Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist in der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt und zugänglich.
http://www.ub.tuwien.ac.at

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology.
http://www.ub.tuwien.ac.at/eng

DIPLOMARBEIT

“VORFERTIGUNG IN 2D UND 3D”

ENTWICKLUNGEN IM MASSIVHOLZBAU
VORTEILE UND NACHTEILE DER TAFEL- UND RAUMZELLENBAUWEISE MIT BRETTSPERRHOLZ

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades einer

Diplom-Ingenieurin

unter der Leitung

Em.o.Univ.Prof. DDI Wolfgang Winter

Institut für Architekturwissenschaften
E 259.2 Abteilung für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau

und

Univ.Prof. Arch. Dipl.-Ing. Dr.techn. Heinz Johann Priebernig

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Anna Judit Borosnyai BSc.

01226604

Wien, am 06.11.2018

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für beiderlei Geschlecht. Des Weiteren wird bei allen im Text vorkommenden Personen auf die Bezeichnung ihrer akademischen Titel verzichtet.

ABSTRACT

The developments of the last decades have tried to increase the productivity in the construction sector. This objective has achieved a tremendous improvement in materials, bonding and processing techniques and new building methods in timber construction. Cross-laminated timber (CLT) was the result of a research for new uses for the byproducts of the sawmill industry. The development of solid-sawn lumber boards into a flat, massive and dimensionally stable element was a milestone in timber construction and opened new design opportunities for architects. Besides the quality improvement of the material, the current research projects with cross laminated timber focus on developing new building systems. Higher wages demand higher productivity. Because of these changes, prefabrication – off-site production - as a weather-independent, qualitative and particularly fast production method is becoming even more relevant.

This master's thesis is a study on the developments of timber construction with cross laminated timber and further a study on the advantages and disadvantages of panel and room module construction in terms of prefabrication, ecology, transport, time, cost and project management. This paper uses data from already realized projects in panel or room module construction with CLT. The differences of the two construction systems will be shown based on the comparison of the reference projects.

KURZFASSUNG

Die Entwicklungen der letzten Jahrzehnte haben versucht die Produktivität im Bauwesen zu steigern. Diese Zielsetzung hat dem Holzbau eine gewaltige Entwicklung bei Werkstoffen, Verbindungs- und Verarbeitungstechniken und neue Baumethoden gebracht. Brettsperrholz (BSP) war das Ergebnis einer Forschung nach neue Einsatzmöglichkeiten für die Seitenwaren der Sägeindustrie. Die Entwicklung vom stabförmigen Balken zum flächigen, massiven und dabei formstabilen Element war ein Meilenstein des Holzbaus, der der Architektur neue gestalterische Spielräume eröffnet hat. Neben der Qualitätsverbesserung des Materials fokussieren sich die aktuellen Forschungsprojekte mit Brettsperrholz auf die Entwicklung neuer Bausysteme. Höhere Löhne fordern höhere Produktivität und dadurch gewinnt die Vorfertigung - die Verlagerung der Produktion in die Werkstatt - als witterungsunabhängige, qualitative und vor allem schnelle Methode immer mehr an Bedeutung.

In der Diplomarbeit werden die Entwicklungen im Holzbau mit Brettsperrholz vorgestellt und im Weiteren die Vorteile und Nachteile der Tafel- und Raumzellenbauweise in Hinsicht auf Vorfertigung, Ökologie, Transport, Termine, Kosten und Projektentwicklung analysiert. Die Diplomarbeit basiert auf Daten von verwirklichten Projekten, die in Tafel- oder Raumzellenbauweise mit Brettsperrholz errichtet wurden. Anhand der Referenzprojekte werden die Unterschiede der zwei Bauweisen aufgezeigt.

INHALTSVERZEICHNIS

1_ HOLZBAU IN ÖSTERREICH 7
1_1_ Wald 8
1_2_ Wald in Österreich 9
1_3_ Holzindustrie in Österreich 10
1_4_ Holzprodukte in Österreich 11
2_ BRETTSPERRHOLZ 13
2_1_ Definition und Normierung 14
2_2_ Brettsperrholzproduzenten mit Zulassung in Österreich 16
2_3_ Zulassung 18
2_4_ Brettsperrholz 19
2_5_ Herstellung 20
2_6_ Vorteile 22
2_7_ Markt für Brettsperrholz 23
3_ BAUWEISEN 25
3_1_ Bauen mit Holz 26
3_2_ Entwicklung der Holzbauweisen 28
3_3_ Bauweisen im Holzbau 31
3_4_ Holzleichtbauweise 33
3_5_ Holzmassivbauweise 36
3_6_ Mischbauweisen 38
3_7_ Vorfertigung bei unterschiedlichen Bauweisen 39
4_ REFERENZPROJEKTE 41
4_1_ Mineroom Leoben 42
4_2_ Sozialzentrum Pillerseetal 44
4_3_ Seniorenwohnhaus Hallein 46
5_ TAFEL- VS. RAUMZELLENBAUWEISE MIT BRETTSPERRHOLZ 49
5_1_1_ Anwendung von Brettsperrholz 50
5_1_2_ Brettsperrholzbauweise 51
5_1_ VORFERTIGUNG 52
5_1_1_ Vorfertigung im Holzbau 53
5_1_2_ Rationalisierung am Bau 55
5_1_3_ Baustellenfertigung vs. Vorfertigung 56
5_1_4_ Vorfertigung in1D / 2D / 3D 57
5_1_5_ Vorfertigung vs. Individualität 58
5_1_6_ Vorfertigungsgrad 60
5_1_7_ Vorfertigungsgrad bei Brettsperrholzbauweise 61
5_1_8_ Raumzellen 62
5_1_9_ Produktion von Raumzellen 63
5_2_ ÖKOLOGIE 70
5_2_1_ Nachhaltigkeit 71
5_2_2_ CO_2-Reduktion 72
5_2_3_ Ökobilanzierung 73
5_2_4_ Ökoindex 74
5_2_5_ Lebenszyklus von Holz 76
5_2_6_ Rohstoffgewinnung 77
5_2_7_ Herstellung 78

5_2_8_ Nutzung 79
5_2_9_ Materialbedarf bei Brettsperrholzbauweise 80
5_2_10_ Wiederverwertung 83
5_3_ TRANSPORT 84
5_3_1_ Rohstoffgewinnung 86
5_3_2_ Produktion 87
5_3_3_ Transport auf die Baustelle 88
5_3_4_ Montage 92
5_4_ TERMINE 94
5_4_1_ Terminplanung 95
5_4_2_ Planungsablauf 96
5_4_3_ Phasenverschiebung durch Vorfertigung 97
5_4_4_ Produktionszeit 98
5_4_5_ Montagezeit 100
5_4_6_ Zeitersparnis durch Vorfertigung 101
5_5_ KOSTEN 102
5_5_1_ Kostenplanung 103
5_5_2_ Materialkosten 104
5_5_3_ Vorfertigung 105
5_5_4_ Transportkosten 106
5_5_5_ Baukosten 107
5_5_6_ Brettsperrholzbauweise 108
5_6_ PROJEKTENTWICKLUNG 110
5_6_1_ Gebäudehöhe 111
5_6_2_ Planung 112
5_6_3_ Flächen 114
5_6_4_ Zeitmanagement 115
5_6_5_ Kostenmanagement 116
5_6_6_ Ausschreibung und Vergabe 117
6_ WEITERENTWICKLUNG 119
6_1_ Brettsperrholz 120
6_2_ Brettsperrholzbauweise 121
6_3_ Raumzellenbauweise mit Brettsperrholz 123
7_ VERZEICHNISSE 129
7_1_ Literaturverzeichnis 130
7_2_ Abbildungsverzeichnis 141

