, M04, M05, M06 und M07 werden zur Messung der Durchbiegung unter Belastung mit Unterstützung von Metallständern an der Unterkante der Balkenkonstruktion angebracht.

Die horizontale Holz-Beton-Verschiebung wird mit den Messsensoren M40, M41, M42 und M43 jeweils am Balkenende an den Kanten Beton-Holzbalken gemessen (Abbildung 184)

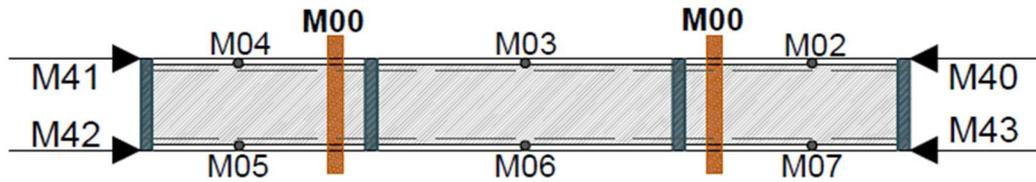


Abbildung 184: Darstellung der Positionen der Messmittel auf dem Bauträger.

Die digitalen Wegaufnehmer haben einen maximalen Messweg von 100 mm und eine Messgenauigkeit von $\pm 0,1$ mm.

Die Messmittel M02 bis M07 und M40 bis M43 werden nur bis zur Belastung mit 25 kN eingesetzt, dann werden sie von den Messstellen entfernt.

Der Messsensor M00 misst den Kolbenweg des Zylinders bis zum Bruchversagen des Bauteils.



Abbildungen 185 und 186: Anordnung des Bauteils P01 in der Prüfanlage mit angebrachten Sensoren zur Messung der Durchbiegung und zur Verschiebung des Betons. Die Anordnung der digitalen Wegaufnehmer ist bei allen Bauteilen dieser Versuchsreihe gleich.

In Abbildung 185 und 186 sind die Messmittel für die Verschiebung von Holz und Beton, sowie für die Durchbiegung zu sehen. Die Verschiebungsmessmittel sind auf dem Bauträger aufgebracht. Die Durchbiegungsmessmittel auf gelb-schwarzen Ständern neben dem Bauträger, sie werden auf der Unterseite positioniert.

Die Holzbalken zwischen den hydraulischen Einzelprüfzylindern und dem Bauträger dienen der Lastweiterleitung auf dem Bauteil und auf die Holzbalken.

Der Bauträger wird an beiden Enden auf durchgehenden Lastverteilungsplatten (holzseitig) und beweglichen Stahlrollen gelagert (Abbildungen 185 und 186).

5.3.3 Versuchsablauf

Bauteil P01

Das Bauteil P01 ist die Grundform aller untersuchten Bauteile. Der Aufbau ist Tabelle 17 zu entnehmen. Der Versuchsablauf entspricht bei allen Bauteilen der Abfolge der Belastungsversuche, wie für das Bauteil P01.

In Abbildung 187 ist die planimetrische Ansicht der Prototypen der Holzleichtbetonverbundträger für Deckenelemente zu sehen. Es ist die Materialzusammenstellung und die Anordnung der Messmittel (M00 bis M07 und M40 bis M41) abgebildet. Auch die Baudimensionen sind ersichtlich.

Im Schnitt ist die Anordnung der stiftförmigen Verbindungsmittel abgebildet.

Bei der Axonometrie ist die Materialzusammensetzung mit den genauen Baumassen dreidimensional dargestellt.

Diese Darstellungsformen werden für alle 4 Grundformen (P01 und P01A/P02A und P02B/ P03A/ P04A und P04B) in dieser Reihenfolge angewandt.

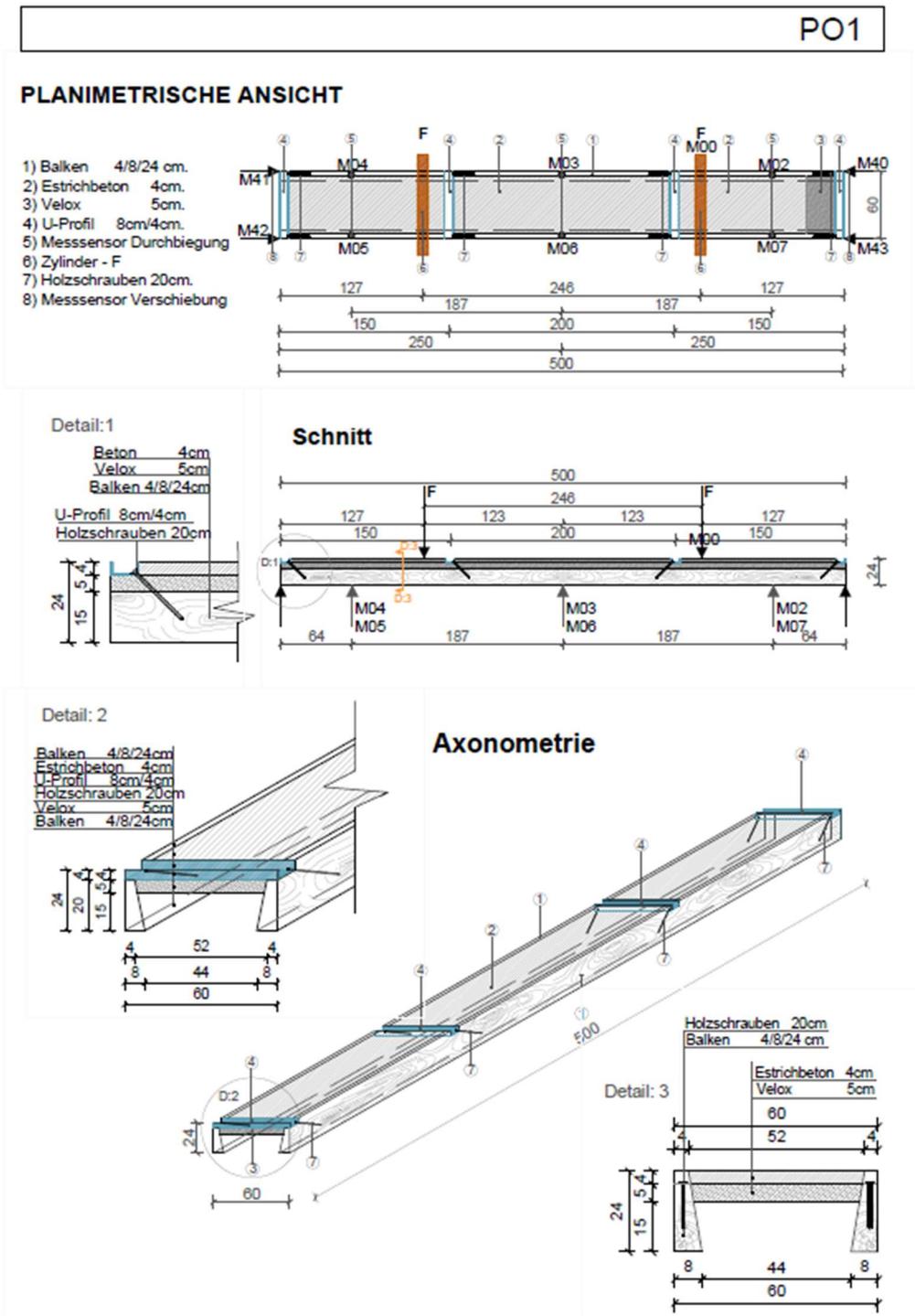


Abbildung 187: Planimetrische und axonometrische Darstellung des Bauteils P01/P01A einschließlich der Bauteil-Schnitte.

Beim Bauteil P01 tritt der Bruch bei einer Belastung von $F(1) = F(2) = 41,28 \text{ kN}$ bzw. bei einer Biegebeanspruchung von $M_F = 41,28 \times 1,23 = 50,77 \text{ kN/m}$ ein. Dieses Bauteil erreicht von allen 7 Bauteilen den höchsten Belastungswert vor dem Bruch.

Dieser hohe Belastungswert ist darauf zurückzuführen, dass bei diesem Bauteil der ideale Fall eines Scherverbundes/Formschlusses wirksam ist. Dabei wird der Widerstand gegen die Scherkraft durch die stiftförmigen Verbindungsmittel – in diesem Fall schräg eingeschraubte Holzschrauben – aktiviert. Dass der Bruch an einem Balken auftrat, liegt möglicherweise an einem ungleichmäßigen Wachstum der Balken und damit an einem unterschiedlichen E-Modul des betroffenen Holzbalkens. Der Verlauf der Bruchlinie lässt darauf schließen, dass der Holzbalken aufgrund hoher Zugspannungen gebrochen ist.

Die Bruchstelle ist ungefähr 15 cm vom Anfang des Balkens aufgetreten, ungefähr 10 cm vom Zylinder F, somit in der Nähe der Belastung (siehe Abbildung 188). Es ist ein Balken gebrochen, was auf eine Schwachstelle in dem Holzgefüge deutet.

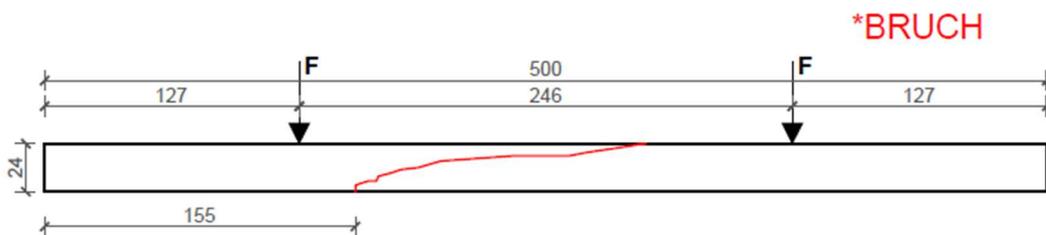


Abbildung 188: Belastungsbruch am Bauteil P01. Die Bruchlänge (in Balken-Längsrichtung) beträgt ca. 145 cm.



Abbildung 189: Bruch beim Bauteil P01



Abbildung 190: Bruch im Beton P01



Abbildung 191: Bruch beim Bauteil P01

Die maximale Durchbiegung vor dem Bruch gemessen bei F (M00) beträgt bei P01 10,51 cm. Der Bruch erfolgt auf einer Länge von ca. 145 cm (in Längsrichtung der Balken). Die Verschiebung erreicht bei $F=25$ kN maximal 2,3 mm. Wie die Abbildungen 190 und 191 zeigen, sind die Risse im Beton nicht sehr stark, der Beton-Druckgurt scheint für die Aufnahme der inneren Druckkräfte anscheinend überdimensioniert.

Wie in Abbildung 191 dargestellt, sind die Sensoren M02 bis M07 seitlich am Bauteil angebracht und messen die Verformung/Durchbiegung bis zu einer Belastung von 25 kN, dann werden sie abgebaut. Ebenso die Sensoren M40 bis M43, welche die Verschiebung vom Beton zu Holz messen, werden bei der Belastung von 25 kN abgebaut. Lediglich ein Sensor, welcher an einem Zylinder F befestigt ist (M00), misst die Durchbiegung des Bauteiles bis zum Bruch. Diese Anordnung der Sensoren gilt für alle 7 Bauteile, wie auch in den jeweiligen Skizzen zu sehen ist. In untenstehendem Kraft-Weg-Diagramm ist der Verlauf der Biegung vom Bauträger P01 zu sehen und wann der Bruch eintritt. Es sind auch die Belastungsverläufe an den Kurven zu erkennen. Ebenso ist ersichtlich, dass die Belastung nicht von 0 kN beginnt, sondern bei 2 kN und auch immer wieder dorthin zurückkehrt in den Belastungsverläufen.

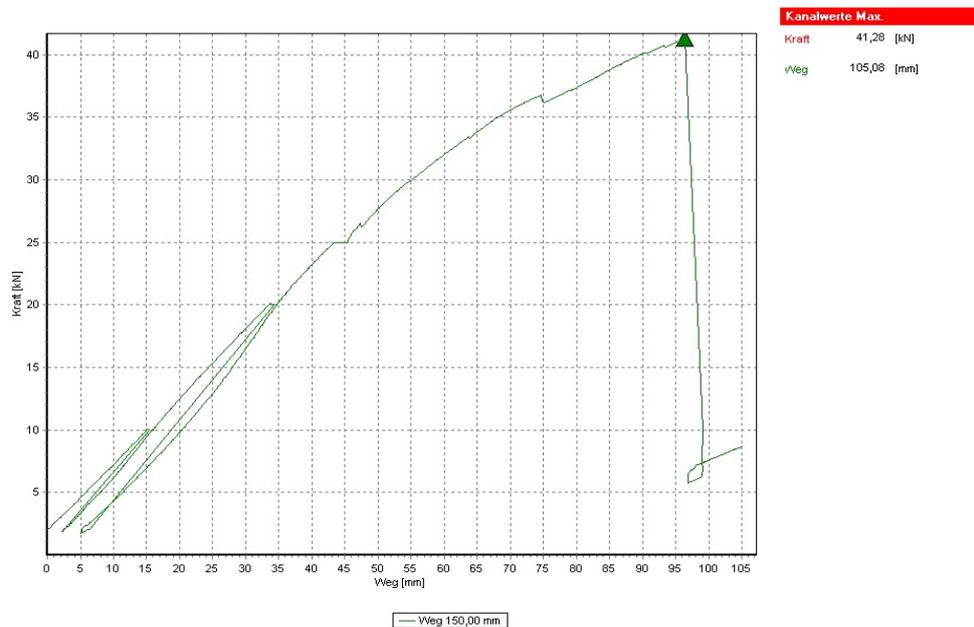


Abbildung 192: Kraft-Weg-Diagramm vom Bauträger P01 bei 41,28 kN tritt der Bruch ein, die Durchbiegung beträgt hier 105,08 mm.

Bauteil P01A

Dieses Bauteil ist exakt gleich aufgebaut wie das Bauteil P01. Ebenso entspricht der Versuchsaufbau und die Bauteilbelastung exakt dem Ablauf für das Bauteil P01. Dennoch ergibt sich im Versuch ein Unterschied zum Bauteil P01: Der Bruch erfolgt beim Bauteil P01A bereits bei einer Belastung von 39,66 kN, etwa an derselben Position wie beim Bauteil P01, ca. 155 mm vom Balkenende und ca. 12 cm vom Zylinder F entfernt. Die Bruchlänge in Balken-Längsrichtung ist mit 144 cm etwa genauso groß wie beim Bauteil P01 (siehe Abbildung 193). Dabei wird durch den Sensor M00 eine maximale Durchbiegung von 8,43 cm gemessen. Die maximale Verschiebung von Beton zu Holz beträgt bei 25 kN Belastung 3 mm.

Auch bei diesem Bauteil ist ein Scherverbund wirksam. Grundsätzlich gelten damit dieselben Bedingungen wie beim Bauteil P01. Der Bruch entsteht durch die Zugbelastung auf dem Balken. Offensichtlich sind auch in diesem Fall die beiden Balken unterschiedlich in ihrer Struktur und weisen deshalb ein unterschiedliches E-Modul auf.

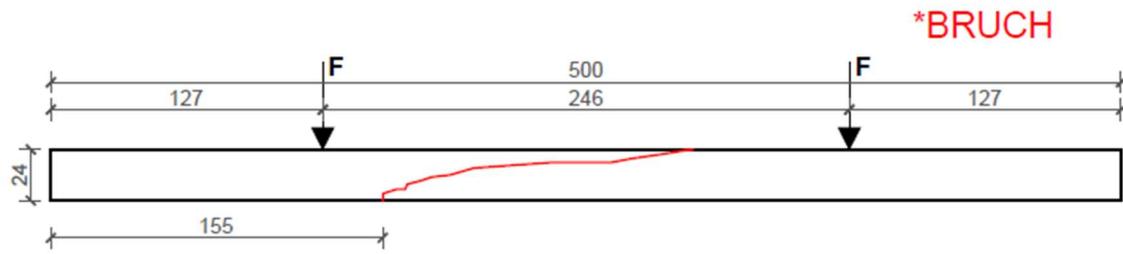


Abbildung 193: Bruch des Bauteils P01A, die Bruchlänge in Balken-Längsrichtung beträgt ca. 144 cm.



Abbildung 194: Bruch P01A

In Abbildung 194 ist der Beginn des Bruches im Balken von P01A zu sehen. In Abbildung 195 ist der Bruch des Balkens durch Zugspannung beim Bauteil P01A deutlich erkennbar, es ist nur der rechte Balken gebrochen. Dieser Bruch fand mit einem Zugriss der Holzfasern (Schwachstelle im Holzgefüge) und trat bei 39,66 kN ein.



Abbildung 195: Bersten des Balkens P01A

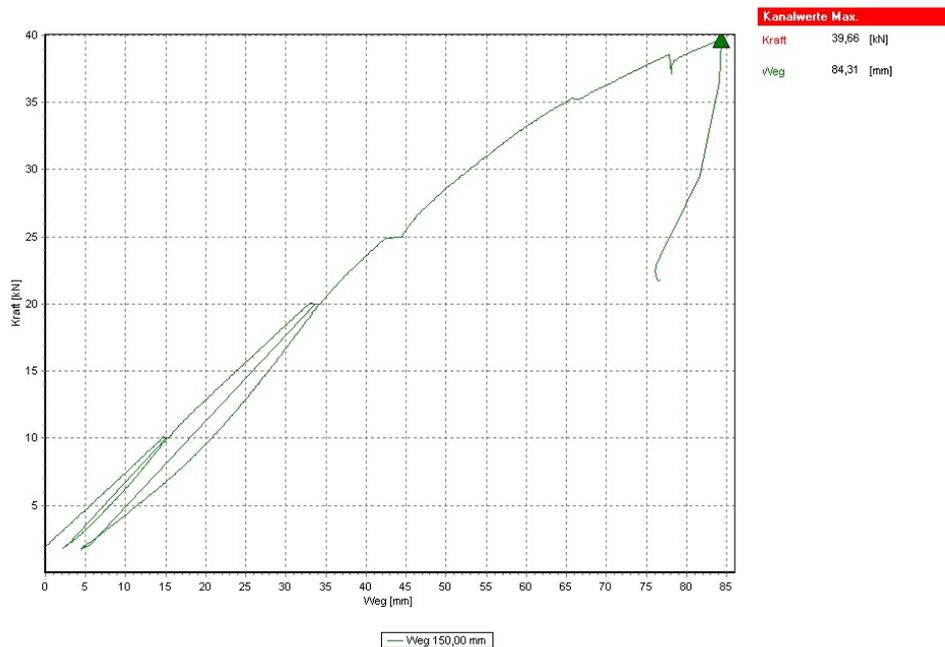


Abbildung 196: Kraft-Weg-Diagramm vom Bauräger P01A. Der Bruch tritt bei 39,66 kN ein, die Durchbiegung beträgt hier 84,31 mm.

Bauteil P02A

Im Unterschied zu den beiden Bauteilen P01 und P01A sind die Stege der U-Profile nicht schräg mit den Holzbalken verschraubt. Stattdessen soll die Verschiebung Beton zu Holz nach der Trocknungsphase durch rechtwinklig in die Balken und den Beton eingebaute HECO Multi-Monti MMS-TC 100/7,5 mm Schrauben minimiert werden. Jeweils fünf Schrauben auf jeder Seite werden im Abstand von 2 cm voneinander, beginnend am Balkenende seitlich im rechten Winkel durch die Balken bis in den Holzbeton geschraubt. Dabei ist darauf zu achten, dass die Schrauben mittig in die Dicke der Betonschicht eingeschraubt werden.

Eigentlich ist dieses Bauteil auf einen Reibungsverbund hin aufgebaut. Die rechtwinklig zur Schubrichtung des Haftungsverbundes Holz balken/Beton eingeschraubten Schrauben benötigen aber eine geringe Verschiebung zur Aktivierung des Reibungsverbundes. Laut Bode bedingt dies jedoch das Versagen des Haftungsverbundes (Holzbalken/Beton). Bei den Bruchbildern ist zu sehen, dass genau dies passiert ist und dadurch der Haftungsverbund seine Tragfähigkeit verloren hat.

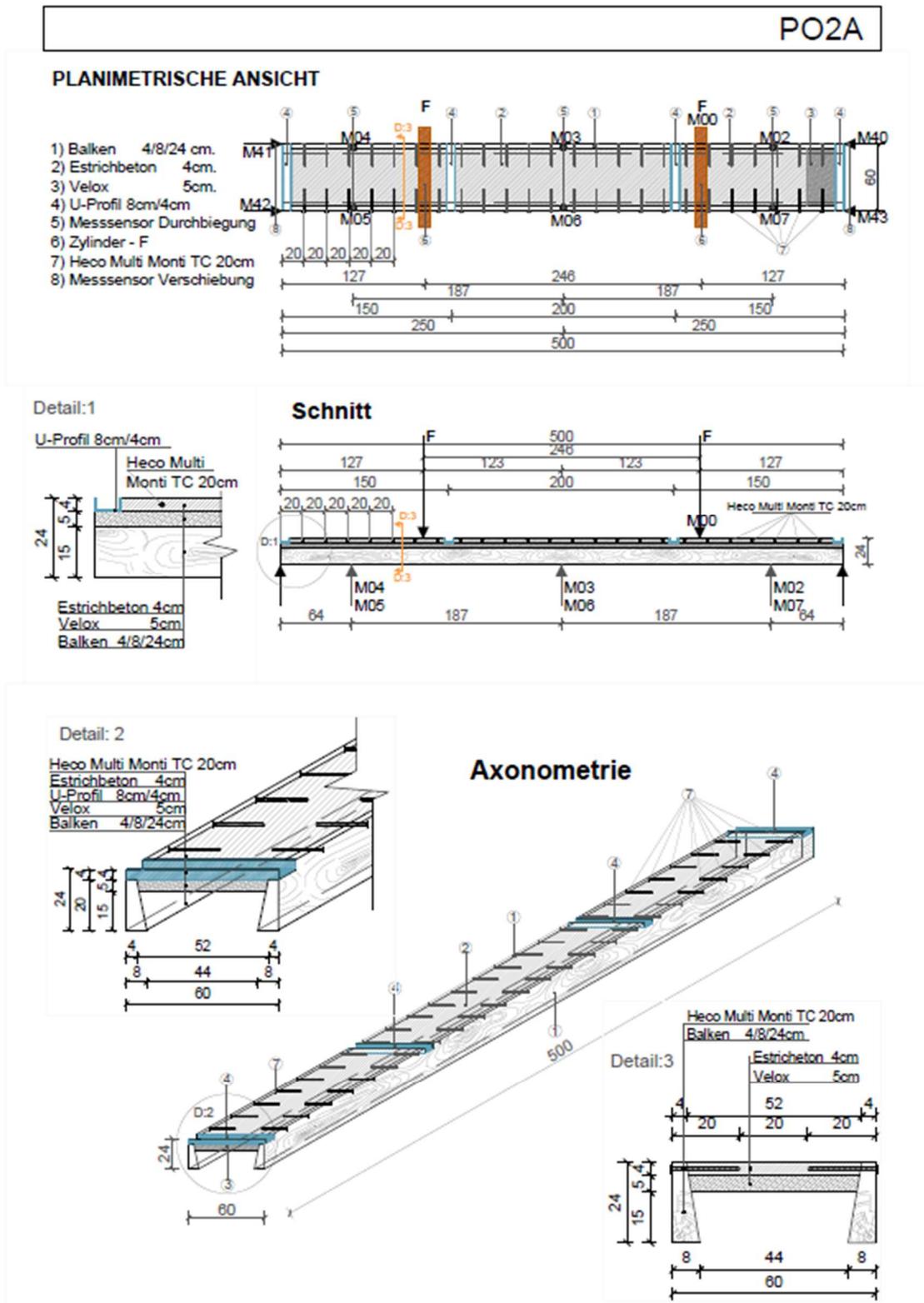


Abbildung 197: Planimetrische und axonometrische Darstellung des Bauteils PO2A/PO2B einschließlich der Bauteil-Schnitte.

Das Bauteil P02A wird entsprechend den Vorgaben (siehe Bauteil P01) belastet. Der Bruch erfolgt bei diesem Bauteil bei einer Last von 31,48 kN, die maximale Durchbiegung vor dem Bruch erreicht 9,3 cm. Dabei ist die Bruchlänge ca. 147 cm. Die maximale Verschiebung Beton zu Holz erreicht bei einer Belastung von 25 kN einen Wert von 3,5 mm. Der Bruch erfolgt 127 cm entfernt vom Zylinder F (siehe Abbildung 198) und auf eine Länge (in Längsrichtung des Balkens) von 147 cm. Im Gegensatz zu den Belastungsprüfungen an den Bauteilen P01/P01A bricht an diesem Bauteil der Beton im Bereich der seitlich eingesetzten HECO Multi-Monti MMS-TC 100/7,5 mm Schrauben.