1_ HOLZBAU IN ÖSTERREICH

1_1_ *Wald*

Seit 1946 stellt die Food and Agriculture Organisation (FAO) alle 5 bis 10 Jahren die Statistik der Wälder zusammen. Laut dieser Statistik war fast ein Drittel (31%) der Erdoberfläche in 2015 mit Wald bedeckt.(1) Zum Vergleich beträgt die Waldfläche der Europäischen Union 42 Prozent, die aber nur 4 Prozent der weltweiten Waldflächen ergibt.(2) Österreich gehört mit einer Waldausstattung von 47 Prozent zu den waldreichsten Ländern der Europäischen Union. Nur Finnland (75%), Schweden (68%) und Slowenien (58%) haben eine größere Anteil an Waldflächen.(3) Die österreichische Waldfläche von rund 4 Millionen Hektar entspricht der Größe der Schweiz.(4) Jedoch wird nicht die ganze von Wald bedeckte Fläche von Menschen bewirtschaftet, u.a. besitzt Österreich wegen der gebirgigen Struktur einen relativ hohen Anteil an Schutzwald (755.000 ha)(5)

(1) vgl. www.data.worldbank.org (20.11.2017)
(2) vgl. Sebauer (2013), S.15-17
(3) vgl. Höbarth (2006), S.10-12
(4) vgl. www.holzistgenial.at (20.11.2017)
(5) vgl. www.austria-forum.org (20.11.2017)

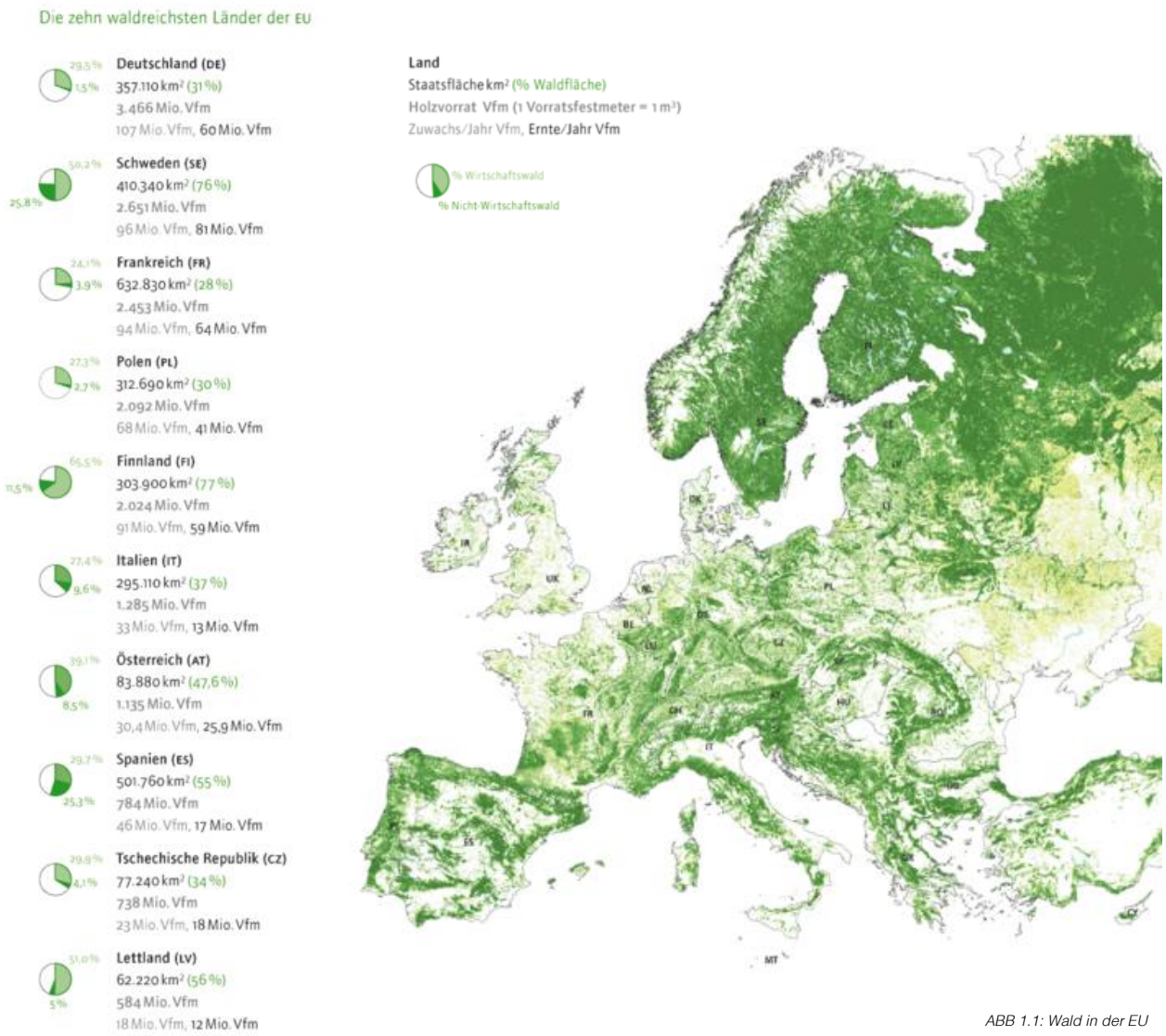


ABB 1.1: Wald in der EU

1_2_ *Wald in Österreich*

47 Prozent der Gesamtfläche Österreichs sind Wald. Die österreichische Waldfläche von 4 Millionen Hektar nimmt derzeit um 5.100 Hektar pro Jahr zu.[6] *Aber nicht nur die Waldfläche, sondern auch der Holzvorrat steigt. Von den 30,4 Millionen Kubikmeter Holzzuwachs pro Jahr werden derzeit nur 25,9 Millionen genutzt. Die restlichen rund 4 Millionen Kubikmeter Holz verbleiben im Wald und vergrößern stetig den Holzvorrat.*[7]

Der Großteil des österreichischen Waldes (82%) ist in Privatbesitz. 53 Prozent der privaten, beforsteten Waldflächen sind kleiner als 200 Hektar („Kleinwald"), 22 Prozent haben eine Waldfläche von mehr als 200 Hektar („Großwald"). Weitere zehn Prozent sind Gemeinschaftswälder, wie sie zum Beispiel von Agrargemeinschaften genutzt werden. Die Summe an öffentlichen Wäldern beträgt nur 18 Prozent. In der EU ist der Anteil an privatem Wald nur in Portugal höher.[8]

Durch ein strenges Forstgesetz wird die nachhaltige Bewirtschaftung des großteils privaten Waldes in Österreich sichergestellt. Es darf nicht mehr geerntet werden als nachwächst. Bei der Pflege und Nutzung der Wälder muss gesichert sein, dass biologische Vielfalt, Produktivität und Regenerationsvermögen jetzt und in Zukunft erhalten bleiben.