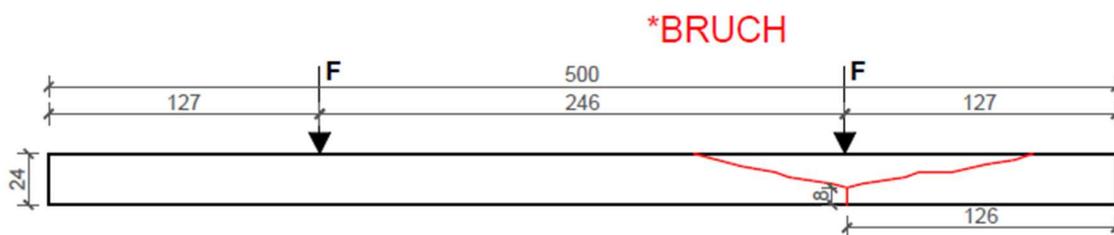


Abbildung 198: Bruch des Bauteils P02A. Der Bruch erfolgt auf eine Länge von ca. 147 cm (in Längsrichtung des Balkens)



Abbildung 199: Beginnender Bruch Am Bauteil P02A



Abbildung 200: Öffnung der Betonplatte nach Bruch zur Darstellung der Schrauben am Bauteil P02A

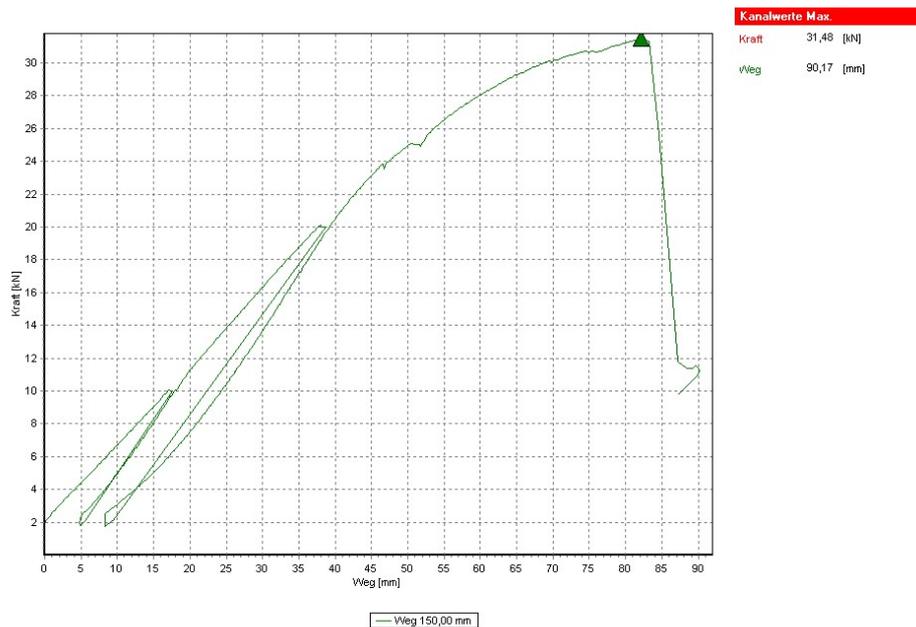


Abbildung 201: Kraft-Weg-Diagramm vom Bauträger P02A. Der Bruch tritt bei 31,48 kN ein und die Durchbiegung beträgt hier 9,02 cm.

Im Last-Verformungsdiagramm (Abbildung 201) sind die Belastungsverläufe in Form von Kurven erkennbar. Sie verlaufen bis ungefähr 24 kN relativ linear und beginnen dann zu verflachen.

Bauteil P02B

Das Bauteil P02B ist baugleich dem Bauteil P02A. Wie bei diesem, wird die Betondecke mit seitlich eingesetzten Schraube des Typs HECO Multi Monti MMS-TC (Timberconnect) Schrauben 100/7,5 mm gegen Verschiebung gesichert. Der Belastungsverlauf zeigt sehr ähnliche Werte wie beim Bauteil P02A. Der Bruch erfolgt bei einer Belastung von 36,75 kN/m ca. 130 cm vom Ende des Bauteils entfernt. Die Durchbiegung erreicht bei einer Belastung von 25 kN/m einen Maximalwert von 9,10 cm, die Verschiebung Beton zu Holz liegt zwischen 1 bis 2,9 mm. Der Bruch in Längsrichtung hat eine Länge von ca. 147 cm.

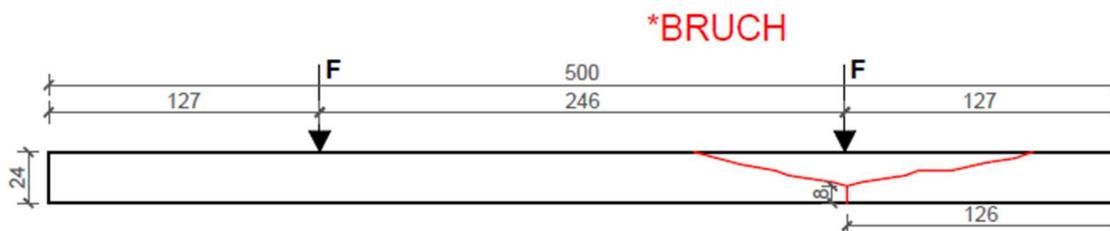


Abbildung 202: Bauteil P02B – Ähnlich wie beim Bauteil P02A erfolgt der Bruch direkt am Angriffspunkt der Last. Der Bruch selbst ist mit 178 cm (in Längsrichtung gemessen) größer als bei den anderen Bauteilen.



Abbildung 203: Bruch unter dem hydraulischen Einzelprüfzylinder. Es sind an dieser Stelle im Balken einige Äste zu sehen.

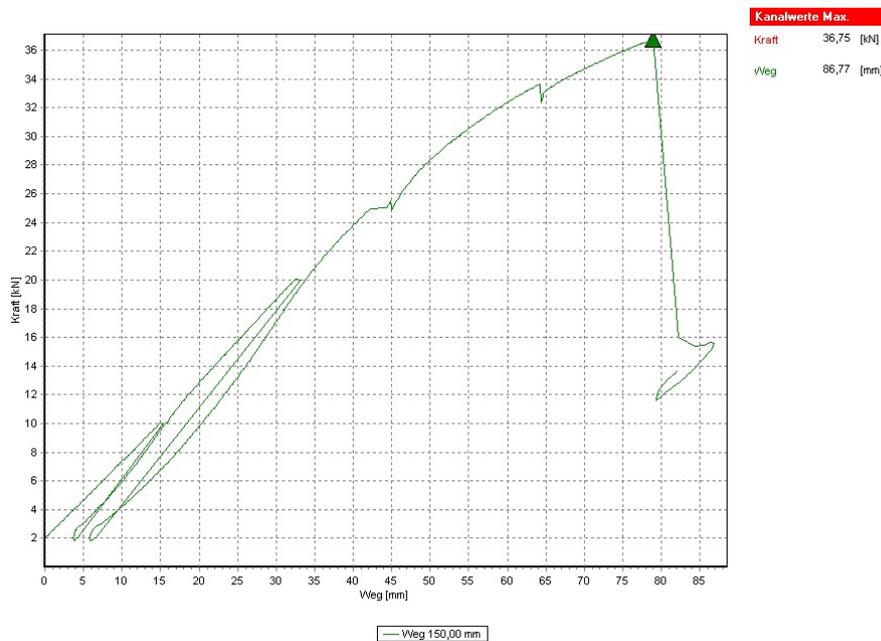


Abbildung 204: Kraft-Weg-Diagramm vom Bauteil P02B. Der Bruch tritt bei 36,75 kN ein und die Durchbiegung beträgt 8,68 cm. Auch hier ist ersichtlich, dass bis zu einer Belastung von 24 kN ein relativ linearer Verlauf in der Durchbiegung bei Erhöhung der Last zu beobachten ist

Bauteil P03A

Das Bauteil P03A wird ohne zusätzliche Verbindungen in Form von Schrauben seitlich oder in den U-Profilen hergestellt. Damit ist keine spezielle Sicherung zwischen Beton und Holzbalken in Längsrichtung gegeben, gleichzeitig aber auch kein zusätzlicher Einfluss auf den Holz-Beton-Holzleichtbeton- Verbund gegeben in Form von mechanischen Verbindungen.

5.3 Experimentelle Untersuchungen zu den entwickelten Deckenelementen

Beim standardisierten Belastungsversuch ergeben sich folgende Werte: Belastung beim Bruch 36,54 kN, maximale Durchbiegung bei 25 kN gleich 9,71 cm, maximale Verschiebung von Beton zu Holz 4mm. Der Bruch erfolgt am Balkenende, im Bereich des Auflagers unter einem Ast. Der Balken bricht dabei auf einer Länge von 155 cm (siehe Abbildung 206).

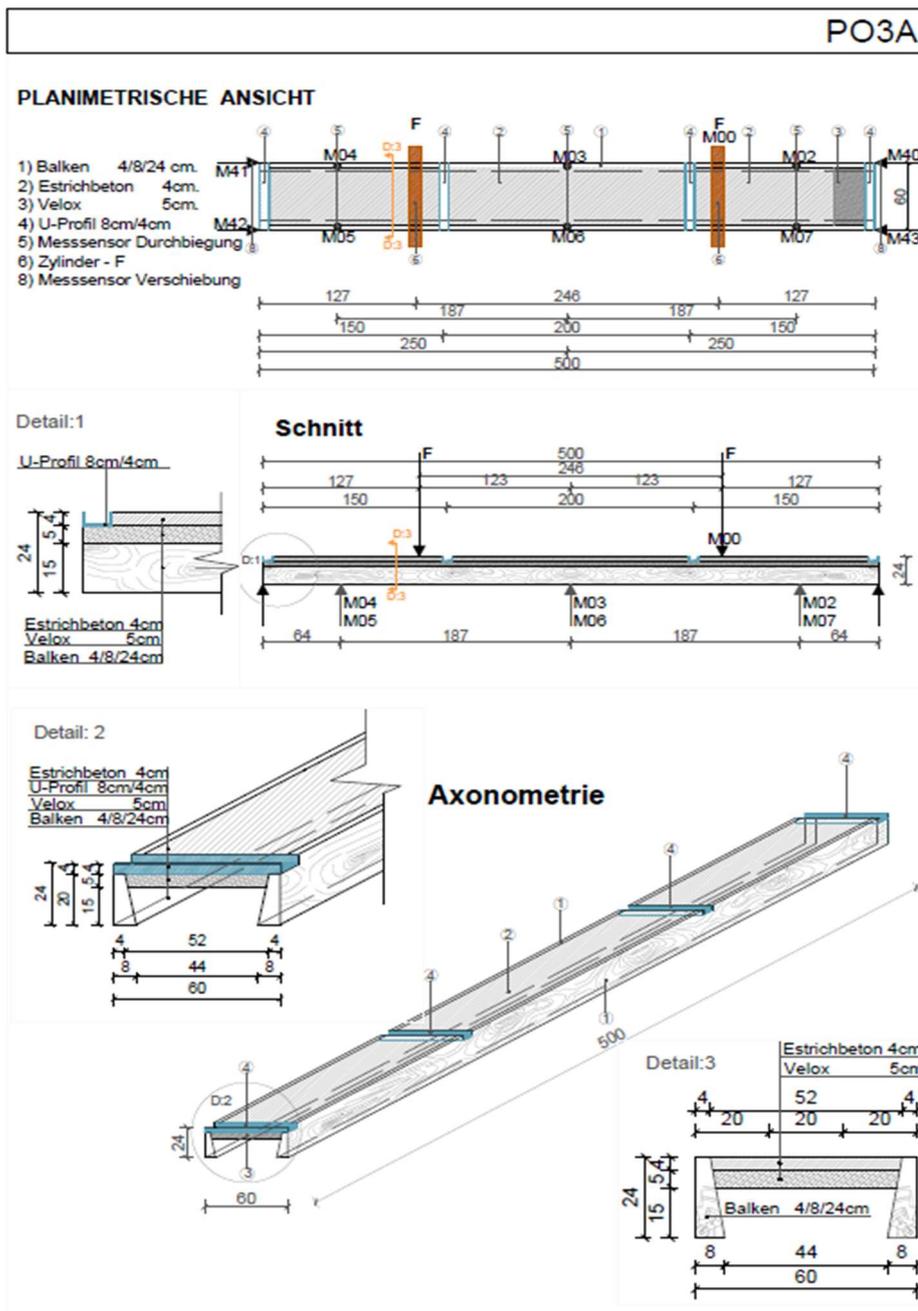


Abbildung 205: Planimetrische und axonometrische Darstellung des Bauteils P03A einschließlich der Bauteil-Schnitte.

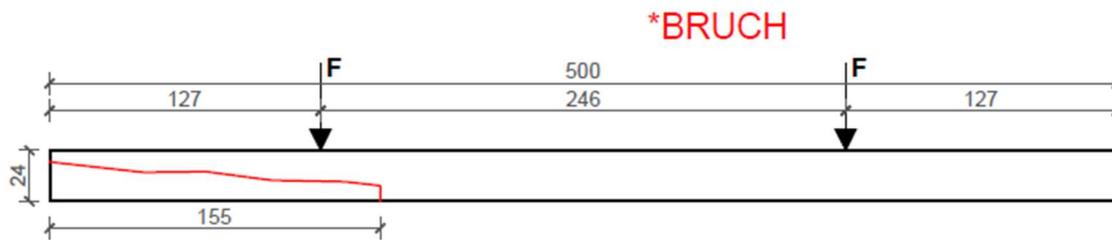


Abbildung 206: Belastungsbruch am Bauteil P03A.



Abbildung 207: Bruch des Balkens in der Nähe eines Astes



Abb.208: Verschiebung der Betonplatte nach Bruch

Das Bauteil P03A ist konsequent als Scherverbund-Konstruktion ausgelegt. Die maximale Verschiebung von Holz zu Beton mit 4mm deutet an, wie groß die Schubkräfte sind und wie die Schubbelastung dieses Bauteil prägt. Der Bruch erfolgt, weil die Verschiebung zwischen Holz und Beton am Balkenende – im Auflager - durch den eingesetzten U-Träger gestoppt wird, ähnlich dem Bruch am Bauteil P01/P01 A in der Trägermitte.

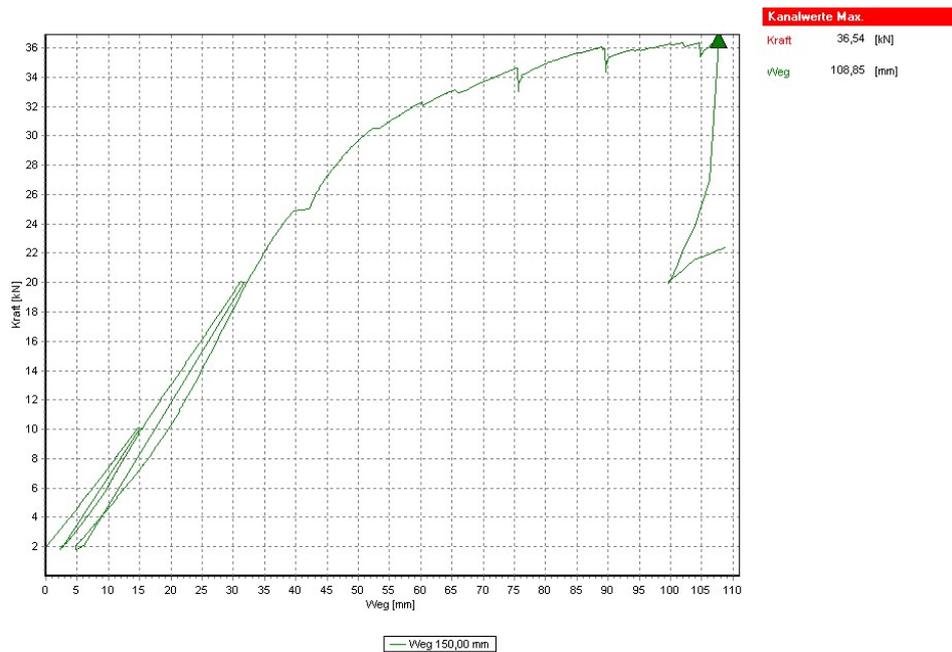


Abbildung 209: Kraft- Weg-Diagramm vom Bauteil P03B. Der Bruch tritt bei 36, 54 kN ein und die Verschiebung beträgt 10,89 cm. Ebenso auch hier ist der fast lineare Verlauf bis zu 25 kN zu beobachten und dann verläuft die Kurve treppenförmig.

Bauteil P04A

Dieses Bauteil unterscheidet sich von den anderen Bauteilen durch eine zusätzliche Holzleichtbetonplatte (Veloxplatte) aus, die in der Konstruktion eingefügt wird. Dazu wird die auch bei den bisher aufgeführten Bauteilen vorhandene Velox-Platte um 5 cm weiter nach unten versetzt und eine weitere Velox-Platte mit einer Breite von 20 cm über die ganze Bauteillänge aufgelegt. Zusätzlich sichern seitlich eingeschraubte HECO Multi Monti MMS-TC (Timberconnect) Schrauben 100/7,5 mm die Konstruktion gegen Verschiebung. Durch die Einlage der zweiten Velox-Platte ergibt sich für die Verankerung mit den Schrauben eine bessere Verbindung mit der Holzbetonschicht.

Im Belastungstest ergibt sich bei 25 kN eine maximale Durchbiegung von 10,6 cm und eine maximale Verschiebung Beton zu Holz von 3,8 mm. Der Bruch tritt bei einer Belastung durch die Kraft F von 32,6 kN ein, der Träger bricht 154 mm vom Bauteilende.

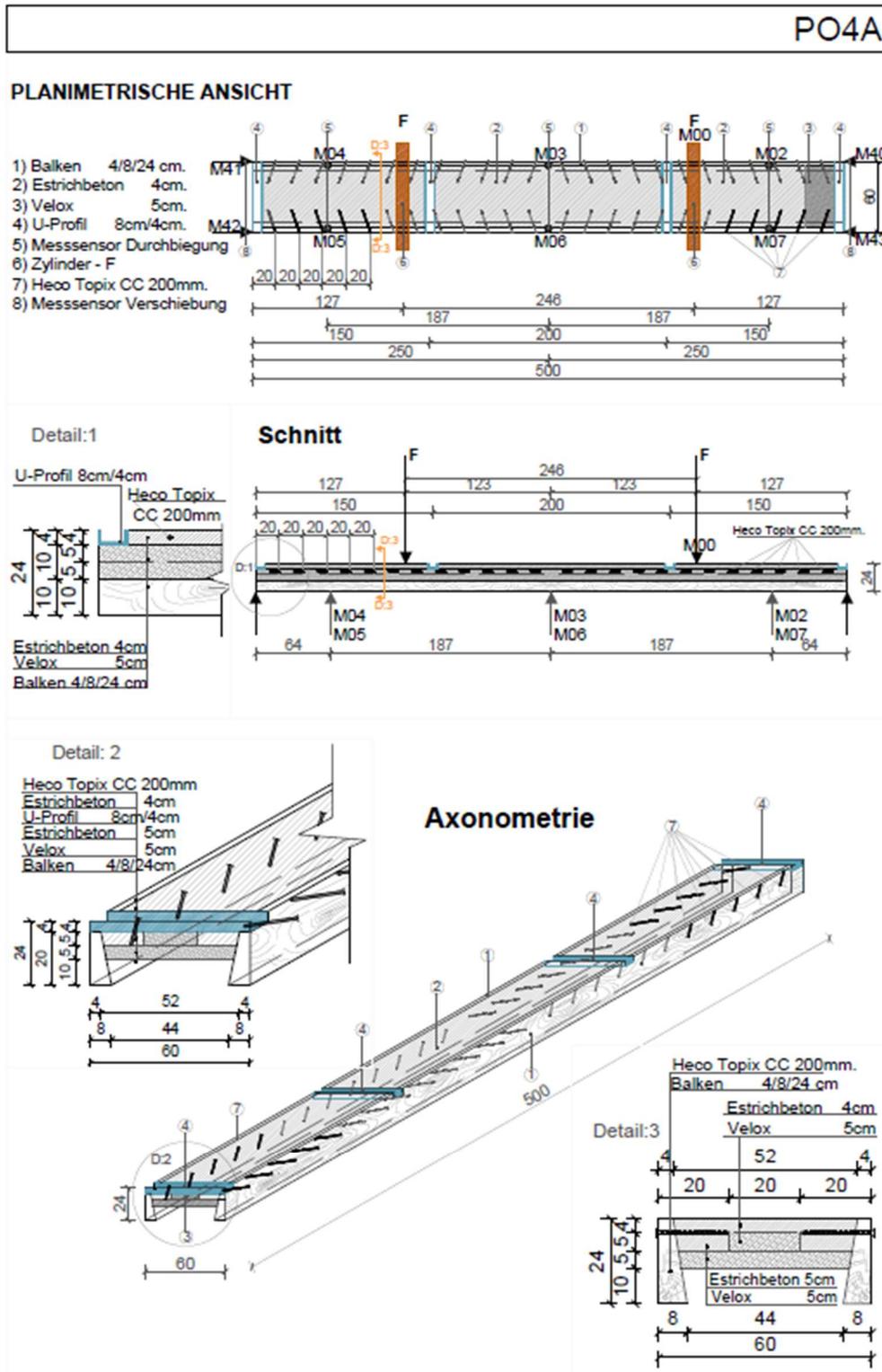


Abbildung 210: Planimetrische und axonometrische Darstellung des Bauteils P04A/P04B einschließlich der Bauteil-Schnitte.

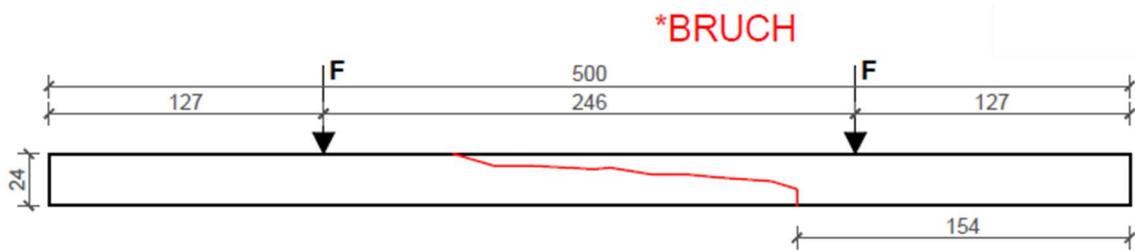


Abbildung 211: Belastungsbruch am Bauteil P04A. Die Bruchlänge (in Längsrichtung) beträgt 166 cm.



Abbildung 212: Bauteil P04A im Querschnitt vor dem Bruch. Deutlich ist zu sehen, wie die zweite VELOX-Platte den Querschnitt stabilisiert.



Abbildung 213: Bruch des Bauteils P04A 154 cm vom Bauteilende



Abbildung 214: Bruch der Holzbeton-Verbindung und der Velox-Platte (Bauteil P04A)

Das Bauteil P04A weist mit einer großen Zahl von quer zur Schubrichtung des Scherverbundes eingesetzten Holzschrauben eine Stärkung des Verbundes auf. Der bestehende Reibungsverbund zwischen Holz und Beton, welcher durch die Erhöhung der Betonschicht ebenso verstärkt wurde, führen wahrscheinlich dazu, dass diese Konstruktionsform auch zu Beginn der Belastungen (Verformungsbereich bis 20 kN beträgt 30 mm) eine erhöhte Steifigkeit aufzuweisen zu scheint.



Abbildung 215: Kraft-Weg-Diagramm vom Bauteil P04A. Der Bruch tritt bei 32,36 kN ein und die Durchbiegung beträgt 12 cm. Die Durchbiegungen sind nach den Durchgängen deutlicher zu sehen. Beim dritten Durchgang der Belastungen ist schon eine Grunddurchbiegung von 10 mm zu sehen.

Bauteil P04B

Dieses Bauteil entspricht konstruktiv dem Bauteil P04A. Auch die Verbindungen sind ähnlich gesetzt. Dennoch tritt der Bruch früher und bei geringerer Kraft auf, als bei allen anderen Bauteilen. Möglicherweise liegt dies an einer Unachtsamkeit in der Ausführung – bei dem Bauteil PB04B ist eine Aussparung zu viel für die Aufnahme eines U-Profils im Balken gesetzt.