(6) vgl. Höbarth (2006), S.10-12
(7) vgl. www.holzistgenial.at (20.11.2017)
(8) vgl. www.bfw.ac.at (20.11.2017)

Waldanteil pro Fläche und Bäume pro Einwohner im jeweiligen Bundesland

Steiermark	61,4 %	705
Kärnten	61,2 %	1.009
Salzburg	52,5 %	498
Oberösterreich	41,6 %	304
Tirol	41,2 %	455
Niederösterreich	40,0 %	481
Vorarlberg	37,4 %	135
Burgenland	33,9 %	559
Wien	21,5 %	5

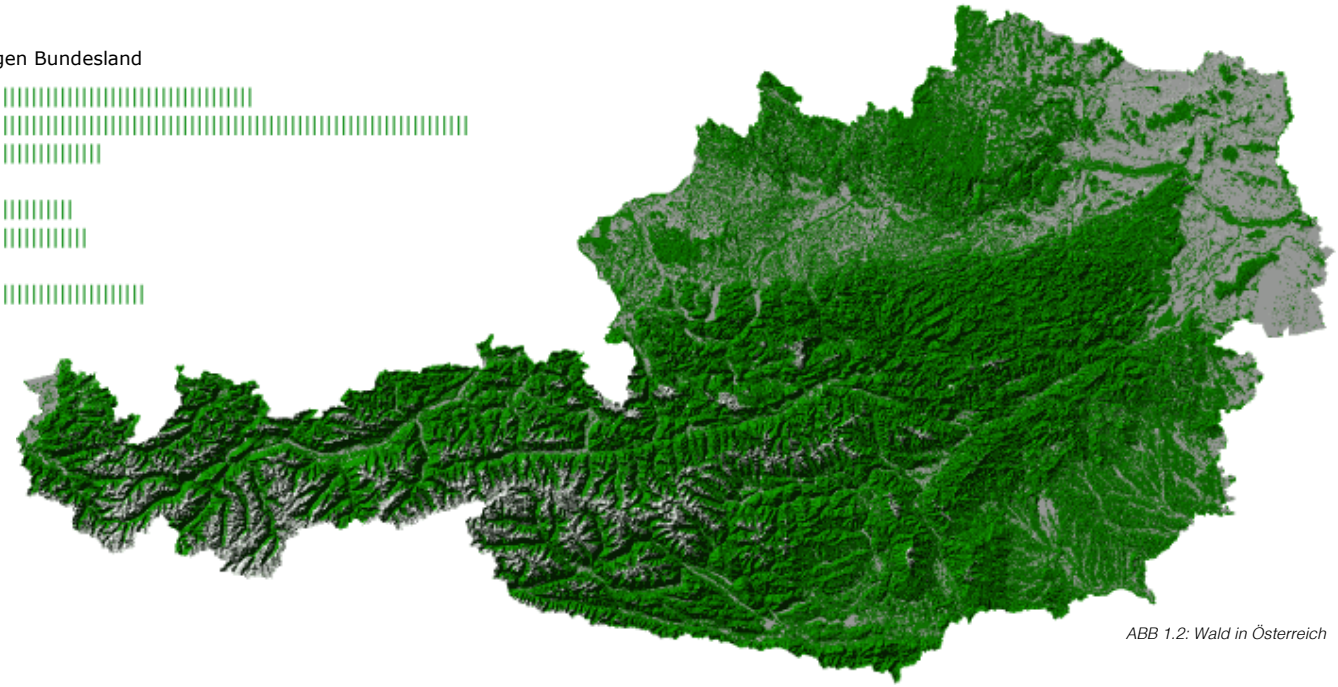


ABB 1.2: Wald in Österreich

1_3_ *Holzindustrie in Österreich*

In 2016 hat der Fachverband der Holzindustrie Österreichs 1.286 Betreibe, davon sind 1.044 Sägewerke, in eine Mitgliedschaft vereint. Er wurde in 1947 gegründet, jedoch nicht im heutigen Form. Nach der Zweiten Weltkrieg wurden die ersten Fachverbände und Fachgruppen der Holzindustrie als Ergebnis einer Verordnung des Bundesministeriums für Handel und Wiederaufbau gegründet und damit die professionelle Interessenvertretung der Holzwirtschaft eingeleitet. Erst in 2000 wurden der Fachverband der Holz verarbeitenden Industrie und der Fachverband der Sägeindustrie in einen Fachverband vereint.[9]

Die Holzindustrie zählt zu den größten Arbeitsgebern aller 17 Industriezweige Österreichs und beschäftigt derzeit rund 25.000 Personen.

Sie ist als bedeutender und sicherer Arbeitsgeber vor allem in strukturschwachen Regionen bekannt. Der Großteil der Betriebe ist klein- und mittelbetrieblich strukturiert und sie befinden sich fast ausschließlich in Familienhand.[10] *Obwohl über 80% der Betriebe Sägewerke sind, ist der Bedarf der Mitarbeiter wegen der hohen maschinellen Verarbeitung niedriger und ist nur ca. 34% der Beschäftigte in Sägewerken tätig.*

Neben der Interessenvertretung der Holzindustrie in Österreich treibt der Fachverband Forschung und Entwicklung und unterstützt viele Bildungs- und Forschungseinrichtungen, u.a. Holzforschung Austria, proHolz Austria und Holztechnikum Kuchl.[9]

proHolz Austria wurde in 1990 gegründet, um eine professionelle, hauseigene Marketingabteilung für die Imagearbeit für den Werkstoff Holz zu schaffen. Die erste Imagekampagne „Stolz auf Holz“ hat die damals negative Einstellung der Bevölkerung zur Nutzung der Wälder erfolgreich umgedreht. Seit 2001 erscheint die Fachzeitschrift Zuschnitt vierteljährlich und richtet sich an die Fachöffentlichkeit und Planer als Materialentscheidungsträger. Die Imagekampagne „Holz ist genial“ aus 2002 wurde in 2017 neugestartet, um die Zustimmung zur Waldbewirtschaftung in der Bevölkerung abzusichern und um zu einer positiven Stimmung für die Holzverwendung beizutragen.[9]

(9) vgl. WKO (2017), S.20
(10) vgl. www.wko.at (20.01.2018)

Fachverband der Holzindustrie Österreichs

HOLZ FORSCHUNG AUSTRIA

pro:Holz

ABB 1.3: Fachverband der Holzindustrie Österreichs, Holzforschung Austria, proHolz