Entsprechend sind die Werte im Belastungsverlauf: Die maximale Durchbiegung vor dem Bruch erreichte 7,8 cm, die maximale Verschiebung bei 25 kN wird mit 5 cm gemessen. Der Bruch erfolgt bei einer Kraft F (Sensor M00) von 24,99 kN (siehe Abbildung 216).

Bei keinem anderen Bauteil war die maximale Verschiebung größer, kein anderes Bauteil brach bei einer derart niedrigen Gesamtbelastung. Möglicherweise kommen noch Abschlüge beim E-Modul des Holzbalkens hinzu, bzw. Holzgefüge-Fehlstellen.

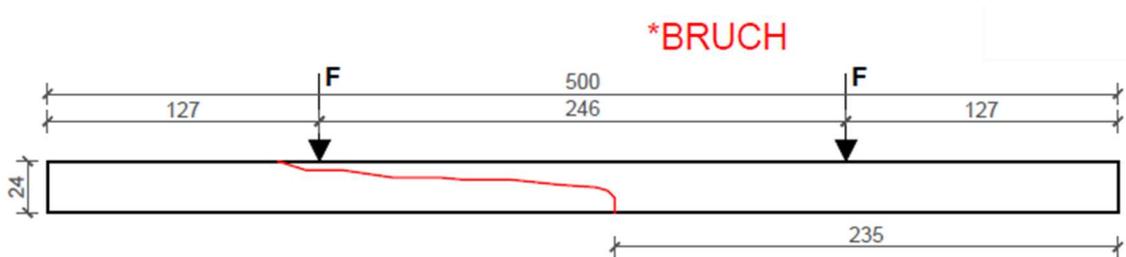


Abbildung 216: Bruch des Bauteils P04B.

In den Abbildungen 217 und 218 sind der Totalbruch des Elements zu sehen:



Abbildung 217: Bruch des Bauteils P04B



Abbildung 218: Bruch der Betonplatte an beiden Belastungspunkten beim Bauteil P04B

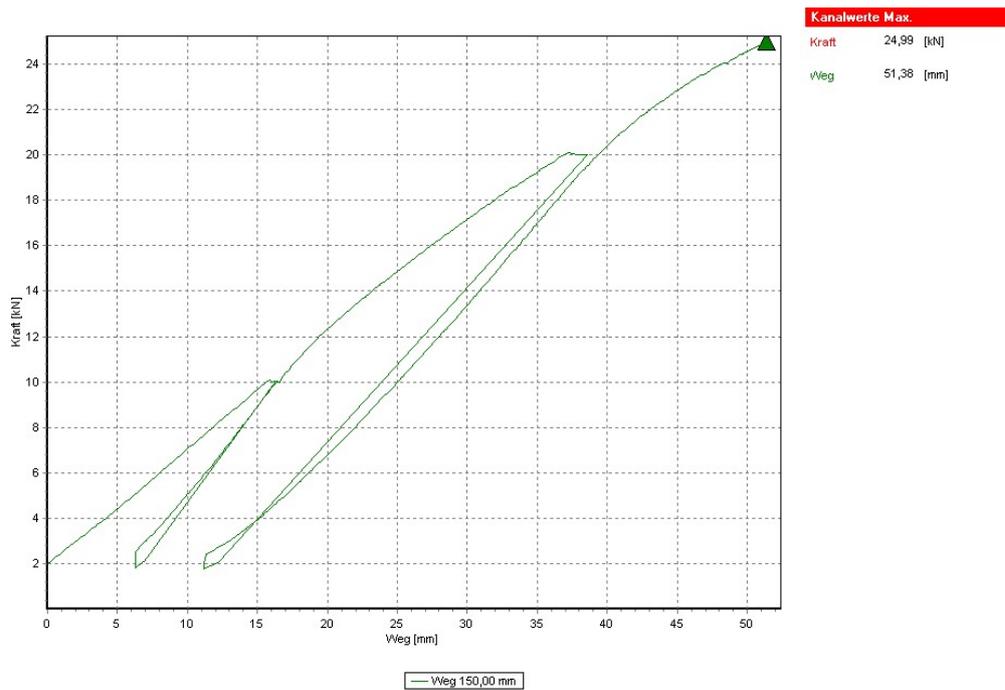


Abbildung 219: Kraft-Weg-Diagramm vom Bauteil P04B. Der Bruch tritt bei 24,99 kN ein und die Durchbiegung beträgt 5,14 cm. Die Belastungskurven sind im Vergleich zu den anderen Bauteilen deutlich flacher.

5.4 Ergebnisse und Auswertung

Im Gegensatz zu ‚starrten‘ Verbundtragwerken, wie z.B. Stahl-Beton-Verbundtragwerken, verschieben sich die Teile von ‚elastischen‘ Verbundtragwerken zueinander, woraus Kräfte entstehen, die bei der Auslegung und Bemessung solcher Bauwerke nicht außer Acht gelassen werden können.

Die Bemessung elastischer Verbundtragwerke ist deshalb wesentlich komplexer als die von monolithischen oder starren Verbundtragwerken. Dabei ist das Verbundträgheitsmoment nicht nur von den Querschnitten abhängig, sondern auch von der Spannweite – und es ändert sich über die Spannweite, auch wenn die Querschnittsgeometrie konstant bleibt.

Auffallend bei Holz-Beton-Verbundtragwerken ist, dass die Druckspannungen im Beton nur halb so hoch sind wie die Zugspannungen in den Holzträgern. Die Zugspannungen im Beton sind nur minimal, deshalb kann der Beton ohne Abschläge in die Berechnungen eingesetzt werden.

In der Mitte des Tragwerks werden viel weniger Verbundelemente benötigt als in den Auflagern. Eine sehr verbreitete Praxis ist es, in den beiden mittleren Vierteln der

Spannweite nur halb so viele Verbinder anzuordnen. Die bestehenden Normen und die gültigen Zulassungen berücksichtigen eine derartige Reduktion. Dabei gilt die Vorgabe, dass die Verringerung der Verbinder der Querlast des Tragwerks folgen muss.

Auch wenn durch die Verminderung der Verbindungen die Abweichungen zu den tatsächlichen Last-Verhältnissen immer größer werden, bleibt eine Bemessung mit der Gamma-Methode im tolerierbaren Bereich.

Das Bemessungsverfahren für nachgiebigen Verbund – das Gamma-Verfahren nach DIN 1051/EC 5, Anhang B – geht dabei auf die von Möhler aufgestellten theoretischen Grundlagen zurück {Möhler 1947 und 1956}. Grundsätzlich gehen bei diesem Berechnungsverfahren das Verschiebemodul (Holzbalken) und der mittlere Abstand der Verbindungsmittel (Beton, Holzschrauben) untereinander in einen γ -Faktor ein. Bei der Berechnung des Flächenträgheitsmoments mindert der γ -Faktor das effektive Trägheitsmoment $e_f I$, das damit kleiner ist als das Trägheitsmoment für den Gesamtquerschnitt. Über den γ -Faktor wird die Nachgiebigkeit der Verbindung zwischen den einzelnen Querschnittsteilen berücksichtigt. Obwohl die Bemessung nach dem Gamma-Verfahren nur einen Näherungswert zu den realen Werten ergibt, kann mit dieser vereinfachten Methode der Nachweis der Tragfähigkeit erbracht werden. Die Gamma-Methode vereinfacht somit die Bemessung von HBV-Konstruktionen.

Als Alternative zu dem Gamma-Verfahren bietet sich eine Berechnung über die Differenzenmethode oder die Berechnung nach einem Stabwerksprogramm auf Basis der Finiten Elemente Methode an, was aber außer in schwierigen Grenzfällen als zu aufwändig gilt.

Die rechnerische Bemessung von HBV-Tragwerksteilen oder ganzen Tragwerken ist unter anderem aufgrund folgender Einflussfaktoren komplex:

- Verwendete Materialien, z. B. Qualität und Trocknungszustand der Hölzer, Eigenschaften des Holzbetons/Leichtbetons.
- Verarbeitungsqualität der Verbundelemente.
- Einbringung der Verschiebeanker.
- Abbindezeit des Betons.

Dazu kommen Faktoren, die durch die Realität bestimmt werden, rechnerisch jedoch nur schwer zu erfassen sind. Beispielsweise ändern sich die Belastungsverhältnisse in der Realität, wenn benachbarte Tragwerkselemente Lasten aufnehmen.

Rechnerisch sind derartige Einflüsse nur schwer oder gar nicht zu kalkulieren.

Mit der Zeit haben sich deshalb Erfahrungswerte aus der Praxis etabliert, die bei modernen HBV-Konstruktionen zur Wirkung kommen.

Vergleiche über die wirksame Biegesteifigkeit

Die Bemessung von HBV-Deckenelementen mit Hilfe der Gamma-Methode ist für einfache Bauteile, wie sie im vorliegenden Fall vorkommen, zu aufwändig. Eine noch einfachere Methode ist es, die Biegesteifigkeit einzelner Bauelemente oder die Gesamt-Biegesteifigkeit eines Verbundtragwerkes über das Äquivalent einer Konstruktion „ohne Verbund“ oder als „starrer Verbund“ zu berechnen. Dieser Weg ersetzt die Bemessung mit der Gamma-Methode – aber nur bei einfachen Bauteilen. Im Grunde wird dabei die „wirksame Biegesteifigkeit“ eines Holz-Beton-Verbundtragwerkes oder -Bauteils so berechnet, als würde es sich um ein Betonelement oder eine Stahlbeton-Konstruktion handeln. Berechnet werden diese theoretischen Ersatzvarianten nach den Vorgaben der ÖNORM B 1995-1-1 und Eurocode EC5.

Im vorliegenden Fall erfolgt für die Bauteile der Versuchsreihe keine rechnerische Bemessung nach EC5. Stattdessen werden die Diagramme der Vergleichskonstruktionen (ohne Verbund und starrer Verbund) als Stahlbetonkonstruktion benutzt, um die wirksame Biegesteifigkeit der HBV-Konstruktionen zu bestimmen.

Die Bemessung mit Hilfe der Diagramme zur „Wirksamen Biegesteifigkeit“ ist dann sehr leicht und erfordert für einfache Bauteile wie die HBV-Deckenträger der experimentellen Untersuchung keine gesonderten Berechnungen. Das Diagramm zeigt, wieviel Prozent der rechnerisch ermittelten Biegesteifigkeit das Bauteil aufweist.

Liegt die Kennlinie für das Bauteil beispielsweise mittig zwischen den Kennlinien für „starrer Verbund“ (grüne Linie) und „Null-Verbund“ (rote Linie), würde dies bedeuten, dass die „Wirksame Biegesteifigkeit“ 50 Prozent des Idealfalles (starrer Verbund) erreicht. Der Wert wird in $\text{kN} \cdot \text{cm}^2$ angegeben.

Theoretische und getestete Biegesteifigkeit der einzelnen Bauteile

Es werden die Kurzzeitdurchbiegungskurven der einzelnen Bauträger (P01 bis P04B) vom dritten Belastungsdurchgang im Versuch herangezogen und durch folgende Adaptierungsmaßnahmen, wurden diese zum Nullpunkt im Diagramm verschoben. Dies geschah, damit die Biegesteifigkeitskurve von den Bauträgern mit Diagrammen der theoretisch errechneten Biegesteifigkeiten für beide Grundformen verglichen werden konnte.

Nach zwei Prüfvorgängen, in welchen die Bauteile belastet wurden, war bei diesen schon eine Durchbiegung von mehreren Millimetern vorhanden und somit kein Nullpunkt im realen Sinne vorhanden war, wurde diese Grunddurchbiegung in mm von den nachfolgenden Durchbiegungswerten abgezogen und die Biegesteifigkeitskurve wird versetzt beim Nullpunkt angesetzt.

Zuvor wurden ebenfalls im Sinne des Nullpunktes die Kurzzeitdurchbiegungskurven um 2 kN reduziert, da nach jedem Belastungsverlauf die Zylinder immer bei 2kN Grundbelastung stehenblieben und sich somit die Bauteile konstant in einer Durchbiegung befanden. Dies erklärt, warum die Belastungskurve der Bauteile bis maximal 23 kN in den Diagrammen ersichtlich ist, obwohl in den Testungen die Belastungen bis 25 kN gewesen sind.

Diese Adaptierungsmaßnahmen, damit die Belastungskurven im Diagramm beim Nullpunkt beginnen, wurden für sämtliche Diagramme (Abbildungen bis) angewandt.

Es wurden für die Biegesteifigkeitsvergleiche die Durchbiegungswerte der beiden Sensoren M03 und M06 verwendet, da sich diese an den Punkten der Bauteile befanden, wo die höchste Durchbiegung stattgefunden hat. In den folgenden Diagrammen werden die gemessenen und theoretischen Biegesteifigkeiten mit den Größen für maximal zulässige Durchbiegungen $l/300$ und $l/500$ als Begrenzungen dargestellt. An den entsprechenden Punkten, wo die Belastungskurven des starren Verbundes die Begrenzungslinien von $l/300$ und $l/500$ kreuzen, wurde der Wert 100 % bestimmt.

Bei den Kreuzungen vom linearen Verlauf des Nullverbundes mit den Begrenzungswerten $l/300$ und $l/500$ ist die 0% Markierung.

Damit wird die Differenzierung von der Biegesteifigkeit der Bauträger zum starren Verbund und zum Nullverbund in Prozent möglich.

Theoretische Ermittlung der Biegesteifigkeiten durch Berechnungen

Wie zuvor erläutert, werden zunächst theoretische Biegesteifigkeitsverläufe für die Grundformen P01A bis P03A und P04A und P04B errechnet und dann in Diagrammen als Vergleichsmöglichkeit für die getesteten Biegesteifigkeiten der Träger dargestellt. In Tabelle 18 werden die Querschnittseigenschaften und Biegesteifigkeiten für folgende Grundform dargestellt:

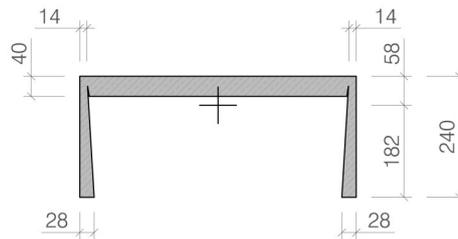
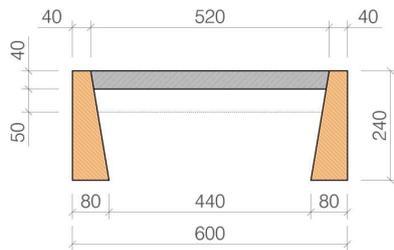


Abbildung 220: Grundform 1 (P01A bis P03A) transformiert

Abbildung 221: Grundform 1 in Stahlbeton transformiert

Option A	Concrete (C25/30)	Timber (C24)	Total
γ (kp/m ³)	2.500	420	
A (cm ²)	205	288	
Dead load (kp/m)	51,25	12,10	63,35
%	81	19	
E (kN/cm ²)	3.100	1.100	
I (cm ⁴)	274	13.312	
No composite action			
E · I (kN · cm ²)	849.400	14.643.200	15.492.600
%	5	95	
Perfect composite action			
			(+275%)
I (cm ⁴)			13.764
E · I (kN · cm ²)			42.668.400

Tabelle 18: Berechnung von Biegesteifigkeiten mit theoretischen Werten für Nullverbund und starrem Verbund für die Grundform 1.

5.4 Ergebnisse und Auswertungen

Die Biegesteifigkeit wurde laut Abbildung für beide Grundformen der Bauträger theoretisch ermittelt mit den Kennwerten laut Tabelle 18 und 19. Die Biegesteifigkeit bei linear-elastischem Material E.I, bestehend aus Elastizitätsmodul des Baustoffs und Trägheitsmoment des Querschnittes ist ein annähernd beim HBV-Verbund belastungsunabhängiger konstanter Wert.

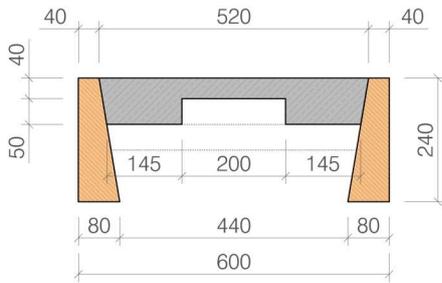


Abbildung 222: Grundform 2 (P04A und P04B)

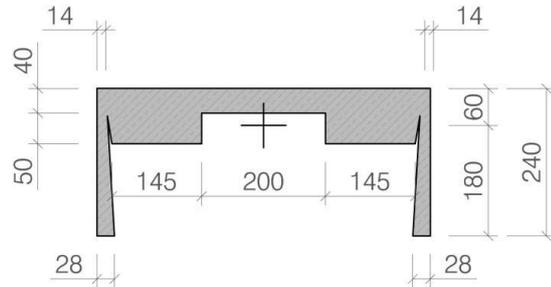


Abbildung 223: Grundform 2 in Stahlbeton umgerechnet

Option B	Concrete (C25/30)	Timber (C24)	Total
γ (kp/m ³)	2.500	420	
A (cm ²)	355	288	
Dead load (kp/m)	88,75	12,10	100,85
%	88	12	
E (kN/cm ²)	3.100	1.100	
I (cm ⁴)	2.323	13.312	
No composite action			
E · I (kN · cm ²)	7.201.300	14.643.200	21.844.500
%	33	67	
Perfect composite action			
			(+200%)
I (cm ⁴)			14.090
E · I (kN · cm ²)			43.679.000

Tabelle 19: Berechnung von Biegesteifigkeiten mit theoretischen Werten für Nullverbund und starrem Verbund für die Grundform 2.

In den Vergleichsdiagrammen werden diese als lineare Verläufe dargestellt (Abbildung 224):

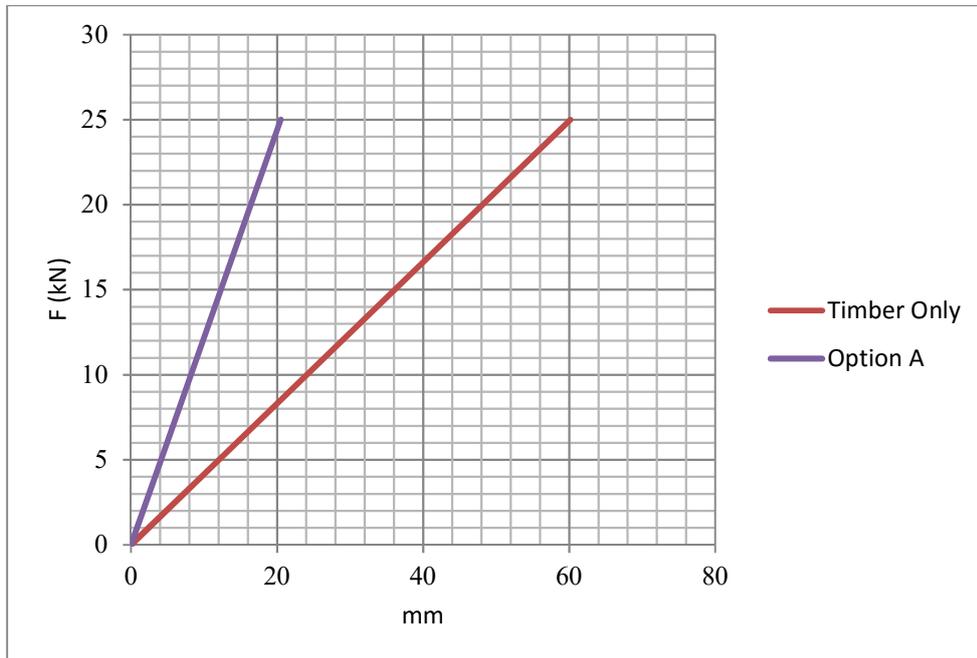


Abbildung 224: Biegesteifigkeit vom Nullverbund (Timber only) und starrem Verbund (Option A) im Kraft-Verschiebungsdiagramm mit den errechneten Biegesteifigkeiten laut Abbildung/Tabelle.

Dieses Vergleichsdiagramm wird nachfolgend in Kapitel 5.4.1. als Vergleich für die bei den Untersuchungen gemessenen Biegesteifigkeiten der einzelnen Deckenelemente herangezogen. Zusätzlich werden noch zwei Gebrauchstauglichkeitsbegrenzungen eingefügt ($l/300$ und $l/500$).

5.4.1 Vergleiche der Biegesteifigkeiten

Es werden hier die gemessenen Biegesteifigkeiten der einzelnen Bauträger mit den ermittelten theoretischen Werten für Nullverbund und starrem Verbund in Diagrammform verglichen. In Abbildung 225 wird die Position der Messmittel M03 und M06, welche die Durchbiegung in der Trägermitte gemessen haben, dargestellt. Das Mittel der beiden Messwerte wurde für die Biegesteifigkeitslinie des Trägers verwendet.



Abbildung 225: Position der Messmittel M03 und M06 (zur Messung der Durchbiegung) am Bauträger

Bauteil P01

Dieses Bauteil ist die Grundform der untersuchten HBV-Deckenelemente. Die Besonderheit an dieser Konstruktion ist die Reduzierung der Schubverbinder auf ein absolutes Minimum. Die Schubkräfte werden hauptsächlich über die acht schräg eingeschraubten Holzschrauben in den U-Profilen aufgenommen.

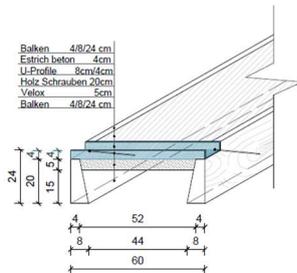


Abbildung 226: Querschnitt vom Bauträger P01

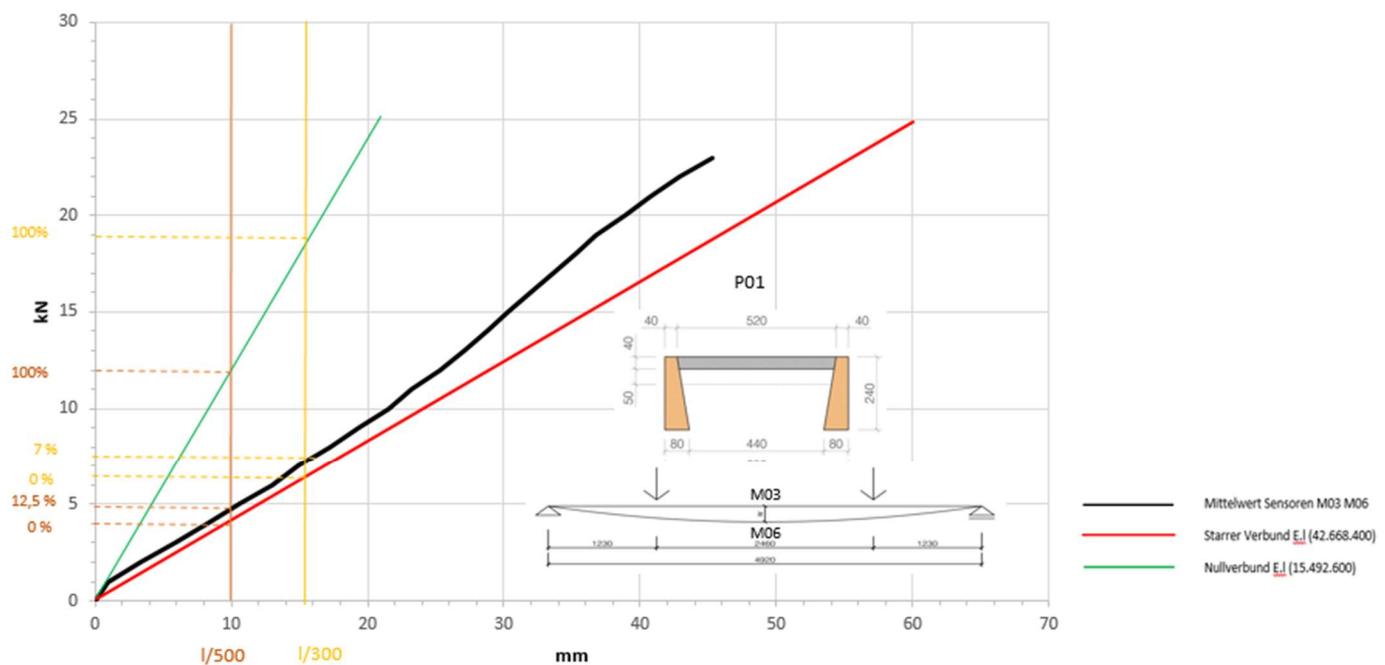


Abbildung 227: Biegebelastung Bauteil P01 im Vergleich zu den Biegesteifigkeiten von starrem Verbund und Nullverbund (Balken).

Das Bauteil erreicht in der Ausführung $L = 500$ um 12,5 % eine höhere Biegesteifigkeit als der Nullverbund, in der Ausführung $L = 300$ würde es 7% des Idealwertes erreichen – was tatsächlich aber eine höhere wirksame Biegefestigkeit gegenüber dem längeren Träger wäre.

Bauteil P01A

Das Bauteil P01A ist exakt gleich dem Bauteil P01, weist aber deutlich andere Kennlinien auf. Entsprechend bricht das Bauteil P01A bei dem niedrigeren Wert von 36 kN/m. Die Ursache für das Versagen liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit in den unterschiedlichen Biegefestigkeiten der Holzbalken (z. B. durch ein Astloch).

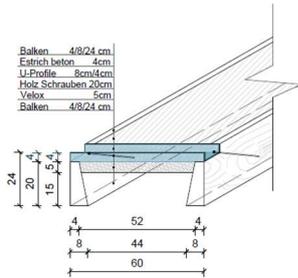


Abbildung 228: Querschnitt vom Bauträger P01A

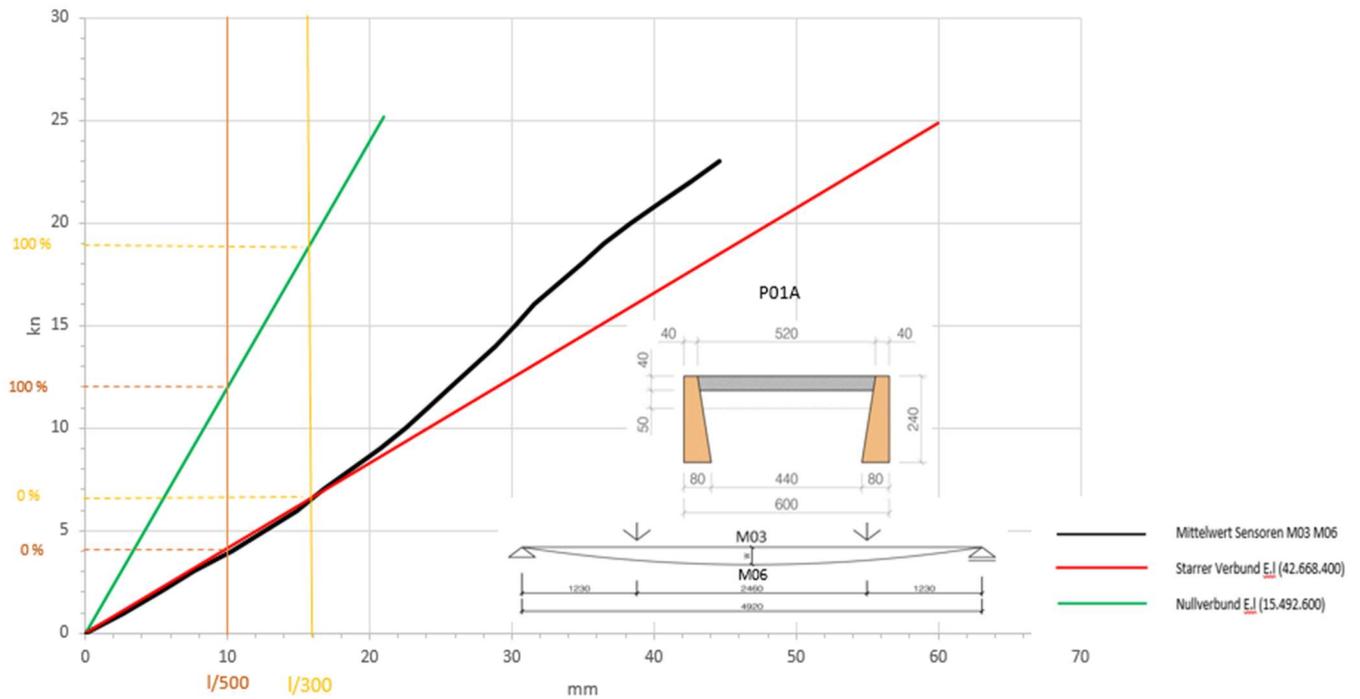


Abbildung 229: Biegebelastung am Bauteil P01A im Vergleich zu den Biegesteifigkeiten von starrem Verbund und Nullverbund (Balken).

5.4 Ergebnisse und Auswertungen

Die Biegesteifigkeit des Bauträgers P02A ist bis zur Belastung von 10 kN sogar geringer als die errechneten Biegesteifigkeiten der Balken oder des Nullverbundes. Dies könnte mit einem geringeren E-Modul des Holzes der Bauträger erklärt werden.

Bauteil P02B

Dieses Bauteil entspricht in seinem Aufbau dem Bauteil P02A und es zeigt ein sehr ähnliches Ergebnis hinsichtlich der wirksamen Biegefestigkeit.

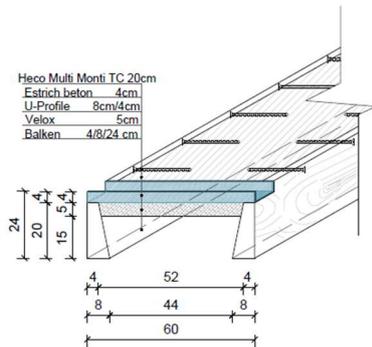


Abbildung 232: Querschnitt vom Bauträger P02B

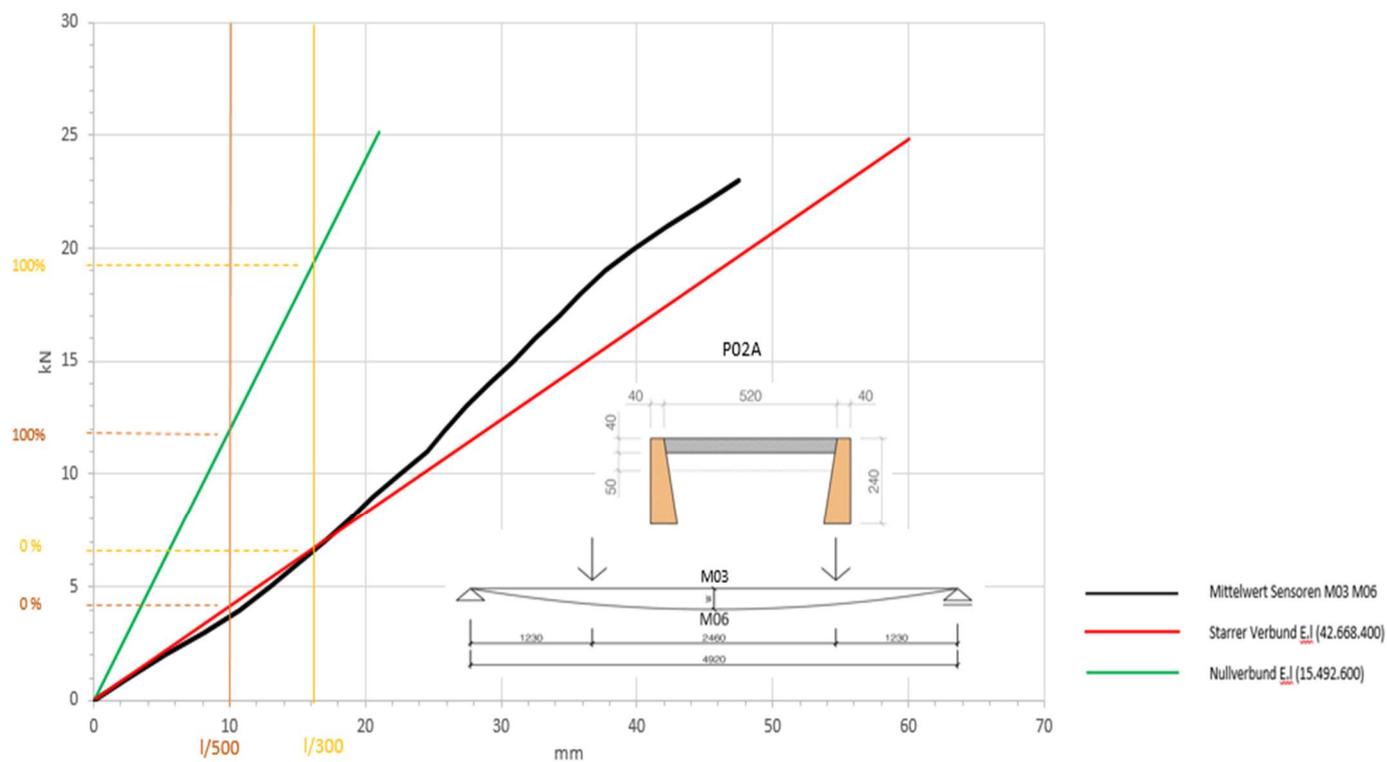


Abbildung 233: Biegebelastung am Bauteil P02B im Vergleich zu den Biegesteifigkeiten von starrem Verbund und Nullverbund (Balken).

Bauteil P03A

Das Bauteil P03A ist der Grundform P01 entsprechend ohne zusätzliche Sicherungen gegen die Verschiebung Holz/Beton ausgeführt. Überraschend ist der Versagensbruch im Bereich eines Auflagers. Dies lässt den Schluss zu, dass der Balken nicht über die volle Tragfähigkeit verfügte.

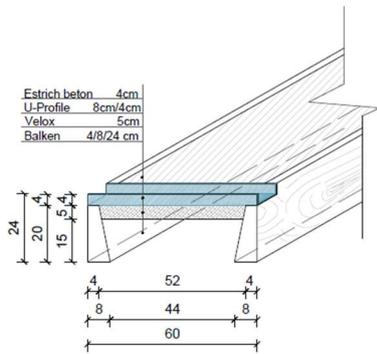


Abbildung 234: Querschnitt vom Bauträger P03A

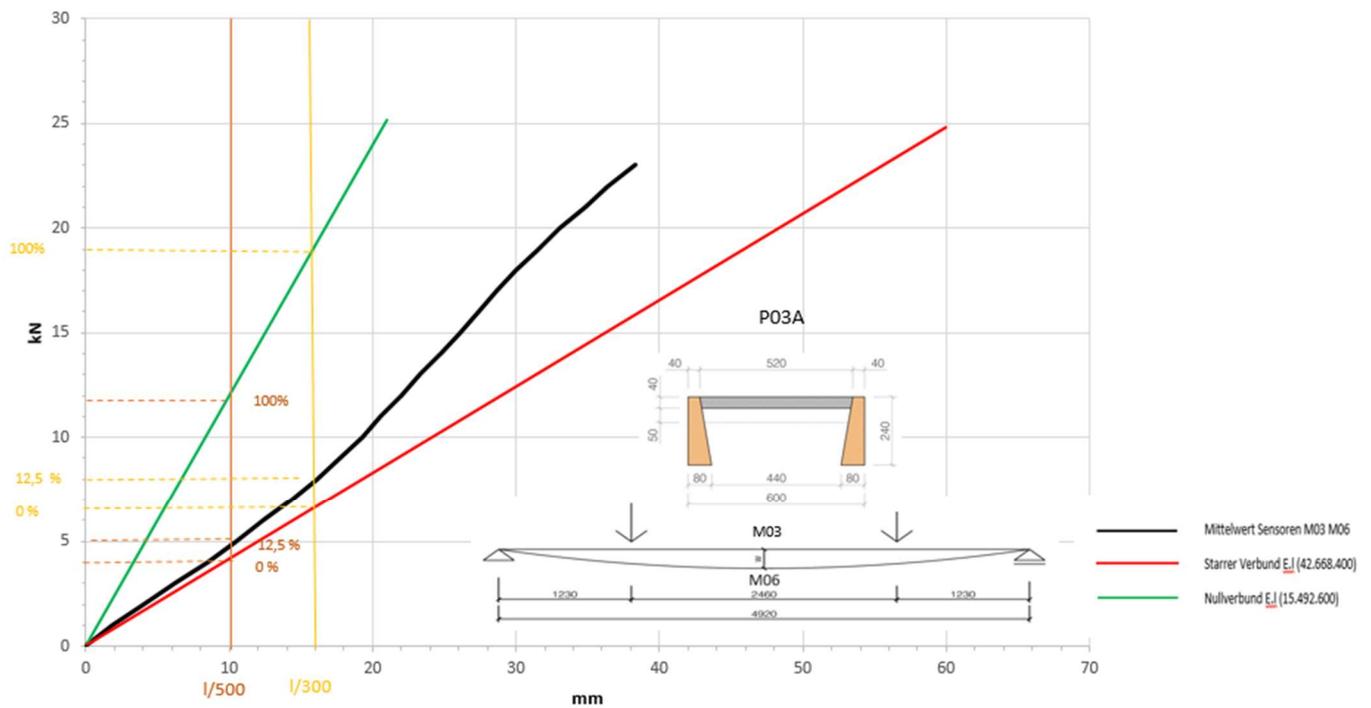


Abbildung 235: Biegebelastung am Bauteil P03A im Vergleich zu den Biegesteifigkeiten von starrem Verbund und Nullverbund (Balken).

Bauteil P04A

Dieses Bauteil ist mit einer zweiten Holzbeton-Platte (VELOX) ausgestattet, die vorwiegend die Verbindung zwischen Holzträgern und Holzbeton verbessern soll, durch Reduktion der Verschiebung. Auch dieses Bauteil wird mit Schrauben als Schubverbindern gesichert, ähnlich der Verbindungen beim Bauteil P02A. Die zusätzliche VELOX-Platte verringert die Verschiebung zwischen Holzbalken und Holzbeton. Im Vergleich der Biegefestigkeiten zeigt sich, dass sich zusätzliche Bauelemente, wie dickere Betonschicht, zusätzliche Holzleichtbetonplatte, multiple Schubverbinder (seitlich eingeschraubte Holzschrauben) in einer erhöhten Biegesteifigkeit Ausdruck findet.

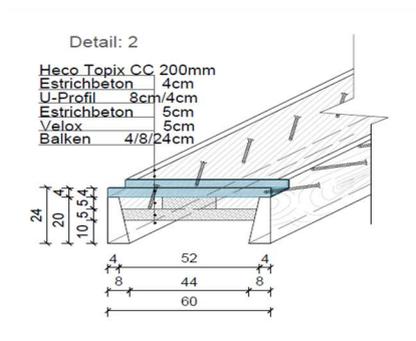


Abbildung 236 : Querschnitt vom Bauträger P04A

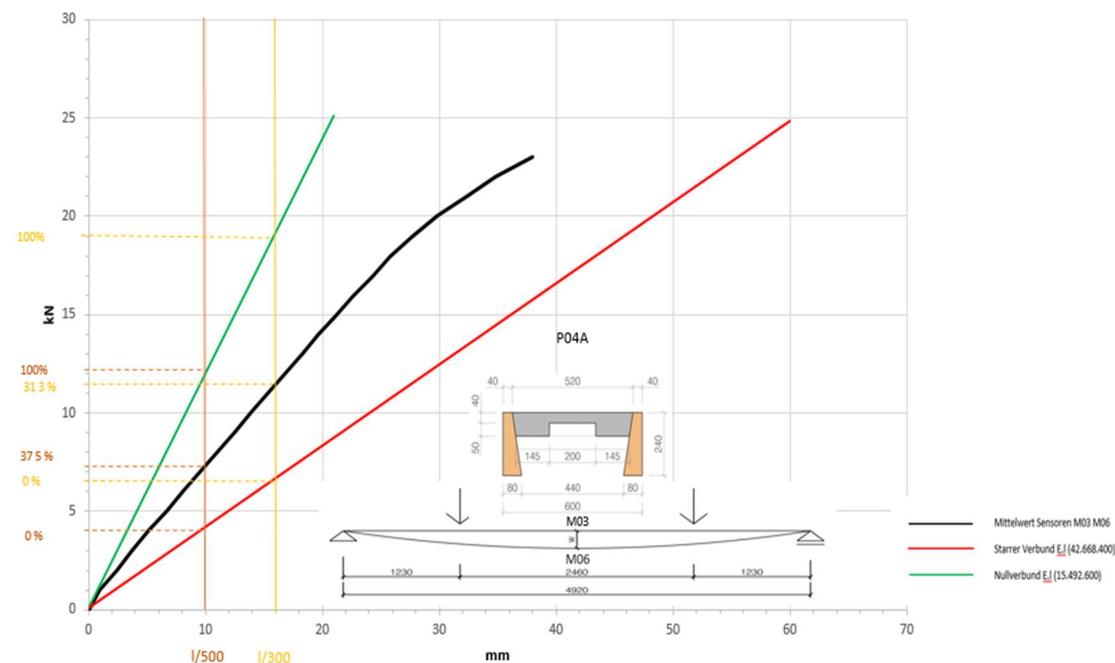


Abbildung 237: Biegebelastung am Bauteil P04A im Vergleich zu den Biegesteifigkeiten von starrem Verbund und Nullverbund (Balken).

Dieses Bauteil zeigt die höchste Biegesteifigkeit von allen getesteten Bauträgern. Sie ist bei der Begrenzung $l/300$ mit 31,3 % besser als der Nullverbund und bei der Begrenzung $l/500$ mit 37,5 % besser als der Nullverbund bei der Biegesteifigkeit.

Bauteil P04B

Dieses Bauteil entspricht in allen Details dem Bauteil P04A. Hier ist offenbar ein Balken stärker von Ästen durchzogen gewesen, da hier auch der Bruch früher eingetreten ist. Dennoch zeigt es nach dem Bauteil P04A eine gute Biegesteifigkeit auf, wenn auch nur zu einem Drittel ungefähr, wie von der getesteten Biegesteifigkeit von P04A.

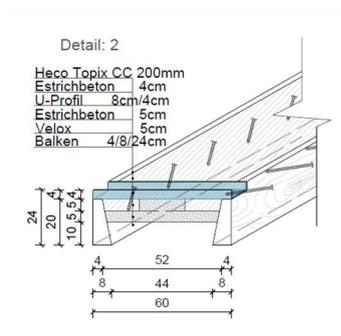


Abbildung 238: Querschnitt vom Bauträger P04B

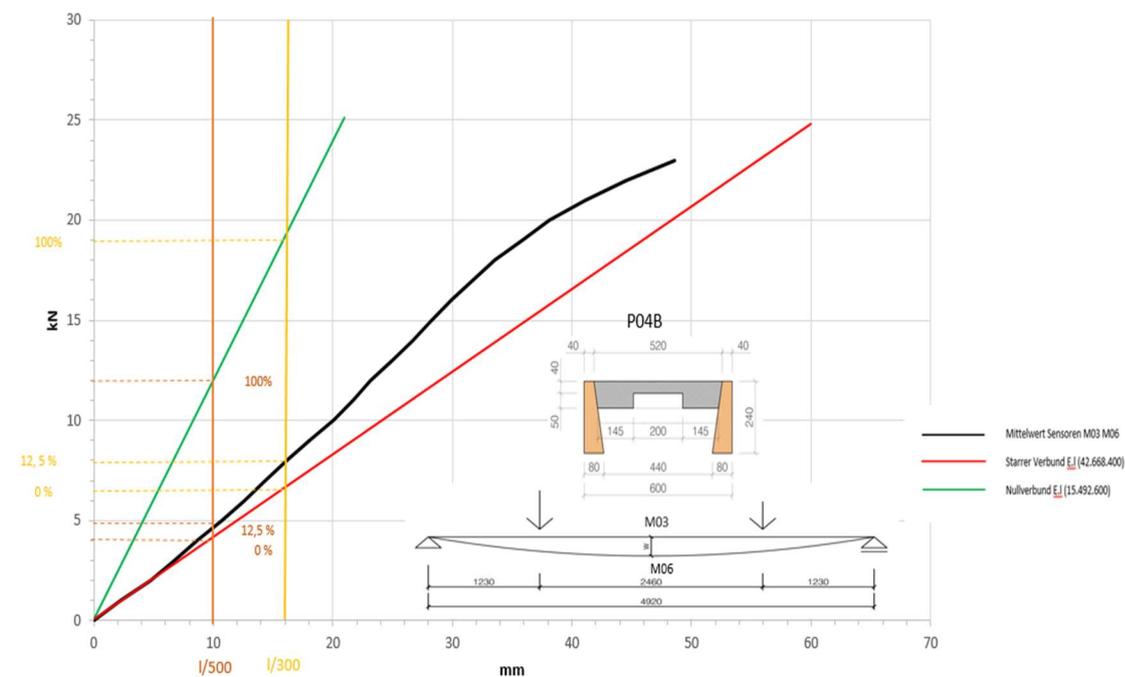


Abbildung 239: Biegebelastung am Bauteil P04B im Vergleich zu den Biegesteifigkeiten von starrem Verbund und Nullverbund (Balken).

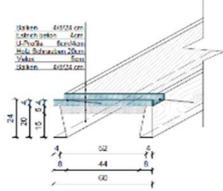
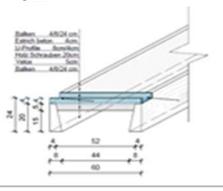
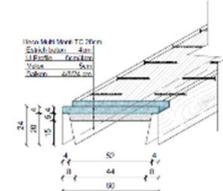
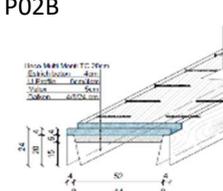
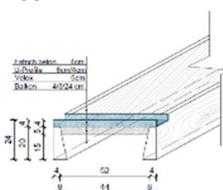
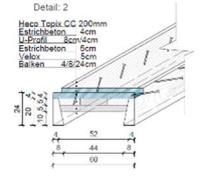
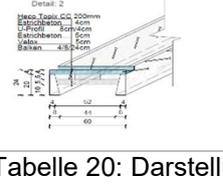
Verbundträger	Konstruktionsmerkmale	kN bei TB	KZDBmm bei TB	Kurzzeitdurchbiegung l/300 (16 mm) bei kN		Kurzzeitdurchbiegung l/500 (10 mm) bei kN	
				M03 NV 6,5 SV 19 HBV 7,5	M06 NV 6,5 SV 19 HBV 7,5	M03 NV 4 SV 12 HBV 5	M06 NV 4 SV 12 HBV 5
	20 cm schräge Schrauben 6,5 mm seitlich in die U-Profile eingeschraubt im Winkel 45 °	41,28	105,1	M03 NV 6,5 SV 19 HBV 7,5	M06 NV 6,5 SV 19 HBV 7,5	M03 NV 4 SV 12 HBV 5	M06 NV 4 SV 12 HBV 5
	20 cm schräge Schrauben 6,5 mm seitlich in die U-Profile eingeschraubt im Winkel 45 °	39,66	84,31	M03 NV 6,5 SV 19 HBV 6,5	M06 NV 6,5 SV 19 HBV 6,5	M03 NV 4 SV 12 HBV 4	M06 NV 4 SV 12 HBV 4
	Seitlich im Balken nach Betonierung je 20 cm Multi-Monti Timber Connect MMS – TC 100/7,5 Stahl befestigt	31,48	90,17	M03 NV 6,5 SV 19 HBV 6,5	M06 NV 6,5 SV 19 HBV 6	M03 NV 4 SV 12 HBV 3	M06 NV 4 SV 12 HBV 3
	Seitlich im Balken nach Betonierung je 20 cm Multi-Monti Timber Connect MMS – TC 100/7,5 Stahl befestigt	36,75	86,77	M03 NV 6,5 SV 19 HBV 7,5	M06 NV 6,5 SV 19 HBV 7,5	M03 NV 4 SV 12 HBV 4	M06 NV 4 SV 12 HBV 4
	Keine zusätzlichen Befestigungen oder Verbindungen	36,54	108,85	M03 NV 6,5 SV 19 HBV 8	M06 NV 6,5 SV 19 HBV 6	M03 NV 4 SV 12 HBV 5	M06 NV 4 SV 12 HBV 4,5
	Zweite Schicht VELOX Platte und vor Betonierung HECO Topix-CC 200/6,5 Stahlschrauben schräg in die Balken gebohrt.	32,36	120,0	M03 NV 6,5 SV 19 HBV 10,5	M06 NV 6,5 SV 19 HBV 10,5	M03 NV 4 SV 12 HBV 7,5	M06 NV 4 SV 12 HBV 7,5
	Zweite Schicht VELOX Platte und vor Betonierung HECO Topix-CC 200/6,5 Stahlschrauben schräg in die Balken gebohrt.	24,99	51,38	M03 NV 6,5 SV 19 HBV 8	M06 NV 6,5 SV 19 HBV 8	M03 NV 4 SV 12 HBV 5	M06 NV 4 SV 12 HBV 5

Tabelle 20: Darstellung der Belastungen in kN beim Totalbruch (TB) und den maximal zulässigen Durchbiegungen l/300 und l/500.