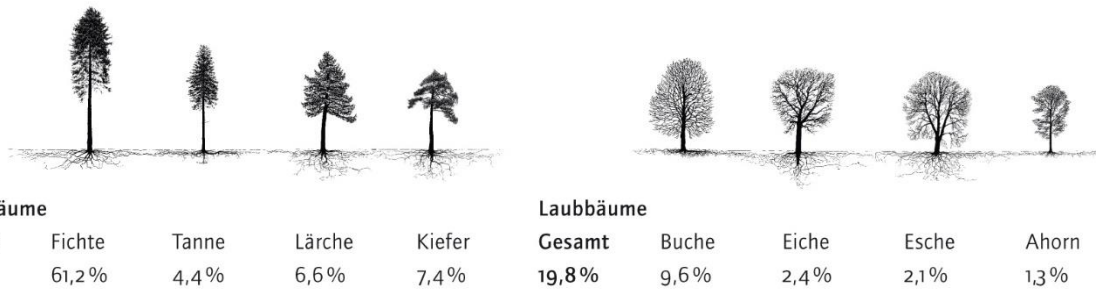
1_4_ *Holzprodukte in Österreich*

Die österreichischen Wälder sind durch eine Vielfalt an Baumarten geprägt. Rund 65 verschiedene Baumarten kommen vor. Der österreichischen Forst- und Holzwirtschaft wird damit die Ausschöpfung und Verarbeitung einer breiten Baumartenpalette ermöglicht.[11] *Je nach Eigenschaften werden die verschiedenen Holzarten für unterschiedliche Zwecke, wie für Möbel, Bauteile, Ski usw., eingesetzt. 80 Prozent der Bäume in Österreich sind Nadelbäume (Fichte, Tanne, Lärche, Kiefer usw.) und 20 Prozent Laubbäume (Buche, Eiche, Esche. Ahorn usw.). Die häufigste Baumart ist mit 61,2 Prozent die Fichte, die als Massivholz oder in Form verleimter Produkte (Brettschichtholz, Brettsperrholz) zum Einsatz kommt.*[12]

In Sägewerken wird fast ausschließlich Nadelholz (98%) eingeschnitten. Der Gesamtbedarf der Sägeindustrie liegt bei rund 17 Mio. Festmetern. Zusätzlich wird rund 3 Mio. Festmeter Industrierundholz in der Papier- und Plattenindustrie verarbeitet und der Bedarf steigt ständig. Der Energieholzbedarf ist in die letzten Jahrzehnte durch staatliche Förderprogramme und die stark gestiegenen Preise anderer Energieträger rasant gewachsen, wobei hier neben Nadelholz auch Laubholz zum Einsatz kommt. Wegen der nicht regulierten Markt und Preisbildung vom Holz wird nicht nur heimisches Holz verarbeitet, sondern auch importiert.[13] *Der Holzeinschlag betrug in 2015 rund 17,5 Mio. Festmeter. 9,5 Mio. Festmeter österreichisches und 5,6 Mio. importiertes Sägerundholz wurde verarbeitet.*[14]

Die Holzindustrie in Österreich ist traditionell eine sehr exportorientierte Branche, deren Außenhandelsquote über 70 Prozent liegt. Der Anteil der Exporte zum Bruttoinlandsprodukt in der Papierindustrie liegt sogar höher und ist über 85 Prozent. Die meisten Holzprodukte werden in andere EU-Länder mit den Hauptabnehmern Italien und Deutschland exportiert. Die Nachfrage für österreichische Holzprodukte in Asien und Amerika zeigt eine Steigerung.[15]

(11) vgl. http://www.proholz.at (22.01.2018)
(12) vgl. https://www.holzistgenial.at (22.01.2018)
(13) vgl. Höbarth (2006), S.10-12
(14) vgl. WKO (2017), S.30
(15) vgl. http://www.austria-export.biz (22.01.2018)



Nadelbäume				
Gesamt	Fichte	Tanne	Lärche	Kiefer
80,2 %	61,2 %	4,4 %	6,6 %	7,4 %

Laubbäume				
Gesamt	Buche	Eiche	Esche	Ahorn
19,8 %	9,6 %	2,4 %	2,1 %	1,3 %

ABB 1.4: Baumartenverteilung in Österreich

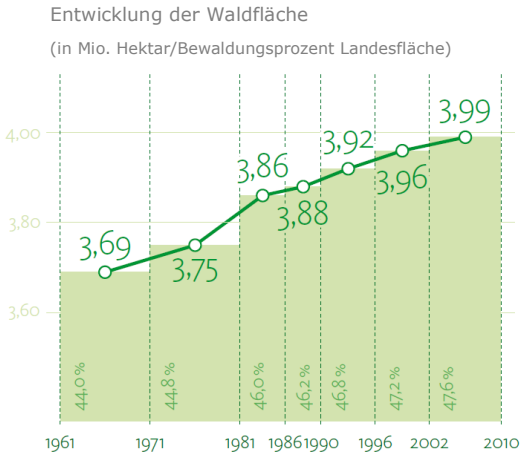


ABB 1.5: Entwicklung der Waldflächen in Österreich

2_ BRETTSPERRHOLZ

2_1_ *Definition und Normierung*

Im ÖNORM B 1995-1-1:2014 Anhang K wird Brettsperrholz (BSP) in folgender Weise definiert: „Brettsperrholz […] ist ein mehrschichtiges Holzbauprodukt aus Brettlamellen oder Holzwerkstoffen, das aus mindestens drei rechtwinklig zueinander orientierten, verklebten Lagen aufgebaut ist. Eine Lage kann dabei aus maximal drei Schichten mit gleicher Orientierung bestehen.“[(1)] Vor rund dreißig Jahren wurde der Begriff „Brettsperrholz“ noch in einemanderen Zusammenhang als heute verwendet. BSP wird seit 1995 produziert. Ihre baurechtliche Verwendung wurde bis zu dem Erlass der oben genannten Önorm in 2014 ausschließlich über nationale oder europäische technische Zulassungen geregelt. Die ersten technischen Regelwerke in Österreich und Deutschland stammen aus 1998. Die Zulassungen enthalten Mindestanforderungen an das Produkt, die Ausgangsstoffe, seine Herstellung und Angaben für Nachweisverfahren.[(2)] Aufgrund der steigenden Nachfrage haben weitere Firmen sich mit der Herstellung vom BSP beschäftigt. Durch die wachsende Anzahl an Produzenten und wesentlich unterschiedliche Produkte wurde Brettsperrholz unübersichtlich geworden. Um eine bessere Akzeptanz und ein höheres Vertrauen für BSP zu schaffen, haben die österreichische Hersteller in 2007 die Erarbeitung einer harmonisierten europäischen Norm für Brettsperrholz initiiert. Die ersten, harmonisierten Normen für BSP sind in 2014 in Österreich (ÖNORM B 1995-1-1) und erst Ende 2015 in Europa (EN 16351) erschienen.[(3)] Laut Gerhard Schickhofert ist die derzeitig gültige Brettsperrholz-Produktnorm, die EN 1635, noch nicht vollständig und soll überarbeitet bzw. mit Festigkeitsklassen und Prüfkonfigurationen ergänzt werden.[(4)]

(1) ÖNORM B 1995-1-1:2014 Anhang K
(2) vgl. Wallner-Novak; Koppelhuber; Pock (2013). S.10
(3) vgl. Neumüller (2010), S.1-7
(4) vgl. Isopp (2015), S.18f