5.4 Ergebnisse und Auswertungen

Zur Verdeutlichung der Messpunkte werden die Anordnungen der Messmittel zur Ermittlung der Verschiebung von Holz und Beton mit Übersichtstabelle für die Verschiebungsmittel in mm/Messmittel nochmals dargestellt (Abbildung 240):

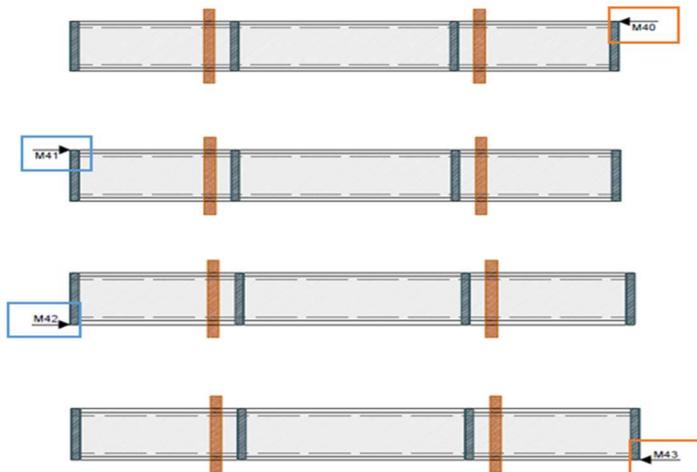


Abbildung 240: Anordnung der Messmittel M40, M41, M42 und M43

Verbundträger	M40 mm	M41 mm	M42 mm	M43 mm
P01	2,5	1,9	1,3	2,2
P01A	2	2,1	2,7	3
P02A	2,2	2	3,5	1,4
P02B	1,1	2,6	2,9	0,2
P03A	2,4	1,2	2,2	4
P04A	1,8	1,9	2,7	3,8
P04B	0,5	5	2,9	0,8

Tabelle 22: Verschiebungswerte von Holz und Beton in mm getrennt nach den unterschiedlichen Baurägern. Die Messmittel M40 und M43 werden farbig rot unterlegt, da sie an der rechten Seite der Bauräger positioniert sind. Die Messmittel M41 und M42 werden farbig blau unterlegt, da sie links positioniert sind.

Bei den Bauträgern P01 und P01a sind die Verschiebungen relativ gleichmäßig verteilt und der Bruch fand bei beiden Bauträgern in der Mitte statt.

Bei den Bauträgern P02A und P02B waren die Verschiebungen auf der linken Seite (M41 und M42) vom Bauträger deutlich größer, wobei die Bruchstelle bei beiden Trägern sich links am Bauträger befand.

Beim Bauträger P03A waren die Verschiebungen rechts (M40 und M43) stärker ausgeprägt, der Bruch fand links statt.

Beim Bauträger P04A wurden relativ deutliche Verschiebungen bei den beiden vorderen Messmitteln (M42 links und M43 rechts) gemessen, die Bruchstelle befand sich ebenso beim vorderen Balken in der Mitte.

Beim Bauträger P04B war die Bruchstelle ebenso in der Mitte, jedoch wurden nur auf der linken Seite (M41 und M42) Verschiebungen von mehreren Millimetern gemessen.

5.4.2 Vergleich der Biegesteifigkeiten aller Bauträger

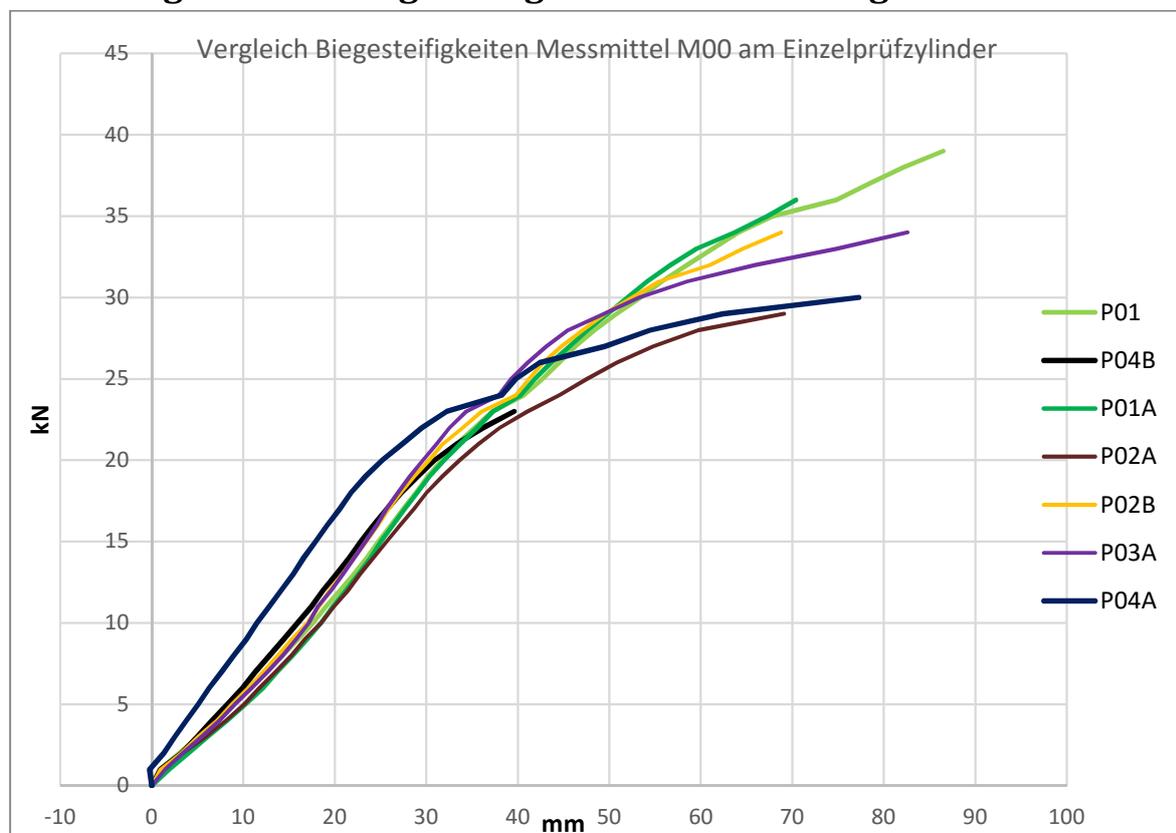
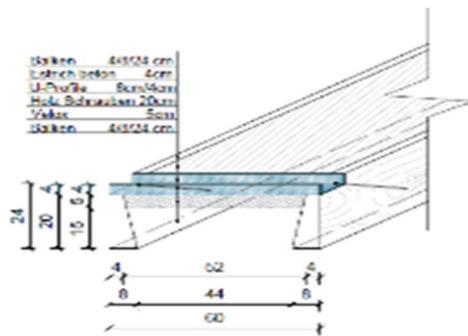
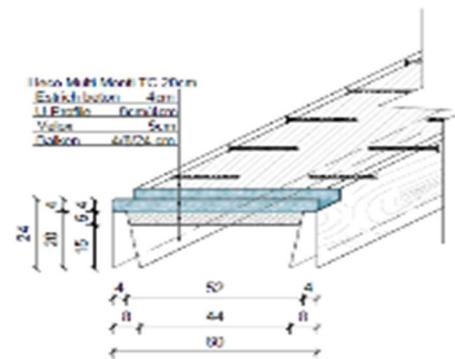


Abbildung 241: Vergleich der Biegesteifigkeiten der 7 Bauträger. Die Durchbiegung vom Bauträger P04A wird als Referenzlinie herangezogen, da sie die höchste Biegesteifigkeit hier aufweist.

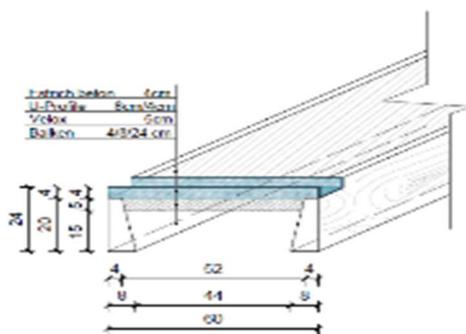
P01 und P01A



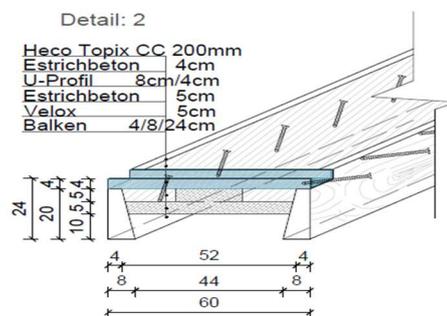
P02A und P02B



P03A



P04A und P04B



Zur Veranschaulichung werden unter dem Diagramm nochmals die unterschiedlichen Skizzen der Bauträger dargestellt.

Die Biegesteifigkeit von P04A (welche als Referenzlinie herangezogen wurde) zeigt die höchste Biegesteifigkeit auf. Die Durchbiegungskurve wird ab einer Belastung von 25 kN dann deutlich flacher und die Durchbiegungen der anderen Bauträger weisen dann bei hohen Belastungen hohe Biegesteifigkeiten auf. Wie hier ersichtlich ist, sind die Bauträger P02A, P04B und P03 A geringer belastbar und zeigen auch höhere Verformungen bei der Kurzzeitbelastung.

Deutlich ist zu sehen, dass die Biegesteifigkeiten bei den Bauträgern P04A und P04B die höchsten Werte aufzeigen. Die reduzierte Biegesteifigkeit bei P04B ist mit Wahrscheinlichkeit auf die reduzierten E-Module der Fichtenholzbalken zurückzuführen und auf eine höhere Anzahl von Astlöchern in den Balken.

5.5 Anwendungsobjekt für die Prototypen der Deckenelemente mit Holzleichtbeton

In diesem Kapitel soll ein Beispielobjekt, in diesem Fall ein Kindergarten, aus architektonischer Sicht dargestellt werden. Hier werden die entwickelten Prototypen für die Deckenelemente aus dieser Arbeit eingesetzt. Die Deckenelemente können als Fertigelemente auf der Baustelle montiert werden oder direkt vor Ort zusammengebaut werden. Der Fokus liegt hier auf der Darstellung der Verbindungen der Deckenelemente mit den Wandelementen.



Abbildung 242: Vorderansicht



Abbildung 243: Hinteransicht

Es handelt sich um einen Flachbau mit Holztragewerk mit Holzpaneelen (Fundermax) als Fassade. Die Ähnlichkeit mit Holzbausteinen ist beabsichtigt und soll so einen spielerischen Charakter erwecken. Bunte Fensterrahmen symbolisieren auch Verspieltheit und Zufälligkeit. Die verschiedenen Perspektiven zeigen, dass jede Seite unterschiedliche Dimensionen der einzelnen Räumlichkeiten aufweist und somit auch den „hingewürfelten“ und abstrakten Eindruck von riesigem Spielzeug unterstreichen soll.

Dieses Objekt wurde nach den Richtlinien für einen Kindergarten entwickelt und hat zwei Geschosse. Das Gebäude sollte auf einem Grundstück errichtet werden, welches genügend Platz für Spielplätze im Außenbereich bietet und idealerweise in der Nähe Grünflächen für Außenaktivitäten hat.

Der Kindergarten hat eine reguläre geometrische Form, welche durch Zimmer in quadratischer Formen mit unterschiedlichen Dimensionen ergänzt wird.

Jedoch sind die Unterschiede in den einzelnen Räumen nicht größer als 5 Meter, so haben die großen Räume folgende Maße (BxH):

440 cm x 550 cm

440 cm x 440 cm

440 cm x 480 cm

440 cm x 620 cm

Der Hauptaufenthaltsraum oder Tagesraum hat die Dimensionen (BxH) 780 x 760 cm. Auf der Höhe von 460 cm werden mit einer Holzkonstruktion ein Tragwerk gebildet, welches mit den Deckenelementen dann ein zusätzliches Zwischengeschoss bildet.

Die Deckenelemente, sind jene, welche in dieser Arbeit entwickelt wurden. Die trapezförmigen Balken sollten nicht länger als 5 Meter sein.

Die Balken entsprechend der Wände, welche die Länge 440 cm haben gerichtet und befestigt.

Die Decken sind mit einer Höhe von 30 cm ausreichend hoch, damit die Kriterien für eine gute Schall- und Wärmedämmung gegeben sind.

Die Balken der Decken mit den Dimensionen (B x H x L) 8 x 4 x 24 cm werden in Abständen von 60 cm gesetzt (vgl Kapitel 7).

Die Decken werden in den Spielbereichen mit Parkett ausgestattet mit entsprechend angenehmen Farben, aber auch mit Linoleum, welches vor allem in hygienisch empfindlichen Bereichen eingesetzt wird.

Die Innenwände bestehen aus Gipskarton mit Wärmedämmung nach EU-Normen und werden nach den Angaben der Innenarchitekten ausgemalt.

Die Treppen zu dem oberen Geschoss sind aus Vollholz und in ästhetischen Formen. Die Nassräume werden komplett verflieset.

Die Fenster werden aus Kunststoff sein mit Dreiglastechnik zur besseren thermischen und akustischen Isolierung. Die Türen werden aus hochqualitativen Holzprodukten sein mit Füllungen, Furnieren oder aus CPL.

Die Beleuchtung wird mit LED Lampen gemacht.

Die Außenfassade wird mit Fundermaxplatten gemacht mit unterschiedlichen Farben, welche den Verwendungsgrund des Objektes hervorheben sollen.

Die Abschlußplatte des Objektes wird gut isoliert mit hochqualitativen Materialien, welche eine gute Brandbeständigkeit bieten, zum Beispiel eine Kieselsteinschichte.

sind beidseitig mit Gipskartonplatten verkleidet. Dazwischen wird Zellulose zur Wärmedämmung eingebracht. Außen werden Holzfassadenplatten von Fundermax eingesetzt.

Schnitt 01

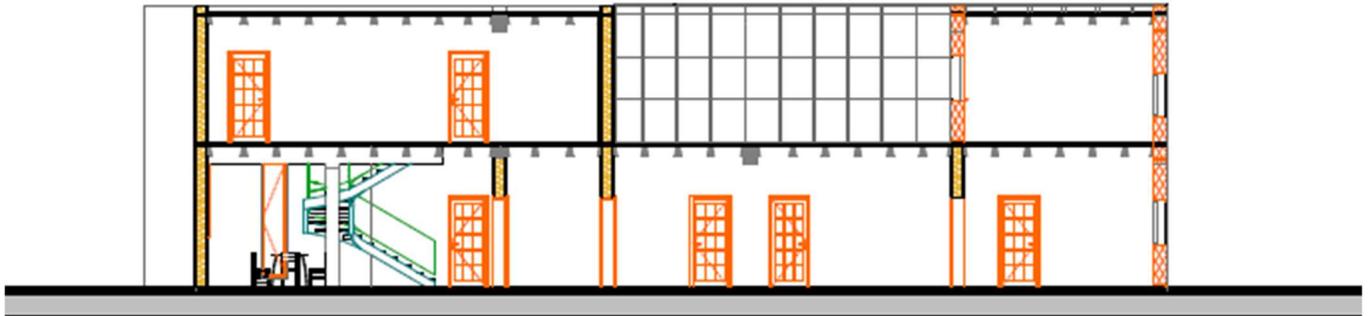


Abbildung 246: Schnitt Erdgeschoss

Auf einer Betonplatte mit Bewehrung befindet sich ein Holztragewerk als Grundgerüst. Die Holzbalken bestehen aus Fichtenholz mit den Maßen 30/30 cm und sie sind mit Holzbalken verbunden, welche die Dimensionen 30/40 cm haben.

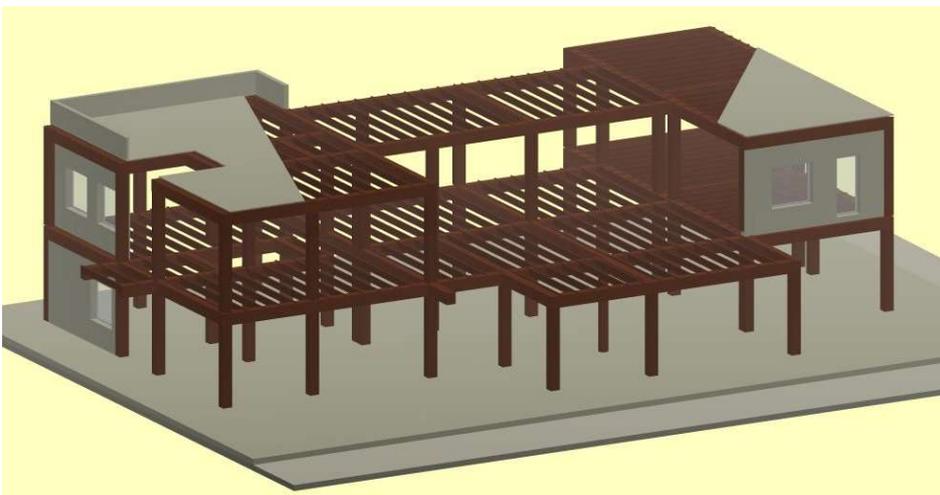


Abbildung 247: Holztragewerk des Kindergartens

In Abbildung 246 ist die Axonometrie der Tragwerkskonstruktion aus Holz zu sehen.

Verbindungsdetails Deckenelemente und Wandelemente:

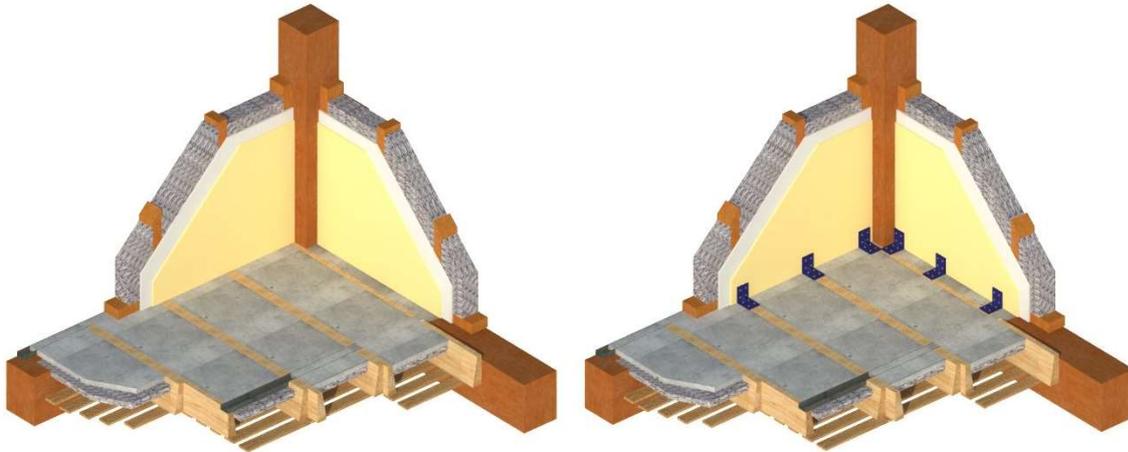


Abbildung 248: Details der Mauer und des Deckenelements vom Zwischengeschoss

Befestigungsvorschläge für die Deckenelemente mit Verbindungswinkel

Die Mauern werden mit C-Profilen aus Stahl oder Kantenschutzwinkel zusätzlich verstärkt, dies dient auch dem besseren Halt der Deckenelemente

Die Decke ist wie in den entwickelten Prototypen (vgl. Kapitel 5) mit Balken in den Dimensionen 4 cm oben und 8 cm unten breit, sowie 24 cm Höhe dargestellt. Diese trapezoide Balkenform ermöglicht im Sinne der Erhöhung des Haftverbundes eine verbesserte Steifigkeit und verschiedene Varianten der Materialanwendungen in den Zwischenräumen. Die Distanz zwischen den Balken ist mit 60 cm vorhergesehen. Die zusammengefügte Balken ergeben eine A-Form und wirken wie ein gesamter einzelner Balken.

Fertigungsschritte der Deckenelemente direkt auf dem Objekt:

In diesem Beispiel werden die Deckenelemente nicht als vorgefertigte Teile montiert, sondern vor Ort in einzelnen Arbeitsschritten befestigt.

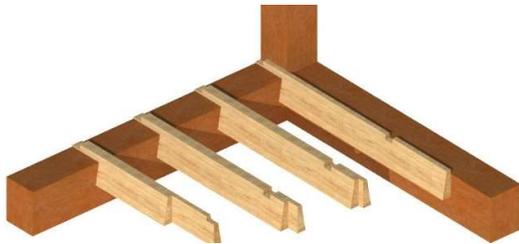


Abbildung 249: Holztragwerk mit eingelassenen Balken

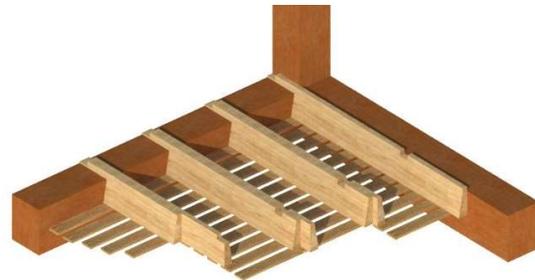


Abbildung 250: Balken mit Holzlatten

Wie in den Abbildungen 255 und 256 zu sehen ist, werden in ausgesägten Einlassungen der Wandbalken des Holztragwerks die trapezförmigen Balken befestigt. Sie werden durch Holzlatten unten befestigt.

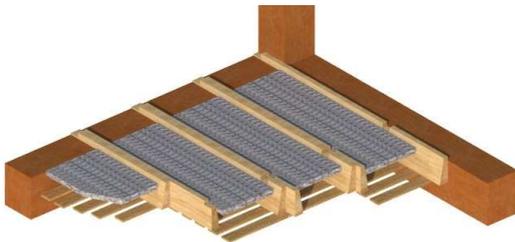


Abbildung 251: Decke mit Betonschicht

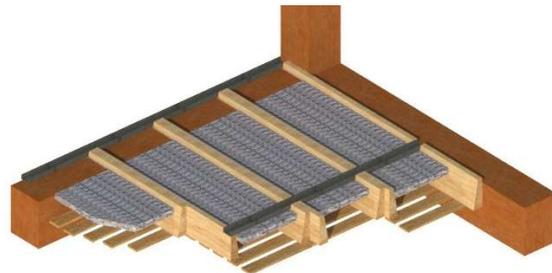


Abbildung 252: Anbringung von U-Profilen

Bei Abbildung 251 werden in der Detailansicht von oben die Holzleichtbetonplatten, welche zwischen den Balken eingeschoben sind, dargestellt. Die U-Profile (h 4cm x b 10 cm), welche als zusätzliche Befestigung der trapezförmigen Balken dienen, sind in Abbildung 252 zu sehen. Die Holzlatten werden auch als Verkleidung verwendet.

Befestigung der Wand- und Fassadenelemente nach der Fertigstellung der Deckenelemente:

In den Abbildungen 259 bis 262 sind die Eckenansichten der Wand- und Deckenelemente mit sequentiell Darstellungsverlauf der Materialschichten und Verbindungen. Die Wände werden mit Gipskarton und Zellulose ausgefüllt.

Außen sind Holzzement- und Holzplatten als Fassade mit einem speziellen Belüftungssystem geplant. Es sind die Platten von der Firma Fundermax vorhergesehen.