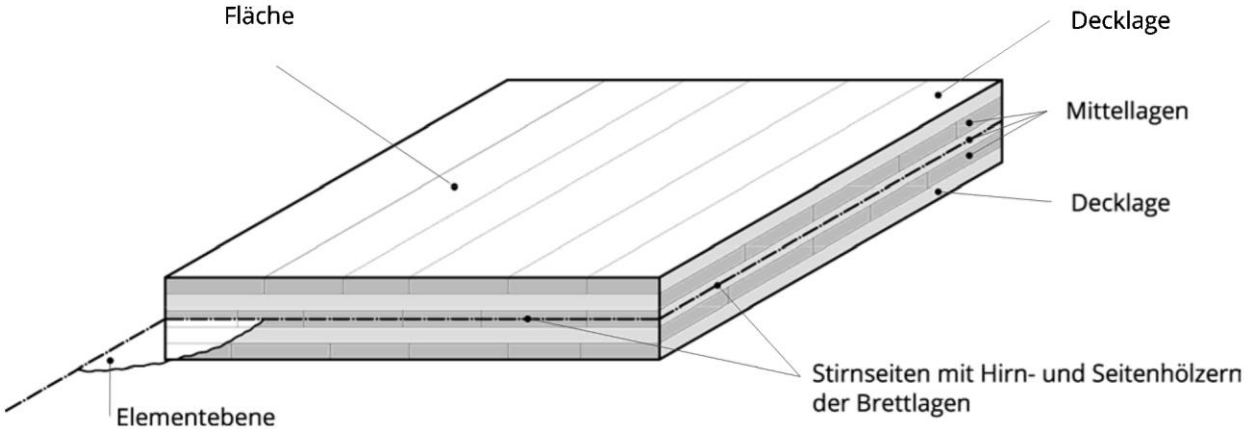


ABB 2.1: Bezeichnung von Teilen und Bereichen von Brettsperrholz

Brettsperrholz wurde vor dreißig Jahren als eine Einsatzmöglichkeit für die Seitenware entwickelt. Als Seitenware wird besäumtes oder unbesäumtes Schnittholz von geringer Stärke bezeichnet. Es wird vorwiegend aus den Stammrandzonen eingeschnitten und hat eine geringe Wertschöpfung gehabt. Damals konnten 15 Prozent des Materials vom Einschnitt aufgrund der Dimension oder Qualität nicht optimal genutzt werden. Österreichische Sägewerke wie Stingl, KLH und Santner haben das Potenzial in der Seitenware sehr früh erkannt und gemeinsam mit der TU Graz und holz.bau forschungs GmbH viel in die Forschung und Entwicklung vom Brettsperrholz investiert. Am Anfang haben sie mit der Stapelung und Vernagelung der Bretter experimentiert und erst später wurde das Potenzial in den „liegend in Form verklebter Strukturen" entdeckt. Aus dem Projekt heraus hat sich das Brettsperrholz entwickelt.[(5)] *Die schichtweise Verleimung von den Holzprodukten wie bei Brettschichtholz (BSH), Furnierschichtholz oder Massivholzplatten war schon geübte Praxis. Im Gegensatz zu den anderen geschichteten Holzprodukten besitzt Brettsperrholz eine Dimension, die den Einsatz als großformatige, flächenhafte und vor allem tragende Elemente möglich macht.*

Die weiteren Entwicklungen vom BSP haben bei den Herstellern stattgefunden, die zu stark abweichenden Produkten geführt haben. Die ersten Produktionsstätten waren noch handwerklich geprägt und BSP wurde in kleineren Mengen produziert. Die Dimension der Platten war teilweise von der zur Verfügung stehenden Räumlichkeiten der Produktionshallen und/ oder der vorhandenen Gerätschaft geprägt. Die durch firmenspezifische Zulassungen geregelte BSP-Produkte haben neben der Größe auch in der Verleimungstechnik der Bretter (optionale Schmalseitenverleimung), Anzahl der Längs- und Querlagen (drei oder sieben), Aufbau der Lagen und Qualität (optionale Sichtqualität) sich unterschieden. Die unterschiedlichen BSP-Produkte haben für lange Zeit eine uneinheitliche Produktbezeichnung gehabt.

Brettsperrholz wurde gelegentlich auch als Dickholz, Kreuzlagenholz, mehrschichtige Massivholzplatte oder unter herstellerspezifischen Namen wie z.B. KHL, BBS vertrieben. Die englischen Bezeichnungen cross laminated timber (CLT) und X-Lam wurden in Österreich auch häufig verwendet.[(5) (6) (7) (8)]

(5) vgl. Isopp (2015), S.18f
(6) vgl. Schickhofer (2002), S.23
(7) vgl. Guttmann (2008), S.3
(8) vgl. Neumüller (2010), S.1-7