Abbildung 253: Wandtragwerk aus Holzbalken

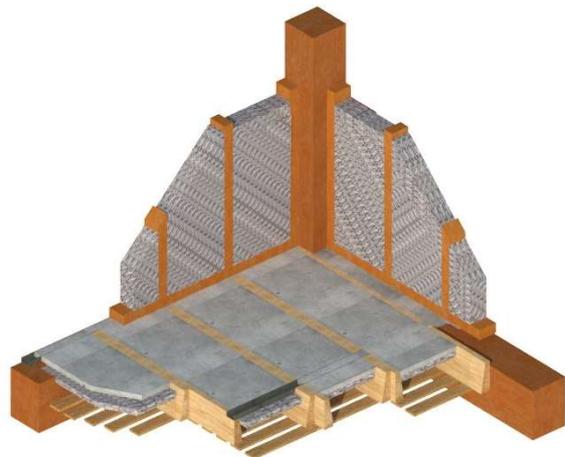


Abbildung 254: Holzbalken mit Holzbeton

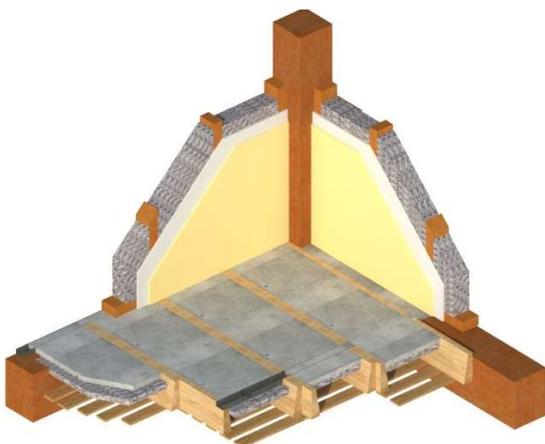


Abbildung 255: Innenwand mit Rigipsverkleidung

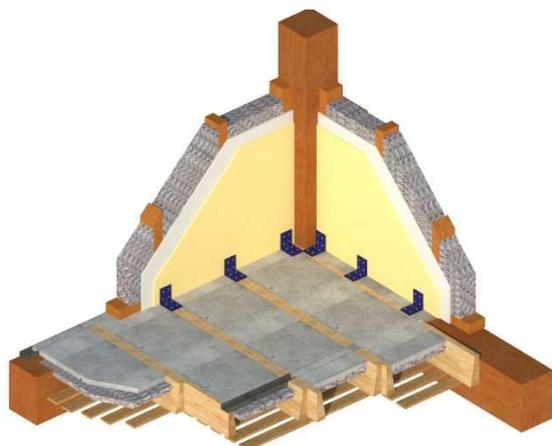


Abbildung 256: Rigipsplatten mit Eckwinkeln

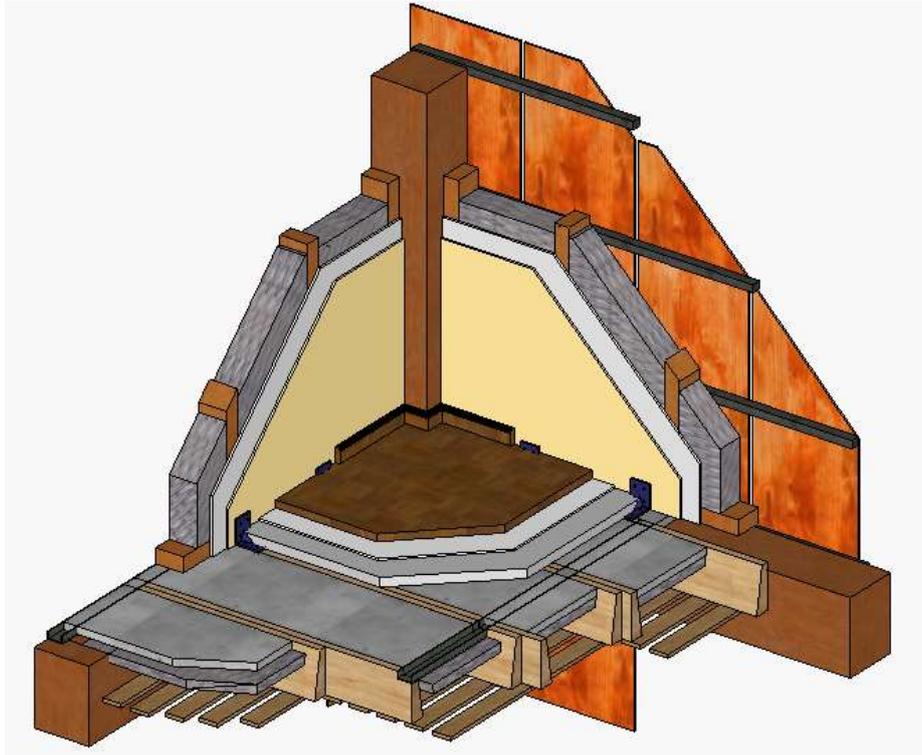


Abbildung 257: Ausschnitt aus allen Lagen der verwendeten Baumaterialien

Die Haupttragekonstruktion mit den trapezförmigen Balken und den Holzlatten unten ist hier in Abbildung zu sehen. Ebenso die Holzleichtbetonschicht mit den U-Profilen. Zusätzlich wird eine Estrichbetonschicht (6cm) aufgetragen. Eine Parkettschicht wird ebenso aufgelegt.

Die Fassade besteht aus Holzplatten der Firma Fundermax, welche mit einem Lüftungssystem durch Aluminium- oder Holzverbindungen außen angebracht werden. Optional können auch Holzleichtbetonplatten eingesetzt werden.

In Abbildung 263 wird die planimetrische Ansicht der Decke von oben gezeigt. Hier sind nochmals die verwendeten Materialien zu sehen.

Danach folgen drei Schnittdetails (Abbildungen 258 bis 260), in welchen die Verbindungen der Deckenelemente zu dem Haupttragwerk detailliert dargestellt werden.

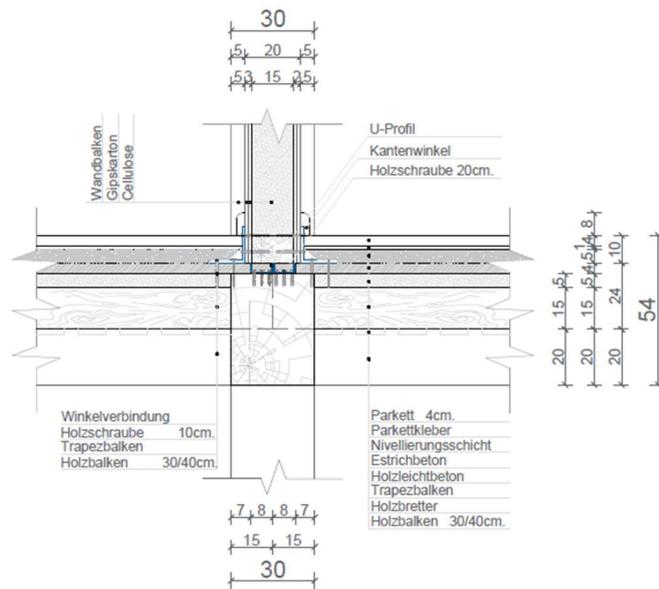


Abbildung 260: Schnitt B-B1

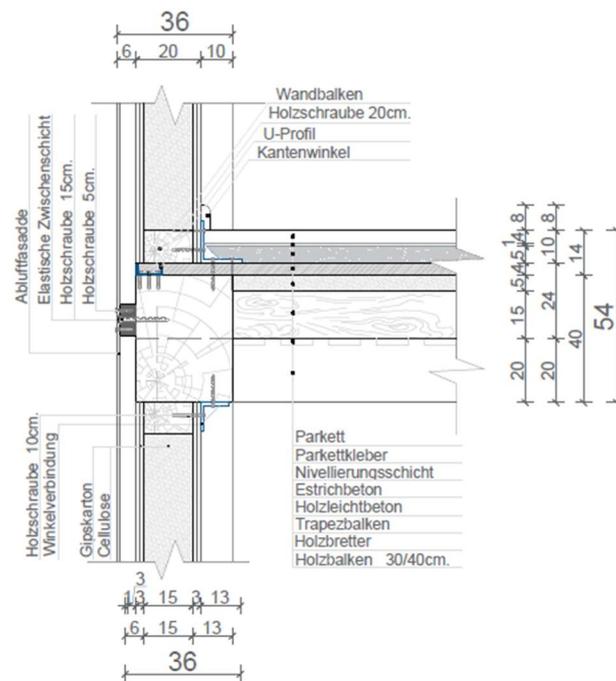


Abbildung 261: Schnitt C-C

Die Wandelemente können ebenso, wie die Deckenelemente in Produktionsstätten vorgefertigt werden und dann vor Ort auf der Baustelle mit Kränen montiert werden.

Einer Kostenschätzung entsprechend den aktuellen Kosten für die Errichtung eines derartigen Objektes kann von einem Quadratmeterpreis von 450 Euro ausgegangen werden (basierend auf der Schätzung für die Kosten der vor Ort gefertigten Holzleichtbetonplatten). Bei einem Grundriss von ungefähr 600 m² wird die erste Schätzung für die Gesamtkosten des Projektes mit 270.000,-- Euro veranlagt.

6 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit werden ausgehend von einem Entwicklungsprozess, welcher einerseits einen Überblick über die Geschichte, die baupolitische und bautechnische Entwicklung des Kosovo und andererseits die Darstellung vom Einsatz von Holzleichtbeton in Decken- und Wandelementen, neue Prototypen für Deckenelemente dargestellt und getestet.

Da sich im Kosovo viele Spuren von unterschiedlichen kulturellen Einflüssen finden und vor allem den Wohnbau geprägt haben, ist zu Beginn der Überblick über die verschiedenen Kulturen und Gesetze, welche das Erscheinungsbild vom Kosovo geprägt haben, wie schon im Titel erwähnt, die sogenannten vergangenen und aktuellen Bauweisen im Kosovo. Hier wird auch die enorme Spannweite der unterschiedlichen Einflüsse ersichtlich, welche jedoch auch eine vielfältige und einzigartige Entwicklung in diesem Gebiet, so auch auch im urbanen Stadtbild von alten Städten, wie Gjakova gemacht hat. Mit dem Beginn der sozialistischen Architektur im Kosovo, begann auch eine Industrialisierung in diesem Bereich, welche unter anderem auch zwei Fabriken, welche das Baumaterial „Tarolit“ (ein dichter Holzzement aus Beton und diversen Holzspänen, sowie Mineralisierungszuschlägen) herstellten. Neben der alten Holzarchitektur hat sich auch der Schwerpunkt Holzleichtbeton in der Geschichte des Kosovo (Tarolit) und der Ausblick auf eine mögliche Wiederbelebung einer Industrie in diesem Bereich in dieser Arbeit entwickelt. Daher werden im Bereich Holzleichtbeton und Holzzement, genauere Forschungen und Einsatzmöglichkeiten im Kapitel 3 dargestellt.

Die bautechnischen Entwicklungen, auch die Darstellung der Tarolitplatten, welche früher in Südeuropa, darunter auch im Kosovo, produziert wurden, zeigen, dass noch alte Infrastrukturen vorhanden sind und mit guter Logistik und Investitionen wiederverwendet werden können.

Die Idee, eine Fertigungsanlage für Holzspanbeton, ist aus wirtschaftlicher, infrastruktureller und sozialer Perspektive in Kapitel 4 genau dargestellt. Es wird ein geeignetes Objekt mitsamt der Infrastruktur nicht nur für die Fertigung, sondern auch für die Implementierung einer Kurzumtriebsanlage für Pappelholzstecklinge

dargestellt. Die gesetzliche Basis hierfür wäre ebenso sehr vorteilhaft und wird ebenso zwecks Veranschaulichung angeführt.

Die Investitionskosten für eine Anlage zur Herstellung von Holzleichtbetonplatten werden aufgegliedert nach den wichtigsten Kostenfaktoren dargestellt. Die einzelnen Posten können durch weitere Maßnahmen, wie die Anschaffung einer gebrauchten Produktionsanlage, wie sie bei der Firma Modul Engineering GmbH (<http://www.modulsysteme.com/de/>) angeboten werden zusätzlich reduziert werden.

Als zweiter großer Bereich in dieser Arbeit, in welchem neuartige Prototypen von Deckenelementen aus Holz, Beton und Holzleichtbeton dargestellt werden, wird im Kapitel 5 die Entwicklung, Fertigung und Kurzzeitbelastung von Bauteilen, welche entsprechend dieser Prototypen angefertigt wurden dargestellt.

Es werden Holz-Beton-Verbunddecken als Basis für aktuelle Forschungsansätze, welche zunehmend in Richtung Vorfertigung und leichten Elementen mit geringen Bauhöhen (unter 50 cm) gehen, herangezogen. Holz-Beton-Holzleichtbeton-Verbunddecken sind noch immer in der Minderheit und hier mögen durch die von mir entwickelten Prototypen Forschungsansätze gegeben sein, welche in zukünftigen Arbeiten weiterentwickelt werden.

Es werden Kurzzeitbelastungen an insgesamt sieben Bauteilen (P01 bis P04A), wobei insgesamt vier verschiedene Bauteile (je zwei Bauteile von einem Modell und ein Bauteil zum Vergleich ohne zusätzliche Befestigungsmittel) genau dargestellt und durch den Vergleich von theoretischen und praktischen Biegesteifigkeiten erklärt. Die Druckkraft wird fast vollständig von den Balken getragen, dies ist hinsichtlich der dünnen Betonschicht und der unterschiedlichen Verbindungsmittel anschaulich in diesen Versuchsbeschreibungen dargestellt. Es ist ein Ansatz einer modernen HBV-Konstruktion mit einer dünnen Betonplatte in der Druckzone und in der Zugzone im Holz mit diversen Variationen von Schubmitteln. Die Verbindungsmittel in der Kontaktfuge zwischen Holz und Beton haben erheblichen Einfluß auf das Trag-Verformungsverhalten, wie dies auch bei den Probekörpern P04A und P04B gezeigt werden kann.

Die Ergebnisse werden im Kapitel 5 beschrieben, wobei hier hervorgehoben wird, dass die neuartige trapezförmige Balkenform für die Deckenelemente eine nicht

unwesentliche Rolle in der hohen Belastbarkeit der Bauteile bis zum vollständigen Bruch spielt, nicht zuletzt auch durch die erhöhte Reibungskraft zwischen Holz und Beton und dem ausgleichenden Holzleichtbeton in der Mitte.

Die Gammaberechnung hat die Versuchsergebnisse prinzipiell bestätigt. Gleichzeitig hat man gesehen, dass eine belastungsorientierte praktische Auslegung eine andere Anordnung der Verdübelung ergeben würde. Im Rahmen einer praktisch bezogenen Optimierung der Ausführung (insbesondere Art und Abstandsaufteilung der Verdübelung) sollte ein eigenes EDV-Programm (zum Beispiel auf Grundlage der Gammaberechnung) entwickelt werden.

Die Besonderheit der Balken, welche nicht nur ökologisch und ökonomisch beachtenswert sind, liegt neben den tragwerksspezifischen positiven Eigenschaften auch in der einfachen Herstellung ohne notwendige Schablonen.

Bei den entwickelten Prototypen der Deckenelemente im Holzleichtbetonverbund ergaben die Versuche, dass jene Modelle, bei welchen die Betonschicht teilweise dicker war und somit der Verbund starrer, aber auch eine zusätzliche Holzleichtbetonplatte eingefügt wurde, die höchste Biegesteifigkeit aufweisen.

In Kapitel 5 wird ein Kindergarten mit den entwickelten Deckenelementen zeichnerisch und technisch dargestellt. Die Vorteile vom Einsatz dieser Deckenelemente sind nicht nur in finanzieller Hinsicht, sondern auch in ökologischer und bautechnischer Weise (Schallschutz, Brandschutz) optimal und bei ausgereifter Entwicklung eine wichtige Richtung in für die notwendig gewordenen Innovationen im Bauwesen nicht nur in Südosteuropa.

In einem Land, wo Nachhaltigkeit und ökologischer Wohnungsbau noch in einem Entwicklungsstadium sind, wird dennoch angesichts der immer knapper werdenden natürlichen Ressourcen, nicht zuletzt auch dem Wasser, eine Weiterentwicklung und schließlich auch der Einsatz von Deckenelementen in dieser Form, sehr empfohlen.

Im Ausblick auf zukünftige Forschungen im Bereich Holz-Beton-Holzbeton-Verbundelementen ist zu bemerken, dass die hier entwickelten Deckenelemente als Idee für anderen Module funktionieren können. Es können in diesen Deckenelementen auch Bodeninstallationen für Fußbodenheizungen integriert werden, auch die Verbindungstechnologien zur Verbindung der einzelnen

Deckenmodule, wie sie getestet wurden, wären noch zu entwickeln und durch Testungen auf die Gebrauchstauglichkeit zu überprüfen.

Der Einfluss von Holzleichtbeton in Verbundkonstruktionen mit Holz und Beton ist noch nicht ausreichend erforscht. Die Vermutung, dass im Wechsel von Haft- und Reibungsverbund, Holzleichtbeton eine ausgleichende Rolle spielt, müsste noch genauer untersucht werden.

Mit dieser Arbeit wird der Versuch gemacht, ein ganzheitliches Konzept - von den wirtschaftlichen und kulturellen Grundlagen über die Möglichkeiten der Produktion und Entwicklungsoptimierung von HBV-Baumodulen aus vorwiegend nachwachsenden Rohstoffen - zu entwickeln. Damit verbunden ist die Hoffnung, dass innovative Ideen im Bauwesen der Zukunft erfolgreich umgesetzt werden können.

Es wird ein integrativer Ansatz für neue Holz-Beton-Holzleichtbeton-Verbundträger hier auf der Basis von einem Prototyp für ein Deckenelement aus diesen drei Baumaterialien vorgestellt. Die damit verbundenen Bereiche, wie Optimierung der Vorfertigung, Instandhaltung, Kostenoptimierung, Informationsmanagement, Prozessgestaltung, Umweltschutz und Recycling durchdringen diese Arbeit von Anfang bis zum Ende und werden spezifisch im Kontext von Südosteuropa beschrieben. Es bieten sich weitere Anknüpfungspunkte für die weitere Entwicklung von Holz-Beton-Holzleichtbeton-Deckenelementen und innovativen Holzwerkstoffen aus Holzabfällen und Beton. Wie Olorunnisola und Adefisan (2001) zeigen konnte, sind Holzbetonplatten mit Rattanholzspänen gute Möglichkeiten in Ländern, wie Nigeria, gebrauchstaugliche Alternativen darstellen. Tcheouali et. al (2014) haben Holzzementwerkstoffe aus Sägemehl und Fasern von Palmholz und -blättern hergestellt und untersucht. Holzzementwerkstoffe in Ländern, wie Afrika oder China, aus lokalen Holzabfällen, welche aus unterschiedlichen Quellen stammen, wird als neue Entwicklung eines ökologischen Ansatzes, welcher hauptsächlich durch Recycling und lokale Ressourcen entsteht. Das Ziel dieser Arbeit soll unter anderem die Umsetzbarkeit der Herstellung von Holzwerkstoffen und Bauteilen mit einfachen technischen und vorhandenen Ressourcen in einem Überblick darstellen. In geografischen Bereichen, wie Südosteuropa, Afrika oder Teilen von Asien, wo die industrielle Entwicklung nicht fortgeschritten ist, können Ansätze, die hier beschrieben wurden, umgesetzt werden.

Diese Arbeit kann Impulse und Unterstützung für Investitionen und Weiterentwicklungen in einem industriellen Entwicklungsgebiet, wie Südosteuropa beitragen. Diese Arbeit soll einen Beitrag dazu liefern in Form eines aktuellen Handbuchs mit den wichtigsten Informationen von den Hintergrundinformationen zu dem Land, ersten Kostenschätzungen für Investoren und konkreten statischen und architektonischen Darstellungen für Prototypen von Deckenelementen.

Weitere Forschungen und Entwicklungen der vorgestellten Deckenelemente sind wünschenswert und können gerade in Ländern, wo die industrielle Fertigung von Bauelementen in der Entwicklungsphase ist, durchaus umgesetzt werden.

Aber auch aus ökologischen und sozioökonomischen Überlegungen sind diese modularen Bauelemente für zukünftige Objekte elementar.

Literatur

ALIJAJ, Besnik, LULO, Keida & MYFTIU, Genc. (2007). *Tirana sfida e zhvillimit urban*. Tirana: GVG.

ANDROMAQI, Gj. (2002). *Menyra e jeteses ne shekujt 13 deri 20*. Korce

AUSTRIAN DEVELOPMENT AGENCY (2008). *Länderinformation Kosovo*. Wien: Österreichische Ostzusammenarbeit.

AYVERDI, E.H. (2000). *Avrupada Osmanli Mimari Eserleri Bulgaristan Yunanistan Arnavudluk*. Istanbul: Diacan Grafik.

AYVERDI, E.H. (2000). *Avrupada Osmanli Mimari Eserleri Yugoslavya*. Istanbul: Diacan Grafik.

B 1995-1-1, 15.06.2015: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten

BABINGER, Franz (1929). *Moschee und Grabmal des Osman-Schah zu Trikkala: ein Werk des Baumeisters Sinan*. Athen: Akademia Athenon.

BACE, A., MEKSI, A., RIZA, E., KARAIKAJ, Gj. & THOMO, P. (1980). *Historia arkitektures shqiptare*. Kulturministerium Tirana.

BALDACCI, Antonio . (1892 – 1902). *Con uno sguardo generale all'Albania e alle sue comunicazioni stradali*. Rom: Societa Geografica.

BALDACCI, Antonio. (1930). *L'Albania*. Roma: Istituto per L'Europa Orientale.

BAQE, A., MEKSI, A., RIZA, E. & THOMO, P. (1971 – 1977). *Monumentet*. Unterrichtsministerium Tirana: M. Duri.

BARTL, Peter. (1995). *Albanien*. Regensburg: Pusk.

BEEMANN, A. (2009). Kurzumtriebsplantagen aus Sicht der Forstwirtschaft. Institut für Internationale Forst- und Holzwirtschaft. Technische Universität Dresden.

BECKER, Wieland; Götz, Tobias (2012): Konstruktive und brandschutztechnische Untersuchungen von Rippendecken in Holz-Beton-Verbundbauweise. In: Bautechnik 89. (5), S. 394–401

BERGER, Konrad; Fingerloos, Frank; Wörner, Johann-Dietrich (Hg.) (102. Jahrgang, 2013): Beton Kalender 2013. Lebensdauer und Instandsetzung, Brandschutz. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und Technische Wissenschaften GmbH & Co. KG.

BERNATZIK, Hugo-Adolf. (1930). *Albanien: das Land der Skipetaren*. Wien: Seidel Verlag.

BÖLCSKEY, Elmer; Billes, Martin (2006): Holz-Beton-Verbunddecke: Baupraktische Bemessung nach Faserbeton-Richtlinie. In: Zement und Beton 1. (Nov. 2006), S. 32–35

BRENT, C.Brolin. (1988). *Arhitektura u kontekstu*. Bakar.

BROWN, H.A. (1888). *A winter in Albania*. London: Griffith, Farran, Okeden & Welsh.

BULE, Etienne-Lui. (). *Arhitektura esej o umetnosti*. Maxum

BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ. (2012). Pappeln und Weiden in Deutschland: Bericht der Nationalen Pappelkommission. Zeitraum: 2008 – 2011.

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT. (2004). Pappeln, Aspen und Weiden in Deutschland: Nutzung, Erhaltung, Forschung. Zeitraum: 2002 -2003.

CASTEX, Jean, DEPAULE, Jean-Charles & PANERAI, Phillipe (1989). *Urbane Forme*. Bakar & Maxum.

CEKA, Neka. (2006). *Udhetim ne keshjtjellat ilire*. Tirana: Publ. House Migjeni.

CEKA, Neka (2005). *The Illyrians to the Albanians*. Tirana: Publ. House Migjeni.

CERNJIHOV (). *Konstrukcije arhitektonskih i masinskih formi*. Beograd: Gradevinska Knjiga.

CHATZEDAKES, Manoles. (1993). *Mistra: die mittelalterliche Stadt und die Burg*. Athen: Ekdotike Athenon.

CLAYER, Nathalie. (1990). *L'Albanie pays des derviches: les ordres mystiques musulmans en Albanie a l'epoque post-ottomane (1912-1967)*. Wiesbaden: Harrassowitz.

COLLING, Francois. (2008). *Holzbau: Grundlagen, Bemessungshilfen*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner

Communal and urban development plan Gjakova 2006 – 2015. Municipality Gjakova/Kosovo (Kuvendi komunal i Gjakoves).

DILLINGER, T.; HIRSCHLER, P. et.al.(2009). „Development Plan for Suhareka 2008 – 2018“ Vienna University of Technology, Department of Spatial Development, Infrastructure and Environmental Planning.

DIRAN (2000). *Pregled Predavanja*. Novi Dani

DOJAKA, A. (1981 - 1985). *Etnografia Shqiptare*. Tirana: Akademia e shkencave e RPSSH. Instituti i Kultures Popullore.

DOLI, F. (1997). *Te krijuarit dhe arkitektura*. Prishtine: Universitët Prishtine

DOLI, F. (2001). *Arkitektura tradicionale – popullore e kosoves*. Ausstellungskatalog der Wissenschaftsausstellung.

DUKA, Ferit. (2001). *Berati ne kohen osmane*. Tirane: Botimet Tona.

DUPRE, B., GOULLIEUX, A., DHEILLY, R-M. & QUENEUDEC, M. (2005). *A new way of valorization for oleaginous flax by products: Wood concrete composite with flax shaves, elaboration and properties*. Revue de Cytologie et Biologie vegetales – Le Botaniste. 28. 22 - 27

DRANCOLLI, F. (2001). *Kulla shqiptare*. Prishtine: Grafika Rezniki.