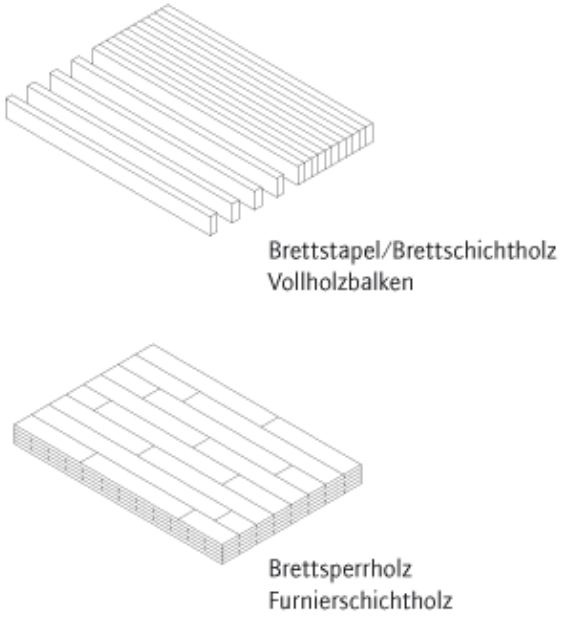


ABB 2.2: Unterschied zwischen Brettsperrholz und Brettstapel/Brettschichtholz

2_2_ *Brettsperrholzproduzenten mit Zulassung in Österreich 2002*

Hersteller	KLH-Massivholz GmbH	Merk-Holzbau GmbH&Co	Santner & Spiehs OEG
Produktnamen	KLH -Kreuzlagerholz	Merk-Dickholz LenoTec®, LenoPlan®	Santner HolzBauElement SHBE Santner Brettsperrholz plus Santner Euroline, Santner Thermoline
Abmessungen	Länge bis 16,5 m, Breite bis 2,95 m, Dicken 51 - 300 mm (auf Anfrage bis 600 mm)	Länge bis 14,8 m (auf Anfrage bis 30 m), Breite bis 4,8 m, Dicken 51 - 300 mm (auf Anfrage bis 500 mm)	Länge bis 24 m (General.Keilzinken-stoß), Breite bis 1,25 m, Dicken 60 - 350 mm
Holzart	Fichte, maschinell getrocknet und keilgezinkt; Decklagen Lamellenstärke bis 34 mm; Zwischenlagen Lamellenstärke bis 40 mm	Fichte Sortierklasse S10, maschinell getrocknet, gütesortiert und keilgezinkt	Fichte, Lärche und Zirbe, maschinell getrocknet und gütesortiert
Oberflächen	Nichtsichtflächen; Sichtflächen für Industriequalität und Wohnsichtqualität; Es können verschiedenste Holzwerkstoffe wie zB OSB oder Sperrholzplatten mitverleimt werden	Industriequalität; Sichtqualität, zB Nadelholz-Massivholzplatte (Fichte) oder 3-S-Platte (Fichte oder Douglasie); Furnierschichtholz (KERTO-Q, KERTO-S); Sonderoberfläche als Aufdopplung zB GKB	nicht Sichtqualität; Sichtqualität C, gehobelt oder geschliffen; Sichtqualität AB, gehobelt oder geschliffen
Verleimung	Pur-Klebstoff; Pressdruck ~6 kg/cm²	(Emissionsklasse E1, isocyanatfrei); Melaminharz (Standard); Phenol-Resorcinharz; Vakuum-Verleimverfahren, Pressdruck ~1 kg/cm²	Pur-Klebstoff; Pressdruck ~10 kg/cm²
Holzfeuchte	12 ± 2 %	12 ± 2 %	12 ± 2 %
Gewicht	ca. 470 kg/m³	ca. 500 kg/m³	ca. 470 bis 600 kg/m³ (je nach verwendeter Holzart)
Wärmeschutz	spez. Wärmeleitfähigkeit λ = 0,13 W/mK; spez. Wärmekapazität c ~2,10 kJ/kgK	spez. Wärmeleitfähigkeit λ = 0,13 W/mK; spez. Wärmekapazität c ~2,10 kJ/kgK	spez. Wärmeleitfähigkeit λ = 0,13 W/mK; spez. Wärmekapazität c ~2,10 kJ/kgK
Winddichtheit	Winddichtigkeitsprüfungen bei Rohbauten mit 3-schichtigen Platten ergaben Luftwechselzahlen, die für den Pasivhausstandard erforderlich sind	Leno Tec® ab 85 mm als luftdichte Schicht einsetzbar	durch glatte fugenlose, verleimte Oberfläche gewährleistet
Dampfdiffusion	Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ=40-80; s_D-Wert (KLH 3s 94 mm) s_D=3,0-4,7 m; s_D-Wert (KLH 5s 128 mm) s_D=4,0-6,4 m	Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ=40-80; s_D-Wert (Leno Tec® 115 mm) s_D=4,6-6,8 m	Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ~70; s_D-Wert s_D=4,0-20,0 m
Brandschutz	Abbrandgeschwindigkeit ß=0,6 mm/Minute inkl. Fugen und Plattenstoß; wenn nur die Decklage abbrent, b=0,65 mm/min und erhöhter Abbrand bei Brettfugen; Brandwiderstandsklassen F30-B/ F60-B/ F90-B	Abbrandgeschwindigkeit ß=0,7 mm/min; Brandwiderstandsklassen F30-B/ F60-B/ F90-B	Abbrandgeschwindigkeit ß=0,67 mm/min; Brandwiderstandsklassen F30-B/ F60-B/ F90-B

ABB 2.3: Brettsperrholzproduzenten mit Zulassung in Österreich 2002

Brettsperrholzproduzenten mit Zulassung in Österreich 2008

	Abmessungen												
Produktname*	max. Länge (m)	max. Breite (m)	min. Breite (m)	Dicken** (mm)	3-schichtig (mm) Wand/Decke	Wand	Decke	5-schichtig (mm) Wand/Decke	Wand	Decke	7-schichtig (mm) Wand/Decke	Decke	7-schichtig (mm)*** Decke
KLH Kreuzlagenholz	16,5	2,95		57-248		57, 72, 94	60, 78, 90, 95, 108, 120		95, 128, 158	117, 125, 140, 146, 162, 182, 200		202, 208, 226, 230, 248	
BBS Binder Brettsperrholz	24	1,25	0,25	75-334	75, 90, 98, 114, 125			98, 114, 146, 161, 177, 195, 209			230, 245, 272, 293, 334		
CLT Cross Laminated Timber	16	2,95		72-400		72, 84, 95, 105, 121	81, 90, 95, 107, 116, 129		123, 141, 160	132, 147, 159, 171, 183, 199, 215		203, 221, 235	210, 235, 257, 269, 285, 301
MM-BSP	16,5	3	1,2	78-278	98, 118	78		134, 146, 160		173, 184, 198		214, 240, 258, 278	
HMS-BSP	18	4		60-400	75, 81, 93			125, 131, 143, 155			175, 181, 193, 205, 217		

	Holzarten						Oberflächen			Kantenausführung/Profilierung			
Produktname*	Douglasie	Fichte	Kiefer	Lärche	Tanne	Zirbe	gehobelt	geschliffen	gebürstet	Stufenfalz	Stoßdeck-brettfalz	Nut-Feder-Profilierung	andere Profile
KLH Kreuzlagenholz		•	•	• Innen-bereich	•	•	•	•		•	•		
BBS Binder Brettsperrholz	•	•		•		•	•	•	•			•	auf Anfrage
CLT Cross Laminated Timber		•	auf Anfrage	auf Anfrage				•		•	•		
MM-BSP		•					•			•	•	nur bei Elementen von 1,2 m Breite	
HMS-BSP		•					•			•	•		

*Neben diesen fünf großen Produzenten aus Österreich gibt es noch eine Reihe weiterer Hersteller in Österreich, Deutschland und der Schweiz

**Prinzipiell kann jede der angebotenen Dicken je nach statischen Erfordernissen sowohl als Wand als auch als Deckenelement zum Einsatz kommen

***die jeweils beiden äußeren Brettlagen sind parallel

ABB 2.4: Brettsperrholzproduzenten mit Zulassung in Österreich 2008

2_3_ *Zulassung*

Für die Herstellung, Projektberatung, Projektentwicklung und den Vertrieb werden neben der Europäische Technische Zulassung häufig weitere landeseigene Zertifikate und Zulassungen verlangt. Zum Beispiel besitzt KLH die folgenden Zertifikate und Zulassungen für BSP: [9]

- *Europäische Technische Bewertung (OIB – Mitglied der EOTA)*
- *CE Zertifikat*
- *Leistungserklärung*
- *DIBT Zertifikat*
- *JAS Zertifikat*
- *PRG 320 Zertifikat*
- *ISO EN 9001:2015 Zertifikat*
- *ISO EN 14001:2015 Zertifikat*
- *FSC Zertifikat*
- *PEFC Zertifikat*

ABB 2.5: European Organisation for Technical Assessment

Durch die Jahre haben sich viele Firmen mit der Herstellung vom Brettsperrholz beschäftigt, aber nicht alle konnten sich am Markt positionieren. KLH Massivholz ist am längsten am Markt. Binderholz Bausysteme und Stora Enso haben BSP seit über 10 Jahren im Sortiment. Im ersten Quartal 2018 besaßen neun Hersteller eine europäische Zulassung. [10]

Ein großer Unterschied zwischen den Herstellern liegt in der Produktionsmenge, die oft mit der Automatisationsgrad der Herstellung zusammenhängt. Bei handwerklich geprägter Produktionsstätten werden nur kleinere Mengen hergestellt. Solche Unternehmer sind kaum mehr am Markt zu finden, da sie keine Konkurrenz gegen die größeren Firmen ausüben konnten und sich auf andere Holzprodukte konzentriert haben. Ein weiterer Unterschied liegt in der Anschaffung der Bretter. Ein Teil der BSP-Hersteller besitzt ein eigenes Sägewerk und erzeugt die für Brettsperrholz benötigten Bretter selbst, andere kaufen das Holz für die Produktion zu.