- DRANCOLLI, F. (2004). *Rrenimi I kullës shqiptare*. Prishtine: Grafika Rezniqui.
- DRANCOLLI, F. (2005). *Trashegimia e evidentuar e Kosoves*. Prishtine: Ministerium für Kultur, Jugend und Sport.
- DRANCOLLI, Jaja. (2001). *Shteti mesjetar i Gjergj Kastriotit – Skenderbeut*. Peje: Dukagjini.
- EDMONDS, Paul. (1927). *To the land of the eagle: travels in Montenegro and Albania*. London: Routledge.
- ELASCON GmbH (Hg.): HBV-Lexikon. Berechnung einer Holzbalkendecke mit dem Gamma-Verfahren (HBV-Lexikon). Online verfügbar unter <https://www.elascon.de/hbv-lexikon/berechnung-holzbalkendecke>
- ELSER, Michael (1994): Biaxiales Bruchverhalten von zementgebundenen Werkstoffen. Experimente, Bruchmechanismen und Modellierung. Dissertation. TU Wien, Wien. Technisch Naturwissenschaftliche Fakultät
- ENGLISCH, M.; Wresowar, M.; Spiegel, H.; Reiter, R.; Katzensteiner, K. (2009): Energiewälder im Kurzumtrieb – Möglichkeiten und Grenzen. BFW-Praxisinformation 18, 15 – 17. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft: Wien.
- FAJA, E. (2007). "Urbanistika, shkenca dhe arti I organizimit të hapësirave urbane: teknika dhe kompozimi. Tirane: UFO Press.
- FALLMERAYER, Jakob Phillip. (1857). *Ueber Ursprung und Alterthum der Albanesen. (Das Albanesische Element in Griechenland*. München: Verlag der königlichen Akademie.
- FEIX, J.; FLECK, D., MEIXNER, G.; THALER, T. (2010) Entwicklung eines getrennt vorgefertigten Holz-Beton-Verbund Deckensystems, Bauingenieur, Jg 85, Nr. 4, 2010, S. 141-149
- FLECK, D. (2013) Trag- und Verformungsverhalten eines getrennt vorgefertigten Holz-Beton-Verbundsystems, unveröff. Dissertation Universität Innsbruck.
- FERNER, Maximilian Alec Cedric Thomas. (2013). "Einfluss der Pflanzgutart auf Anwuchs und Ertragsleistung im ersten Umtrieb bei Pappel für die kaskadische Nutzung. Unveröff. Masterarbeit, Universität für Bodenkultur.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (WISDOM). (2015) „Sektori i Biomases Drunore ne Kosove. Veshtrim integruar mbi kerkesa dhe oferta per drurin. Prishtine
- GAMULIN, Grgo. (1967). *Arhitektura Uregjji*. Zadruzna stampa.
- GELZER, Johann Heinrich. (1980). *Der Patriarchat von Achrída: Geschichte und Urkunden*. Leipzig: Teubner.
- GIDION, S. (2002). *Prostor, vreme i arhitektura*. Maxum.
- GLASER, Ronny (2005): Zum Kurz- und Langzeitverhalten von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. Dissertation. TU Chemnitz, Chemnitz. Fakultät für Architektur, Bauwesen und Stadtplanung

- GOJKOVIQ, Milan, STEVANOVIQ, Boshko, KOMNENOVIQ, Milorad, KUZMANOVIQ, Sreto & STOIQ, Dragoslav.(2001). *Drvene Konstrukcije*. Qigoja Stampa.
- GOPCEVIC, Spiridon. (1914). *Das Fürstentum Albanien*.
- GOPCEVIC, Spiridon. (1914). *Geschichte von Montenegro und Albanien*.
- GOPCEVIC, Spiridon. (1889). *Makedonien und Alt-Serbien*.
- GOPCEVIC, Spiridon. (1881). *Oberalbanien und seine Liga*.
- GROSSER, D. & ZIMMER, B. (1998) „*Einheimische Nutzhölzer und ihre Verwendungsmöglichkeiten*“ Informationsdienst Holz, Schriftenreihe „holzbau handbuch“, Reihe 4, Teil 2, Folge 2. Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., Düsseldorf
- HARM, Michael. (2012). „Kurzumtrieb aus Sicht eines Plattenherstellers.“ In: Innovative Energiepflanzen – Erzeugung und Verwendung von Kurzumtriebsholz. Broschüre der Tagung zur Biomasse 2011: Herausgeber NÖ Landes-Landwirtschaftskammer, BLT Francisco Josephinum Wieselburg.
- HAUSSER, R. & HONISCH, D.(1983) *Kunst, Landschaft, Architektur*.
- HEIERLI, U. (2008). *Entwicklungsstrategie für einen unabhängigen Kosovo (Potentielle Beiträge der Schweiz zur Überwindung von Armut und Arbeitslosigkeit)*. Praxisprojekt Universität St. Gallen
- HEINZ, D. & URBONAS, L. (2008). *Holzbau der Zukunft. Teilprojekt 16: Holzbeton*. TU München
- HERZOG, NATTERER, SCHWEITZER, VOLZ & WINTER (2004). *Timber construction manual*. Birkhäuser Edition Detail.
- HITCHCOCK, Henry-Rusell & DREXLER, Arthur (1956). *Pasleratna arhitektura u SAD*. Novi Dani.
- HITCHCOCK, J. (). *Internacionalni stil*. Maxum.
- HOCHBICHLER, Eduard. (2007): Forstwirtschaftliches Biomasseaufkommen Österreich. Gutachten für den Verband der Elektrizitätsunternehmen Österreichs (VEÖ).
- HOFER, Thomas (2013): Experimentelle und analytische Untersuchungen des Tragverhaltens von Holz-Holzleichtbeton-Sandwich-Deckenbauweisen. Diplomarbeit. Technische Universität Wien, Wien. Institut für Architekturwissenschaften Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau
- HOLZER, W. (2007). *Bereitstellungskosten für Biomasse auf Kurzumtriebsflächen*. BFW-Praxisinformationen 13. Seite 13 – 14. Wien.
- HÖSCHENMACHER, Klaus; RUG, Wolfgang; PLUNTKE, Thomas; SORG, Jan; FISCHER, Frank (2015) Holz-Beton-Verbund, Leipzig, Eberswalde, Wittenberge, Berlin. (Online verfügbar unter http://holzbau-software.com/publikationen/hbv/hbv_grundl.pdf)
- HÖLSCHER, Daniel (2010): Holz-Beton-Verbund. WS 09/10. Ausarbeitung, Hildesheim

- HUBER, Christian (2010): Beitrag zur Bemessung von Holz-Beton-Verbunddecken mit ausgewählten Verbindungsmitteln unter Brandeinwirkung. Dissertation. Technische Universität Wien. Institut für Bauingenieurwesen.
- HUGHES, T.S. (1830). *Travels in Greece and Albania*. London: Colburn and Bentley.
- HUTA, Perparime. (1990). *Fshati ne sanxhakun e Shkodres ne shek. XV – XVI: (veshtrim mbi demografine dhe ekonomine)*. Tirane: Akademia e Shkencave e RPS te Shqiperise, Inst i Historise.
- ISLAMI, H. (2005). *Studime demografike. 100 vjet te zhvillimit demografik te Kosoves*. Prishtine.
- LEWIS, Thomas. (2012). *Kurzumtriebswirtschaft in Indien, China, Afrika und Brasilien – Unterschiede zu und Gemeinsamkeiten mit Europa*. In: Innovative Energiepflanzen – Erzeugung und Verwendung von Kurzumtriebsholz. Broschüre der Tagung zur Biomasse 2011: Herausgeber NÖ Landes-Landwirtschaftskammer, BLT Francisco Josephinum Wieselburg.
- JORGE, F.C., PEREIRA, C. & FERREIRA, J.M.F. (2004). *Wood-cement composites: a review*. European Journal of Wood and Wood Products. Vol.62. Number 5, S. 370 – 377.
- JENCKS, C. (1988). *Moderni pokreti u arhitektur*. Novi Dani.
- JIRECEK, Konstantin. (1922). *Istorija Srba*. Beograd: Kon
- KIRCHMAYER, Ernst Edelhart: Beitrag zur Entwicklung von Holz-Holzbeton-Betonverbunddecken. Unveröff. Diplomarbeit. TU Wien, Wien. Institut für Hochbau und Technologie
- KLOD-NIKOLA Ledu. (2002). *Arhitektura iz ugla umetnosti, obiqaja i zakonodavstva*. Maxum.
- KOLB, J. (2010). *Holzbau mit System*. Birkhäuser Lignum, Basel.
- KOSOVO AGENCY OF STATISTICS: (2017). *Raporti i parashikimit e popullsise se Kosvoes 2017 – 2061*. Prishtine, 2017
- KIRCHMAYER, E. (2012) Beitrag zur Entwicklung von Holz-Holzbeton-Betonverbunddecken. Unveröff. Diplomarbeit TU Wien
- Kosovo Agency of Statistics (2013). *Kosovo Census Atlas*. Prishtina
- KRAMER, H. & DZIHIC, V. (2005). *Die Kosovo Bilanz. Scheitert die internationale Gemeinschaft*. LIT Verlag, Wien.
- KRASNIQI Mark (1971). *Shtepia shqiptare ne Kosove. – kontribut per studimin e kultures materiale te popullit*. In: *Gjurmime albanologjike – Folklor dhe etnologji I/1971*. Instituti albanologjik i Prishtines.
- KRASNIQI Mark (1979). *Gjurme e Gjurmime. Instituti Albanologjik i Prishtines „Rilindja“*
- KRASNIQI, Mark. (2005). *Mikpritja ne Traditen Shqiptare*. Akademia e Shkencave dhe e Arteve e Kosoves. Botime te veqanta LVII Seksioni i Shkencave Shoqerore Libri 16. Prishtine.

- KRASNIQI, Saljadin. (2002). *Prizreni, udhetim neper kohe*. Prizren
- KRIPPNER, R. (2012). *Holzleichtbeton: Potenziale von Holz-Zement-Mischungen*. Zuschnitt. Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz.03/12, S. 19.
- KRIPPNER, Roland; NIEBLER Dagmar; Issing, Holger (2008): *Holzbau der Zukunft*. TP 17: Holzleichtbeton im Hochbau. Bericht. TU München, München. Lehrstuhl für Baustoffkunde und Baukonstruktion
- LANGE, H. & SIMATUPANG, M.H.(1984).“*Der Einfluß des Trocknungsgrades der Holzspäne auf die Festigkeit zementgebundener Spanplatten*“. European Journal of Wood Products.Volume 42, Number 11, 421-423
- LANGE, H. & SIMATUPANG, M.H. (1985). *Herstellung von zementgebundenen Fichten- und Pappelspanplatten: Wechselwirkungen von fünf Einflussfaktoren und ihre Wirkung auf die Plattenfestigkeit*. Holz als Roh- und Werkstoff, Volume 43, Issue 6, Seiten 229 – 236.
- LE BON, Gustave. (1974). *Die mittelalterliche Welt der Araber*. München: Herbig
- LE CORBUSIER (). *Ka pravoj arhitekturi*. Maxum.
- LEDU, K.N. (2002). *Arhitektura iz ugla umetnosti, obiqaja i zakonodavstva*.
- LIEBHARD, Peter; DEIM, Ferdinand; GROISS, Ruth-Elvira; REFENNER, Karl & HOCHBICHLER, Eduard. (2012). „Ausgewählte ökologische Aspekte in der Hackgut- und Holzproduktion im Kurzumtrieb in Österreich. In: Innovative Energiepflanzen – Erzeugung und Verwendung von Kurzumtriebsholz. Broschüre der Tagung zur Biomasse 2011: Herausgeber NÖ Landes-Landwirtschaftskammer, BLT Francisco Josephinum Wieselburg.
- LLONQARI, Xhelal. (2004). *Arkitektura dhe Urbanizmi sinergjik*. Kashi.
- MALCOLM, N. (2001). *Kosova nje histori e shkurter*. Prishtine: Koha Prishtine & Shtepia e Librit Tirane.
- MALLON, Thomas. (2005). *Bauchemie*. Würzburg: Vogel Business Media Verlag.
- MINERVINI, C. (2002): Housing reconstruction in Kosovo. In: Habitat International, 26,571 – 590.
- MINISTRIA BUJQESISE; PYLLTARISE DHE ZHVILLIMIT RURAL: (2012) Inventarizimi Nacional I Pyjeve Kosvoe. Prishtine 2012
- MEKSI, Aleksander. (1973). *Monumentet: Arkitektura dhe restaurimi i Kishes se Perondise*. Ministerium für Bildung und Kultur: Tirana
- MEKSI, Aleksander. (1983). *Arkitektura mesjetare ne Shqiperi: shek. VII-XV*. Tirane: 8 Nentori.
- MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, FORSTWIRTSCHAFT UND RURALE ENTWICKLUNG.(2009). Policy and Strategy Paper on Forestry Sector Development 2010 – 2020. Prishtina, 2009.

MINISTRIY OF TRADE AND INDUSTRY of Kosovo (2010). *Investing in Kosovo – Investor Guide*. Hrsg: Austrian Development Cooperation (ADC), Economic Initiative for Kosovo (EIKS), Investment Promotion Agency of Kosovo (IPAKS), Prishtina

MUHARREMI, Hivzi. (1978). *Historia e artit*

MUKA, A. (2001). *Banesa fshatare dhe familja e madhe*. Tirana: BK Tirane.

MÜLLER, Andreas: Holz-Beton-Verbundsysteme. Überblick und Ausblick. Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau. Online verfügbar unter http://tis.bz.it/doc-bereiche/hlz_doc/pdf/fachtagung-holz-unterlagen/ft-holz-2013/Holz-Beton-Verbund%20-%20Andreas%20Mueller-%20FH%20Biel%20-%20Web%20Version.pdf

NATTERER, J.; HOEFT, M. (1987): Zum Tragverhalten von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. Forschungsbericht CERS Nr. 1345. Forschungsbericht. Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Lausanne. IBOIS Lehrstuhl für Holzkonstruktionen.

PATSCH, C. (1904). *Das Sandschak Berat in Albanien*. Wien: Österreichische Akademie der Wissenschaften.

PETROVIQ, Zoran.B. (1981). *Tragajugi za arhitekturi*. Zavod za grafičku tehniku.

POUQUEVILLE, Francois Charles Hugues Laurent . (1998). *Travels in Epirus, Albania, Macedonia and Thessaly*. London: Loizou Publ.(Nachdruck der Ausgabe von 1820).

QELEBI, E. (2004). *Seyahatname (gorduklerim)*.

QI, Hucheng, COOPER, Paul & HOOTON, Doug. (2009). *The investigation of basic processes of rapidly hardening wood-cement-water mixture with CO2*. European Journal of Wood and Wood Products. Jg. 68.Nr.1. S. 35 – 41

RAMADANI, I.; BULLIQI, Sh.; ISUFI, F.; GASHI G., EJUPI, A. & BYTYQI, V. (2011): Extension of urban infrastructure in the village of Kosovo. In: *Procedia Social and Behavioral Science*, 19, 317 – 321.

RIZA, E. & HALITI, N. (2006). *Banesa qytetare kosovare e shekullit 18. dhe 19*. Prishtine.

RRAPI, Gjergj. (2003). *Albanische Großfamilie im Kosovo*. Wien: Böhlau.

RUGOVA, Zeqir (1988). *Konstruksione prej druri*. Shërbimi i Kntabilitetit Shoqeror i KSAK

RUHM, Werner; Schuster, Karl. (2012). „Kurzumtriebsflächen“. in *Holz – Energiequelle der Zukunft*“ BFW Praxisinformationen Nr. 28-2012, S. 15 – 16. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft: Wien.

SCHULZ-NORBERG, Ch. (1990). *Stanovanje. Staniste, urbani prostor, kuca*. Beograd: Maxum Gradevinska Knjiga.

SCHMITT, Oliver Jens. (2008). *Kosovo – Kurze Geschichte einer zentralbalkanischen Landschaft*. Wien, Köln, Weimar: Böhlau Verlag.

SCHMITZ, Günter. (1968). *Elektrische, mechanische und thermische Untersuchungen über das System Holz-Zement*. Unveröff.Diss. Universität Hamburg.

INSTITUT FÜR HOLZFORSCHUNG UND DER VERBAND HOLZWIRTE
ÖSTERREICHS (BOKU WIEN). (2002). *Holz: Rohstoff-Werkstoff- Energiequelle der Zukunft (Band 2 Lignovisionen)*. Boku Wien

SARJA , Asko (1998). *Wood fibre reinforced concrete*. In: Swamy, R.N. (Ed.): *Concrete Technology and Design, Vol. 5 Natural Fibre Reinforced Cement and Concrete*. Blackie, (S. 63 – 91). Glasgow and London.

SCHADAUER, Klemens. (2012). „Hilft die Holznutzung dem Klima?“ in *Holz – Energiequelle der Zukunft*“ BFW Praxisinformationen Nr. 28-2012, S. 3 – 4.
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft: Wien.

SCHERNBERGER, Kenneth (2011): *Holzspanbeton-Verbunddecken. Übersicht bestehender Ansätze und Versuche mit handelsüblichen Holzspänen*. Masterarbeit. TU Wien, Wien. Fakultät für Architektur und Raumplanung

SCHMIDT, Thomas BSc (2016): *Einsatzmöglichkeiten von Holzleichtbeton-Konstruktionen und zementgebundenen Holzwerkstoffen im Bauwesen*. Unveröff. Diplomarbeit. Technische Universität, Wien. Institut für Architekturwissenschaften, Abteilung für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau.

SCHWEINBERGER, Josef. (2011): „Praktische Aspekte bei der Anlage von Kurzumtriebsflächen.“ In: *Innovative Energiepflanzen – Erzeugung und Verwendung von Kurzumtriebsholz*. Broschüre der Tagung zur Biomasse 2011: Herausgeber NÖ Landes-Landwirtschaftskammer, BLT Francisco Josephinum Wieselburg.

SEIFRIED, Udo (1989). *Vergleichende Untersuchungen an Zellstoffen für die chemische Weiterverarbeitung unter besonderer Berücksichtigung von Zellstoffen aus jungem Pappelholz*. Unveröff. Diss. Techn. Hochschule Darmstadt.

SHKODRA, Zija. (1984). *Qyteti shqiptar gjate rilindjes kombetar*. Tirane: Akademia e Shkencave e RPS te Shqiperise.

SHKURTI, Spiro. (1989). *Etnografia Shqiptare*.

SHKURTI, Spiro. (1997). *Der Mythos vom Wandervolk der Albaner: Landwirtschaft in den albanischen Gebieten (13.-17.Jhdt.)*. Wien: Böhlau.

SHULC, Kristian Norberg. (2002). *Egzistencija prostor i arhitektura*. Maxum.

SIEBERTZ, Paul (1910). *Albanien und die Albanesen: Landschafts- und Charakterbild*. Wien: Manz'schen k.u.k. Hof-Verlags und Universitätsbuchhandlung.

SIMATUPANG, M.H. & LANGE, H.. (1987). Einfluss der Lagerung von Pappel, Birke, Eiche und Lärche sowie des Zusatzes von SiO₂-Feinstaub auf die Biegefestigkeit zementgebundener Spanplatten. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 45, S. 131-136

SOMER, Elif Melek (2008). *Aspekte der Nachhaltigkeit im Urbanen Wohnbau von Schwellenländern – Entwicklung eines mehrgeschossigen Holzbauprototyps für die Türkei. Untersuchungen zur Berücksichtigung von Sozialverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit, Bautechnik, Ressourcen- und Umweltschonung*. Unveröff. Diss. Technische Universität Wien.

STADTMÜLLER, Georg. (1966). *Forschungen zur albanischen Frühgeschichte*. Wiesbaden: Harrassowitz (Albanische Forschungen 2).

STANTON, Brian. (2012). "The genius Populus in North America: an overview of plantation operations and domestications approaches." In: Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb. Tagungsbericht Universitätsverlag Göttingen.

Statistical Office of Kosovo – SOK. (2003). *Kosova dhe Popullsia e saj*. Prishtine: SOK

Statistical Office of Kosovo – SOK. (2001). *Pasqyre statistikore mbi bizneset e regjistruara ne Kosove (deri 09/2001)*. Prishtine: SOK.

STEIN, M.; BERGSAKER, E.; MUJA, I.; DALE, T.; KOLSTAD, J. (2013). Kosovo National Forest Inventory 2012. Government of Norway, Prishtina.

STEINMETZ, Karl. (1908). *Von der Adria zum Schwarzen Drin (Reisen und Beobachtungen)*. Kajon: Heft 6.

STEINMETZ, Karl (1904). *Eine Reise durch die Hochlaendergaue Oberalbaniens (Reisen und Beobachtungen)*. Kajon

STOLL, Bettina. (2011). Vergleich unterschiedlicher Anbaumethoden von Energieholzplantagen. Unveröff. Diss an der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August-Universität Göttingen.

STRUCK, Adolf. (1910). *Mistra, eine mittelalterliche Ruinenstadt*. Wien: Hartleben.

SUFFLAY, Milan. (1924). *Städte und Burgen Albaniens*. Wien: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften.

SVANDA, N. (2013). "Building Bridges – Brückenschlag zwischen internationaler Humanitärer Hilfe und Entwicklungszusammenarbeit: Der Beitrag der Stadtentwicklungsplanung." Unveröff. Univ. Diss. Technische Universität Wien.

TEIBINGER, Martin, DOLEZAL, Franz & MATZINGER Irmgard. (2009). *Deckenkonstruktionen für den mehrgeschoßigen Holzbau (Schall- und Brandschutz).Detailkatalog*. Wien: Holzforschung Austria.

THOMAS, N.L. & BIRCHALL, J.D. (1983) *The Retarding action of sugars on cement hydration*. Cement and Concrete Research, Vol. 13, S. 830-842

UNFPA UN House. (2005). *Situata demografike, sociale dhe riprodhuese ne Kosove*. Prishtine: ESK

UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO). (2004). *Cultural Heritage in South-East Europe: Kosovo*.

URBONAS, D. Heinz,: Holzbau der Zukunft. TP 16: Holzbeton. Untersuchung. TU München, München. cbm Centrum Baustoffe und Materialprüfung

URBONAS, Liudvikas, HEINZ, Detlev, KRIPPNER, Roland & NIEBLER, Dagmar. (2009). *Schnell erhärtender Holzleichtbeton. Teil 1: Hydratationsmechanismen und physikalisch-technische Eigenschaften der Holzbetone*. Zeitschrift: Holztechnologie. Jg.50.Nr.4 (S.26-31).

UROSEVIC, Atanasije. (1975). *Toponimi Kosova*. Beograd: Srpska Akademija Nauka i Umetnosti.

VENTURI, Robert. (1989). *Slozhenosti I protivreqnosti u arhitekturi*. Novi Dani.

VENTURI, Robert. (2001). *Slozhenosti I protivreqnosti u arhitekturi*. Maxum.

VÖCKLER Kai. (2008). *Prishtina is Everywhere. Turbo-Urbanismus als Resultat einer Krise*. Berlin: Parthas-Verlag.

VITRUVIJE (2002). *Deset knjiga o arhitekturi*. Maxum.

WEINGARTMANN, Herbert. (2011). „Trocknung von Kurzumtriebsholz“. In: Innovative Energiepflanzen – Erzeugung und Verwendung von Kurzumtriebsholz. Broschüre der Tagung zur Biomasse 2011: Herausgeber NÖ Landes-Landwirtschaftskammer, BLT Francisco Josephinum Wieselburg.

WINTER, W. & FADAI, A. (2014) Ressourceneffiziente Konstruktionen in Holzleichtbeton-Verbundbauweise. In: Bautechnik 91, Heft 10

Internetseiten

<http://www.kulturchannel.at/?aArid=3590&pagetype=detail> (Abbildung 10 und 11)
aufgerufen am 01.05.2009 um 18 Uhr 09

<http://sfmp-ks.org/index.php?lang=1&mod=home&hid=1>
aufgerufen am 03.05.2009 um 17 Uhr 10

[http://www.galeriashqiptare.net/albums/harta/KOSOVA_3D_Overview_\(Terrain%2CGeographic_Features_and_Municipalities\).jpg](http://www.galeriashqiptare.net/albums/harta/KOSOVA_3D_Overview_(Terrain%2CGeographic_Features_and_Municipalities).jpg)
aufgerufen am 04.05.2009 um 18 Uhr

http://www.ks.gov.net/esk/index.php?option=com_content&view=article&id=104&Itemid=92
aufgerufen am 15.05.2009 um 00:59

http://www.pbase.com/agroni/kosova&usg=__1-YZtFzKfju_x97fd4Bfrp6Mwwk=&h=107&w=160&sz=4&hl=de&start=4&um=1&tbnid=OEx_S3htDkUwLM:&tbnh=66&tbnw=98&prev=/images%3Fq%3DHamman%2BPrishtina%26hl%3Dde%26sa%3DG%26um%3D1
aufgerufen am 17.05.2009 um 21:05

<http://www.politika.rs/rubrike/Nekretnine/Tarolit-za-ushtedu.lt.html>
aufgerufen am 14.04.2012 um 23:31

http://www.fragmat.si/download/ceniki/cenik_2011_TI_v2.pdf
aufgerufen am 14.04.2012 um 02:49

<https://www.rks-gov.net/sq-AL/Qytetaret/AmbientiDheNatyra/Pages/Pyjet.aspx>
aufgerufen am 18.04.2012 um 18:25

http://www.mbpzhr-ks.net/advCms/documents/60485_115288_Plani_per_bujqesi_pylltari_dhe_zhvillim_rural.pdf
aufgerufen am 18.04. um 18:59

http://www.bauen.com/service/lexikon/baulexikon/656_Zement.html
aufgerufen am 21.04. um 23:21

http://www.bauen.com/service/lexikon/baulexikon/138_Beton.html
aufgerufen am 21.04. um 23:25

http://de.tamak.ru/index.php?module=pages&action=view&page=cement_shavings
aufgerufen am 23.04. um 22:59

<http://www.isorocholding.at/de/node/1>
aufgerufen am 30.04.2013 um 00:56
<http://www.schwarzpappel.de/html/erlebtes.html>
aufgerufen am 30.04.2013 um 1:16

<http://www.proholz.at/holzarten/pappel-aspe/>
aufgerufen am 02.05.2013 um 16:00

http://www.holz-von-hier.de/waldbesitzer-info/Forst_Holzmarkt_hr.pdf
aufgerufen am 06.05.2013 um 22:00

http://ec.europa.eu/agriculture/statistics/indicators/rd-2012/c17_en.pdf
aufgerufen am 17.05.2013 um 23:12

http://www.planet-wissen.de/natur_technik/wald/waldsterben/zukunft_wald.jsp
aufgerufen am 17.05.2013 um 23:30

<http://www.schwarzpappel.de/html/erlebtes.html>
aufgerufen am 24.05.2013 um 22:10

http://www.baunetz.de/dl/562625/BAUNETZWOCHE_97_2008.pdf
aufgerufen am 04.09.2013 um 19:00

http://www.masht-gov.net/advCms/documents/Statistikat_e_Arsimit_neKosove_2012_13%20_1.pdf
Bäume und Sträucher in Agroforstsystemen, aufgerufen am 30.07.2014 um 14:03

<http://www.agroforst.de/3-gehoelze.html#populus>
aufgerufen am 05.08.2014 um 18:10

<http://de.climate-data.org/location/194783/>
Clima Data Org, aufgerufen am 08.09.2014 um 20:10

http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/holz/energie/bfw_kosten_kurzumtriebsflaeche/index_DE
aufgerufen am 04.11.2016

<https://www.bauwion.de/>
aufgerufen am 24.11.2016

http://www.mm-holz.com/fileadmin/user_upload/Transfer_Faschingbauer/MMK/Pressemitteilung_02_09_2015.pdf
aufgerufen am 25.11.2016

<https://kk.rks-gov.net/gjakove/City-guide/QtyeteTriZonaGjakove.aspx>
Bevölkerungsstatistik und humane Ressourcen der Gemeinde Gjakova,
aufgerufen am 01.02.2014 um 20:25

<https://esk.rks-gov.net/ENG/home>
Kosovo key factors of the Kosovo Agency of Statistics,
aufgerufen am 17.02.2014 um 22:34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Sequentielle Darstellung der Themenbereiche der Arbeit	4
Abbildung 2: Geografische Darstellung des Kosovo	5
Abbildung 3: Bergbau im Kosovo	7
Abbildung 4: Alterspyramide nach Geschlechtern getrennt	9
Abbildung 5: Ethnische Minderheiten im Kosovo	10
Abbildung 6: Turbourbanismus in Prishtina	12
Abbildung 7: Ruinen der Burg von Zvecan in Mitrovica Kosovo	15
Abbildung 8: Helme von illyrischen Soldaten	15
Abbildung 9: illyrische Festung	20
Abbildung 10: Elisodiale Kasolle mit Steinen und Strohdach	20
Abbildung 11: Kasolle aus Weide und Lehm	21
Abbildung 12: Kasolle aus Lehmziegel	21
Abbildung 13: runde Kasollen aus Weidenstäben und vertikalen Latten	27
Abbildung 14: ovale Kasollen: Weidenkonstruktion mit Stroh	22
Abbildung 15: elipsoidale Kasollen aus Weidenstäbenkonstruktion	22
Abbildung 16: apsidodiale Hütten mit Weidenholzplatten und Steinwänden	23
Abbildung 17: Schnitt einer apsidodialen Hütte aus Weidenholzplatten	23
Abbildung 18: rechteckige Kasollen mit 4 verschiedenen Wänden	24
Abbildung 19: Skizze der Festung Kalaja in Prizren	24
Abbildung 20: die Festung Kalaja heute	24
Abbildung 21: eine Brücke im Stil römischer Architektur	25
Abbildung 22: Patriarchenkloster in Peje	25
Abbildung 23: Kloster in Deqan	25
Abbildung 24: Erzengelkloster in Prizren	26
Abbildung 25: Hammam in Prishtine	28
Abbildung 26: Hadum Moschee in Gjakove	28
Abbildung 27: Geschäftslokal aus Holztragwerken mit Sichtschutz	27
Abbildung 28: Geschäftslokal aus Holztragwerken mit Sichtschutz	27
Abbildung 29: Vorbaukonstruktion aus Holz	28
Abbildung 30: Ecklokal aus Holz	28
Abbildung 31: Erker aus Holz auf einer 3-stufigen Balkentragwerkslösung Und Holzbalkendachstuhl mit Vordachbalken	30
Abbildung 32: Holzbalkendecke in einer Kulla mit Hohlräumen	31

Abbildung 33: eine Kulla in Peje	31
Abbildung 34: Kulla in Decan/Kosovo	31
Abbildung 35: Vorder- und Seitenansicht einer Kulla mit Holztragwerk	32
Abbildung 36: Holzdecke einer Ode in einer Kulla	32
Abbildung 37: Holzdecke einer Ode in einer Kulla	32
Abbildung 38: Balkendecke aus Eichenholz aus einer Kulla	33
Abbildung 39: typisches altes Bürgerhaus in Gjakova – Planskizzen	35
Abbildung 40: Vorderansicht des Hauses aus Abb. 39	35
Abbildung 41: Seitenansicht des Hauses aus Abb. 39	35
Abbildung 42: Holzdecke und Säulen im Erdgeschoss	36
Abbildung 43: Holzdecke und Säulen im Erdgeschoss	36
Abbildung 44: Post in Gjakova	37
Abbildung 45: Bankgebäude in Gjakova	37
Abbildung 46: ein Wohnkomplex in Gjakova	37
Abbildung 47: schlichte Betongebäude	37
Abbildung 48: mehrgeschossiges Wohngebäude aus Tonziegeln	38
Abbildung 49: Stadtzentrum in Gjakova „Turbourbanismus“	38
Abbildung 50: Gebäude in Gjakova	39
Abbildung 51: Gebäude in Gjakova – Geschäftslokale und Wohnungen	39
Abbildung 52: Hotel – Betontragwerk mit verspiegeltem Glas	42
Abbildung 53: Panoramabild des Marktviertels in Gjakova „Qarshija e vjeter“	43
Abbildung 54: Wohnhaus Hani Haracis	44
Abbildung 55: Innenbereich des Hauses	44
Abbildung 56: Ausdehnung der Stadt Gjakova nach 1945	44
Abbildung 57: Oasenurbanismus in Gjakova	47
Abbildung 58: Entwicklung der urbanen Zonen	47
Abbildung 59: der alte Markt „Qarshija e vjeter“	49
Abbildung 60: Entwicklung des neuen Viertels „Blloku i ri“	50
Abbildung 61: Panoramablick vom Hügel „Qabrat“ in Gjakova	50
Abbildung 62: Nationalbibliothek in Prishtina, erbaut 1982	51
Abbildung 63: Darstellung der Verwendung einer Tarolitplatte	54
Abbildung 64: Pappelholzwolle und Mineralpulver zur Herstellung von Tarolit	55
Abbildung 65: Tarolitplatte mit Styropor	57

Abbildung 66: Tarolitplatte	58
Abbildung 67: Tarolitplatte mit einer Styroporplatte	58
Abbildung 68: Tarolitplatte mit zwei Styroporplatten	58
Abbildung 69: Bürgerliches Haus aus dem 18.Jhd.	60
Abbildung 70: Bürgerliches Haus aus dem 18. Jhd.	60
Abbildung 71: typisches Bild eines Dorfes im Kosovo (Kullas, hohe Mauern)	61
Abbildung 72: typisches Bild eines Dorfes im Kosovo (Kullas, hohe Mauern)	61
Abbildung 73: die neueren Wohngebäude am Land	62
Abbildung 74: Skizze für ein typisches Haus in den Bergen	63
Abbildung 75: Haus in der Bergen aus Lehm und Holz	64
Abbildung 76: Almhaus aus Holz und Stroh	64
Abbildung 77: dazugehöriges Holzgatter für das Nutzvieh mit Unterstehmöglichkeit	65
Abbildung 78: Arbeiter beim Versuch Tarolit-Deckenelement zu entfernen	79
Abbildung 79: Ansicht der Decke von unten, Tarolitplatte/Stahlbetonträger	79
Abbildung 80: durchgestemmtes Loch mit Sägespänen	79
Abbildung 81: Sägespäne in der Tarolit-Platte	79
Abbildung 82: die Wand ist aus mehreren länglichen Taroli-Platten gebaut	80
Abbildung 83: Ansicht der Decke	80
Abbildung 84: Diagramm Temperaturverläufe	81
Abbildung 85: Weinlagerhalle Rahovec aus Tarolit	82
Abbildung 86: Weinlagerhalle in Rahovec aus Tarolit	82
Abbildung 87: nähere Ansicht der Eckverbindung der Tarolitplatten	82
Abbildung 88: nähere Ansicht der Eckverbindung der Tarolitplatten	82
Abbildung 89: Vorderansicht der Maschinenhalle mit Tarolitplatten	83
Abbildung 90: Tarolitplatten in Lagerhalle, wie sie wiederverwendet werdend	83
Abbildung 91: Tarolitplatten in Lagerhalle, wie sie wiederverwendet werdend	83
Abbildung 92: Tarolitplatten in Lagerhalle, wie sie wiederverwendet werdend	83
Abbildung 93: Wand mit Tarolitplatten	84
Abbildung 94: Jahreszahl 1964 eingeritzt in Tarolitplatte (Altersnachweis)	84
Abbildung 95: Tarolitplatte wird gewogen (250 kg)	84
Abbildung 96: Tarolitplatten von der Seitenansicht	84
Abbildung 97: Waldbestände im Kosovo	85
Abbildung 98: Aufteilung der industriell verwendeten Holzarten im Kosovo	87

Abbildung 99: Verbrauch der Holzbiomasse nach m ³ /ha	90
Abbildung 100: Ackerflächen in der Nähe von Gjakova	114
Abbildung 101: Ackerflächen in der Nähe von Gjakova	114
Abbildung 102: Ackerflächen in der Nähe von Gjakova	114
Abbildung 103: Darstellung des Verlaufes des sequentiellen Anbaus	115
Abbildung 104: Planungsverlauf einer Fabrik	118
Abbildung 105: Einordnung der Prozess- und Ressourcenplanung nach Schuh	119
Abbildung 106: Luftbild von möglichem Grund für Produktionsanlage und Ackerfläche für Kurzumtrieb	123
Abbildung 107: mögliche Produktionshalle – Außen- und Innenansicht	123
Abbildung 108: Holzwollezementplatten Eltomationsanlage	124
Abbildung 109: Holzwolle auf dem Förderband angeordnet	124
Abbildung 110: Anlage zur Herstellung von Holzwollezementplatten	125
Abbildung 111: Holzzementplatten werden gepresst und getrocknet	125
Abbildung 112: Produktionsablauf von Holzwollebetonplatten der Fa Velox	127
Abbildung 113: Deckensysteme mit möglichen Fußboden und Untersichtb.	131
Abbildung 114: Verbundsysteme von McCullough (1932)	133
Abbildung 115: HBV-Konstruktion von Seiler (1932) mit dreieckigen Stahlblechen	134
Abbildung 116: Spannungsverteilung von Trägern im Verbund	138
Abbildung 117: Überblick über die unterschiedlichen Verbundarten bei HBV	139
Abbildung 118: Angenommene Spannungsverteilung für den zweiteiligen HBV	143
Abbildung 119: Probekörper von Feix, Fleck, Meixner und Thaler	144
Abbildung 120: Darstellung der Montage eines HBV-Deckensystems	144
Abbildung 121: Versagensarten bei den HBV-Systemen mit Formschluss	145
Abbildung 122: Prototyp eines TT-Elements mit 6 m Spannweite	146
Abbildung 123: Stabmodell eines HBV-Elements im Schwindprozess	146
Abbildung 124: Verformungsbilder des TT-Elements	147
Abbildung 125: Definition der Verbindungsdistanzen	148
Abbildung 126: Rahmenmodell/Trussmodell	149
Abbildung 127: Formel zur Berechnung der Biegesteifigkeit / Rahmenmodell	149

Abbildung 128: Balkensystem entsprechend der Scheranalogiemethode	149
Abbildung 129: Formel zur Berechnung der effektiven Biegesteifigkeit	150
Abbildung 130: Konventionelle Auflagerausbildung	150
Abbildung 131: Auflagerausbildung neu	150
Abbildung 132: Deckenelement XC von MMK	151
Abbildung 133: Deckenelement XC von MMK	152
Abbildung 134: Entwurf für ein Deckenelement	154
Abbildung 135: Querschnitt Deckenelement	154
Abbildung 136: Holz-Beton-Holzbeton-Verbund	154
Abbildung 137: Holzleichtbetonplattenelement	155
Abbildung 138: Holzleichtbetonplattenelement	155
Abbildung 139: Entwurf für ein Deckenelement	155
Abbildung 140: Querschnitt vom Prototyp	155
Abbildung 141: Deckenelemente mit Stahlstangen verbunden	156
Abbildung 142: Holz-Beton-Holzleichtbetondeckenelemente in Gebäude	157
Abbildung 143: Querschnitt von Deckenelement	158
Abbildung 144: Querschnitt von Deckenelement	158
Abbildung 145: entwickelter Prototyp für Deckenelement	159
Abbildung 146: Verbund P01 im Querschnitt/Dimensionen	161
Abbildung 147: Verbund P02 im Querschnitt/Dimensionen	161
Abbildung 148: Verbund P03A im Querschnitt/Dimensionen	162
Abbildung 149: Verbund P04 im Querschnitt/Dimensionen	162
Abbildung 150: Spax Senkkopf T-Star plus Holzschrauben	164
Abbildung 151: HECO Multi Monti Timber Connect (MMS-TC)	164
Abbildung 152: HECO Topix CC	165
Abbildung 153: Balken auf der Wood Mizer LT 15 vor dem Schnitt	166
Abbildung 154: Balken auf der Wood Mizer LT 15 während dem Schnitt	166
Abbildung 155: Abmessungen des Balkens	166
Abbildung 156: Balken zusammengefügt	166

Abbildung 157: Querschnitt des Deckenelements in HBHLB-Verbund	167
Abbildung 158: Vorbereitung für Stege	167
Abbildung 159: Balken mit gesägten Stegen	167
Abbildung 160: Befestigung der Holzbretter auf Unterseite	168
Abbildung 161: Befestigung der Holzbretter auf Unterseite	168
Abbildung 162: Befestigung der U-Profile mit Holzschrauben	168
Abbildung 163: befestigte U-Profile	169
Abbildung 164: Balken mit Profilen gestapelt	169
Abbildung 165: Einfügen der Veloxplatten	169
Abbildung 166: Einfügen der Veloxplatten	169
Abbildung 167: eingeschobene Veloxplatten im Bauteil	170
Abbildung 168: Spax Senkkopf mit Holzschraube seitlich	170
Abbildung 169: Spax Holzschraube zwischen Balken und Velox	171
Abbildung 170: Bauteil P01 mit Holzschrauben	171
Abbildung 171: Träger P02A auf Auflagern	172
Abbildung 172: Träger P02A nach dem Bruch	172
Abbildung 173: zweite VELOX-Platte vor Betonierung	172
Abbildung 174: Bauteil P04A betoniert	172
Abbildung 175: Auftragen des Betons bei beiden Konstruktionen	173
Abbildung 176: Auftragen des Betons bei beiden Konstruktionen	173
Abbildung 177: Versuchsaufbau mit Maßen, Auflagern und Lasteinleitung	175
Abbildung 178: axonometrische Darstellung Lastverteilung	176
Abbildung 179: Schematische Belastungskurve	177
Abbildung 180: Prüfstand ohne Bauträger	177
Abbildung 181 Prüfstand mit Bauträger	177
Abbildung 182: Prüfstand mit Steuerung	178
Abbildung 183: Computer zur Datenerfassung und Diagrammerstellung	178
Abbildung 184: Darstellung der Positionen der Messmittel auf dem Bauträger	178
Abbildung 185: Anordnung des Bauteils P01 in Prüfanlage	179

Abbildung 186: Anordnung des Bauteils P01 in Prüfanlage	179
Abbildung 187: Planimetrische und axonometrische Darstellung P01/P01A	181
Abbildung 188: Belastungsbruch Bauteil P01	182
Abbildung 189: Bruch beim Bauteil P01	182
Abbildung 190: Bruch im Beton P01	183
Abbildung 191: Bruch beim Bauteil P01	183
Abbildung 192: Kraft-Weg-Diagramm von Bauträger P01	184
Abbildung 193: Bruch des Bauteils P01A	185
Abbildung 194: Bruch P01A	185
Abbildung 195: Bersten des Balkens P01A	185
Abbildung 196: Kraft-Weg-Diagramm vom Bauträger P01A	186
Abbildung 197: Planimetrische und axonometrische Darstellung P02/P02A	187
Abbildung 198: Bruch des Bauteils P02A	188
Abbildung 199: Beginnender Bruch P02A	188
Abbildung 200: Öffnung der Betonplatte nach Bruch	188
Abbildung 201: Kraft-Weg-Diagramm vom Bauträger P02A	189
Abbildung 202: Bruchbild Bauteil P02B	189
Abbildung 203: Bruch unter hydraulischem Einzelprüfzylinder	190
Abbildung 204: Kraft-Weg-Diagramm vom Bauträger P02B	190
Abbildung 205: Planimetrische und axonometrische Darstellung P03A	191
Abbildung 206: Bruchbild P03A	192
Abbildung 207: Bruch des Balkens Nähe des Astes P03A	192
Abbildung 208: Verschiebung der Betonplatte nach Bruch P03A	192
Abbildung 209: Kraft-Weg-Diagramm vom Bauträger P03A	193
Abbildung 210: Planimetrische und axonometrische Darstellung P04A/P04B	194
Abbildung 211: Bruchbild P04A	195
Abbildung 212: Bauteil P04A im Querschnitt vor Bruch	195
Abbildung 213: Bruch des Bauteils P04A	195
Abbildung 214: Bruch der Holzbeton-Verbindung und der Velox-Platte P04A	195

Abbildung 215: Kraft-Weg-Diagramm vom Bauträger P04A	196
Abbildung 216: Bruchbild P04B	197
Abbildung 217: Bruch Bauteil P04B	197
Abbildung 218: Bruch Betonplatte an beiden Belastungspunkten P04B	197
Abbildung 219: Kraft-Weg-Diagramm vom Bauträger P04B	198
Abbildung 220: Grundform 1 (P01A bis P03A)	202
Abbildung 221: Grundform 1 in Stahlbeton	202
Abbildung 222: Grundform 2 (P04A und P04B)	203
Abbildung 223: Grundform 2 in Stahlbeton	203
Abbildung 224: Biegesteifigkeit mit Nullverbund und starrem Verbund	204
Abbildung 225: Position der Messmittel M03 und M06	204
Abbildung 226: Querschnitt vom Bauträger P01	205
Abbildung 227: Biegebelastung Bauteil P01 im Vergleich	205
Abbildung 228: Querschnitt vom Bauträger P01A	206
Abbildung 229: Biegebelastung Bauteil P01A im Vergleich	206
Abbildung 230: Querschnitt vom Bauträger P02A	207
Abbildung 231: Biegebelastung Bauteil P02A im Vergleich	207
Abbildung 232: Querschnitt vom Bauteil P02B im Vergleich	208
Abbildung 233: Biegebelastung Bauteil P02B im Vergleich	208
Abbildung 234: Querschnitt vom Bauteil P03A	209
Abbildung 235: Biegebelastung Bauteil P03A im Vergleich	209
Abbildung 236: Querschnitt vom Bauteil P04A	210
Abbildung 237: Biegebelastung Bauteil P04A im Vergleich	210
Abbildung 238: Querschnitt vom Bauteil P04B	211
Abbildung 239: Biegebelastung Bauteil P04B im Vergleich	211
Abbildung 240: Anordnung der Messmittel M40, M41, M42 und M43	214
Abbildung 241: Vergleich der Biegesteifigkeiten der 7 Bauträger	215
Abbildung 242: Vorderansicht	217
Abbildung 243: Hinteransicht	217

Abbildung 244: Skizze Erdgeschoss	219
Abbildung 245: Skizze erster Stock	219
Abbildung 246: Schnitt Erdgeschoss	220
Abbildung 247: Holztragewerk des Kindergartens	220
Abbildung 248: Details der Mauer und des Deckenelements	221
Abbildung 249: Holztragewerk mit eingelassenen Balken	222
Abbildung 250: Balken mit Holzlatten	222
Abbildung 251: Decke mit Betonschicht	222
Abbildung 252: Anbringung von U-Profilen	222
Abbildung 253: Wandtragwerk aus Holzbalken	223
Abbildung 254: Holzbalken mit Holzbeton	223
Abbildung 255: Innenwand mit Rigipsverkleidung	223
Abbildung 256: Rigipsplatten mit Eckwinkeln	223
Abbildung 257: Ausschnitt aus allen Lagen der verwendeten Baumaterialien	224
Abbildung 258: Planimetrische Ansicht der Decke von oben	225
Abbildung 259: Schnitt A-A	225
Abbildung 260: Schnitt B-B1	226
Abbildung 261: Schnitt C-C	226

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bevölkerungswachstum im Kosovo zwischen 1953 und 2000	8
Tabelle 2: Differenzierung der Bevölkerung nach Ländervergleich	9
Tabelle 3: Kennwerte von Tarolitplatten in unterschiedlichen Dimensionen	57
Tabelle 4: Übersicht der unterschiedlichen Holzbetonmaterialien	77
Tabelle 5: Zeitprotokoll über Temperaturverlauf innerhalb 1 Woche in Weinlagerhalle	81
Tabelle 6: Nutzung des Holzes aus den Wäldern in m ³ getrennt nach Regionen	86
Tabelle 7: Anzahl der gewerblich gemeldeten und nicht gemeldeten Sägewerke sowie deren Verarbeitungsmengen im Jahr 2013	89
Tabelle 8: verwendete Energieformen zum Heizen im Kosovo	89
Tabelle 9: Rohdichte der Schwarzpappel im Vergleich	92
Tabelle 10: Elastizität, Festigkeit und Härte der Schwarzpappel	93
Tabelle 11: Nährstoffentzüge (kg/ha/Jahr) je nach Zuwachsraten der Biomasse	108
Tabelle 12: Darstellung der einzelnen Produktionsbereiche	121
Tabelle 13: Plattendicke und -dichte von den WWCB hergestellt auf Eltomationanlagen	125
Tabelle 14: Kostenübersicht über Investitionskosten für eine Produktionsanlage	128
Tabelle 15: Übersicht über verschiedene Holz-Verbund-Systeme	141
Tabelle 16: Eigenschaften von VELOX WS 50 Platten	163
Tabelle 17: Konstruktionsmerkmale der unterschiedlichen Bauteile	175
Tabelle 18: Berechnung von Biegesteifigkeiten mit theoretischen Werten Grundform 1	202
Tabelle 19: Berechnung von Biegesteifigkeiten mit theoretischen Werten Grundform 2	203
Tabelle 20: Darstellung der Belastungen in kN beim Totalbruch (TB) und den maximal zulässigen Durchbiegungen l/300 und l/500	212
Tabelle 21: Überblick über die Biegesteifigkeiten in Prozent der Bauträger im Vergleich zum Nullverbund (NV) und starrem Verbund (SV).	213
Tabelle 22: Verschiebungswerte von Holz und Beton	214