(10) vgl. www.brettsperrholz.org (05.02.2018)
(9) vgl. www.klh.at (05.02.2018)

Binderholz Bausysteme GmbH
Solvay-Halvic-Straße 46
A-5400 Hallein
+43 · 6245 70 50 00
+43 · 6245 70 50 07 001 Fax
bbs@binderholz.com
www.binderholz.com

Eugen-Decker Holzindustrie KG
Hochwaldstr. 31
Postfach 1045
D-54497 Morbach
+49 (0) 6533 · 73 - 0
+49 (0) 6533 · 73 - 111 Fax
info@hochwald.com
www.hochwald.com

KLH Massivholz GmbH
Gewerbestraße 4
A-8842 Teufenbach-Katsch
+43 · 3588 8835 - 0
+43 · 3588 8835 - 20 Fax
office@klh.at
www.klh.at

W. u. J. Derix GmbH & Co.
Dam 63
D-41372 Niederkrüchten
+49 (0) 2163 · 89 88 - 0
+49 (0) 2163 · 89 88 - 87 Fax
info@derix.de
www.derix.de

Lignotrend Produktions GmbH
Landstr. 25
D-79809 Weilheim-Bannholz
+49 (0) 7755 · 9200 - 0
+49 (0) 7755 · 9200 - 55 Fax
info@lignotrend.com
www.lignotrend.com

Merkle Holz GmbH
Straßer Weg 24
D-89278 Nersingen
+49 (0) 7308 · 96 46 - 0
+49 (0) 7308 · 96 46 - 46 Fax
info@merkleholz.de
www.merkleholz.de

Stora Enso Building and Living
Wisperndorf 4
A-9462 Bad St. Leonhard
+43 · 43 50 23 01 - 32 07
buildingsolutions@storaenso.com
www.clt.info

Züblin Timber Aichach GmbH
Industriestr. 2
D-86551 Aichach
+49 (0) 8251 · 908 - 0
+49 (0) 8251 · 908 - 999 Fax
timber@zueblin.de
www.zueblin-timber.com

Züblin Timber Gaildorf GmbH
Gartenstr. 40
D-74405 Gaildorf
+49 (0) 7971 · 2 58 - 0
+49 (0) 7971 · 2 58 - 9000 Fax
timber@zueblin.de
www.zueblin-timber.com

ABB 2.6: Brettsperrholzproduzenten im Q1 2018

2_4_ *Brettsperrholz*

Brettsperrholz besteht aus verleimten Einschichtplatten, die kreuzweise miteinander verklebt sind. Der Schichtaufbau vom BSP ist vom Hersteller abhängig. Üblicherweise besteht BSP aus drei bis sieben symmetrisch angeordneten, rechtwinklig zueinander verleimten Brettlagen. Bei einer größeren Anzahl von Schnittholzlagen können benachbarte Lagen faserparallel verklebt sein. BSP wird ausschließlich aus Nadelholz hergestellt. Neben Fichte wird auch Tanne, Kiefer, Lärche und Douglasie verwendet. Die einzelnen Lagen dürfen auch durch Holzwerkstoffe wie OSB, Furnierschichtholz oder durch Gipsbaustoffe ersetzt werden.[11]

nterschiedliche Kombinationen der Lagen ermöglichen eine Vielzahl mehrschichtigen Plattenaufbauten, die unterschiedliche Qualitäten aufweisen. Durch die kreuzweise Verleimung der Brettlagen ist BSP ein Material mit Platten- und Scheibenwirkung, das als Wand, Decke, Dach aber auch als Bodenplatte von Brücken ideal eingesetzt werden kann. Weiters wird durch die absperrende Wirkung der Verleimung eine hohe Formstabilität mit niedrigen Schwind- und Quellmaße gewährleistet. Obwohl alle BSP-Produkte flächenverleimt sind, gibt es die Schmalseitenverklebung zwischen den Brettern nicht immer. Ein Teil der Hersteller argumentiert dafür wegen die Winddichtheit. Andere Herstellern sind dagegen, da diese möglicherweise zu größere Schwindrissbildung bei Sichtoberflächen führen kann.[12]

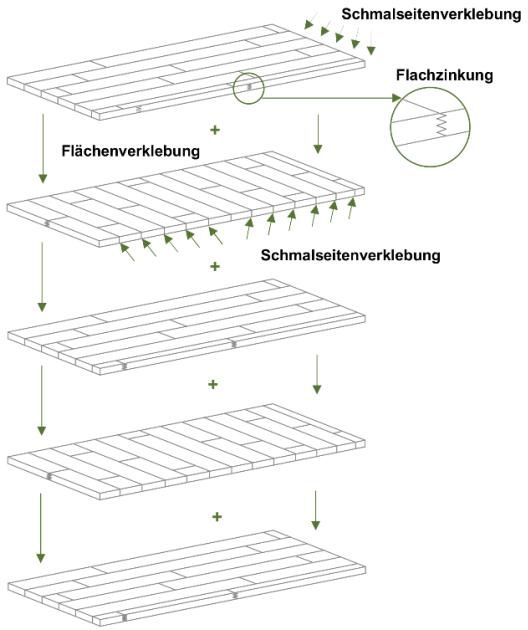


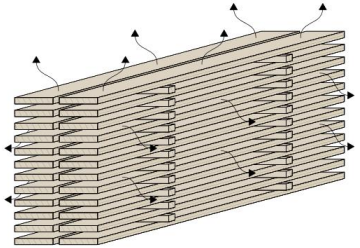
ABB 2.7: Aufbau einer fünfschichtigen Brettsperrholzplatte

Durch die Herstellungsart könnten theoretisch beliebig große BSP-Elemente produziert werden. Die endgültige Größe und Form der BSP-Elemente werden durch Vorgaben hinsichtlich Produktion, Transport und Montage bestimmt. Der Übergang von mehrschichtigen Massivholzplatten zu Brettsperrholz ist fließend. In der Praxis spricht man bis zur rund 80 mm Plattenstärke über mehrlagige Massivholzplatten. Technisch liegt der Hauptunterschied darin, dass beim BSP nur nach Festigkeitseigenschaften sortierten Bretter zum Einsatz kommen.[13]

BSP wird grundsätzlich als industriell gefertigte Rohware in Nicht-Sichtqualität hergestellt. Um die Oberfläche im Sichtqualität auszuführen, wird die Seitenware nur in der Mittellage verwendet, während die Deckenlagen aus optisch hochwertigeren Brettern hergestellt werden. Manche Hersteller bieten BSP-Platten mit eigens aufgebrachten Sichtlagen an.[14]

(11) vgl. www.brettsperrholz.org (05.02.2018)
(12) vgl. Guttmann (2018), S.13
(13) vgl. Neumüller (2010), S.1-7
(14) vgl. Schickhofer (2002), S.23

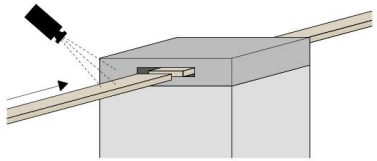
2_5_ *Herstellung*



Zuschnitt und technische Trocknung

Das Ausgangsmaterial für die Herstellung von Brettsperrholz ist sägeraues Brett aus Nadelholz. Die Breite der Einzelbrettern liegt zwischen 80 und 240 mm, die Höhe zwischen 10 bis maximal 35 mm. Die Bretter werden im eigenen Sägewerk der BSP-Hersteller produziert oder von anderen Firmen zugekauft.

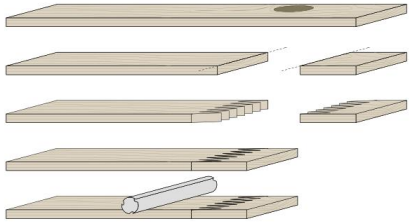
Die Fertigung vom BSP beginnt mit der technischen Trocknung der Bretter. Der Trocknungsprozess dauert üblicherweise 5 bis 7 Tage. Das Holz wird bei einer Temperatur von über 55 °C technisch auf eine Holzfeuchte von etwa 12±2% getrocknet. Die Bretter werden danach in einem Kondensierungslager gelagert um die entstandene Trocknungsspannung abzubauen.



Sortierung

Nach der Erreichung der gewünschten Holzfeuchte werden die gestapelte Bretter vorgehobelt und nach Qualität kontrolliert. Zuerst werden alle natürlichen „Holzfehlern“ wie große Äste, Rindenteile usw. und Trocknungsfehler maschinell entfernt.

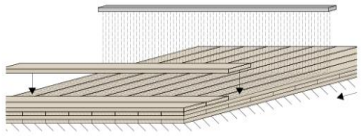
Die Bretter werden weiters visuell oder maschinell nach Festigkeit nach EN 14081-1 und DIN 4047-1 sortiert. Für die Decklamellen der Bauteile werden bei höherer Oberflächenqualität über die Kriterien für die Festigkeitssortierung hinausgehende, weitere Sortierungskriterien berücksichtigt. In diesem Fall werden die Seitenwaren nur in der Mittellage verwendet.



Keilverzinkung

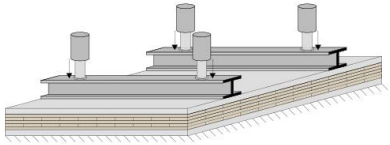
Durch die Entfernung der Holzfehler entstehen unterschiedlich lange Bretter. In den Stirnenden werden ineinandergreifende Keilzinken (Fingerjoints) gefräst. Keilverzinkung ist eine fingerförmige, kraftschlüssige Klebeverbindung, die sich außerordentlich gut als Verbindung der einzelnen Holzelemente eignet. Durch die größere Verbindungsfläche wird das Bruchrisiko extrem verringert. Durch Aneinanderreihen, Verleimen und Verpressen der einzelnen gezinkten Bretter lassen sich theoretisch unendlich lange Lamellen herstellen. Die Endloslamellen werden auf eine einheitliche Dicke gehobelt. Die Lamellen werden dann auf die geforderte Länge geschnitten und zwischengelagert bis der Holzleim härtet.[15][16][17][18]

ABB 2.8: Brettsperrholzherstellung – Zuschnitt, Trocknung, Sortierung, Keilverzinkung



Flächenklebung

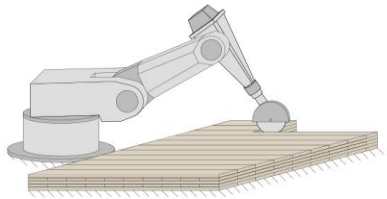
Für die Herstellung von Brettsperrholzplatten werden die keilverzinkten, geschnittenen Brettlamellen miteinander verklebt. Abhängig vom Hersteller wird auch die Schmalseite der Lamellen geklebt. Die Klebstoffauftragung für die Flächenverklebung erfolgt im Lamellen-Durchlaufverfahren, in dem die einzelnen Brettlamellen durch eine stationäre Beleimungsanlage mit Klebstoff versehen und anschließend in ihrer endgültigen Lage am Pressbrett positioniert werden. Als Klebstoff wird Polyurethan-Kleber (PUR) oder Melamin-Harnstoff-Formaldehyd-Harz (MUF) verwendet. Der Klebstoffanteil am fertigen Brettsperrholzprodukt beträgt weniger als 1 Prozent.



Pressedruck

Für Brettsperrholzplatten werden mindestens drei kreuzweise angeordnete, verleimte Lamellenlagen oder gegebenfalls Lagen aus anderen Holzwerkstoffen aufeinandergelegt. Der Pressdruck bei BSP-Platten wird herstellerspezifisch mittels Vakuumierung oder Hydraulikpressen aufgebracht. Stabförmige oder gebogene Brettsperrholzelemente können auch manuell mit Zwingen zusammengepresst werden. Die Dauer dieses Vorgangs ist abhängig von Pressmethoden und Elementgröße unterschiedlich.

Der entstandene Brettsperrholzrohling härtet unter Druck aus. Nach der Aushärtung werden die Elemente gehobelt und die Kanten gefräst.



Abbund und weitere Arbeiten

Im Weiteren werden die BSP-Elemente mit einer CNC gesteuerten Abbundmaschine auf Größe geschnitten und können Einschnitte und Fräsungen individuell nach Vorgaben der Kunden oder der Architekten vorgenommen werden. Dabei werden Öffnungen, wie Fenster oder Tür ausgeschnitten, Pfetten- Sparren oder Traumauslässe eingefräst, Kanäle eingebohrt und die Kanten der Elemente für die Verbindung mit anderen Elementen vorbereitet. Oft werden Hebeschlaufen wegen der Montage in der Produktion eingebaut.[15][16][17][18]

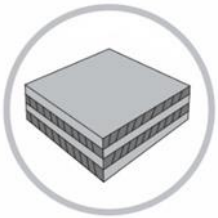
(15) vgl. www.brettsperrholz.org (06.02.2018)
(16) vgl. Borosnyai; Balmus (2015), S.1-11
(17) vgl.Guttmann (2010), S.13
(18) vgl. A.Neumüller (2010), S.1-7

ABB 2.9: Brettsperrholzherstellung – Flächenklebung, Pressedruck, Abbund und weitere Arbeiten

2_6_ *Vorteile*

Holz:

+ *BSP besteht zu 99 Prozent aus Holz, das ein nachhaltiges, bewirtschaftbares und auf Grund des CO_2-Bindung umweltschonendes Material ist.*
+ *Mit Hilfe moderner Fertigungstechnologien kann BSP einfach und leicht bearbeitet und sogar in gekrümmter Form hergestellt werden.*
+ *Leichtes Gewicht: BSP kann bei schlechterem Baugrund oder bei Aufstockungen gut eingesetzt werden.*
+ *Wände regulieren die Raumluftfeuchte und schaffen so ein behagliches und ausgeglichenes Raumklima im Sommer und Winter.*
+ *Bauprodukte aus Holz können wiederverwertet werden.*
+ *Brettsperrholzelemente haben eine im Vergleich zu anderen Massivbauweisen sehr niedrige Wärmeleitfähigkeit.*



Brettsperrholz:

+ *BSP kann über die Anzahl der Brettschichten mit beliebiger Dicke hergestellt werden. Die Anordnung von dekorativen oder auch schall- oder brandschutztechnisch angepassten Deckschichten ist zulässig.*
+ *Die witterungsunabhängige Produktion großflächiger Bauteile im Werk erlaubt einen sehr hohen Vorfertigungsgrad.*
+ *Durch das kreuzweise Verkleben der Brettlagen ist BSP besonders formstabil. Die bei Holz üblichen Dimensionsänderungen bei Feuchteschwankungen sind dadurch vernachlässigbar.*
+ *BSP ist ein Werkstoff mit Platten- und Scheibenwirkung und kann in mehrere Richtungen statisch beansprucht werden.*

Bauweise:

+ *Im Verhältnis zu ihrem Gewicht ist BSP einer der leistungsfähigsten Konstruktionsmaterialien. Das geringe Gewicht erleichtert den Transport sowie die Handhabung und spart daher Energie und Kosten.*
+ *Mit einfachen Standardwerkzeugen und ohne schwere Geräte werden BSP Elemente wie Legosteine an der Baustelle aneinandergefügt.*
+ *Komplett vorgefertigte Elemente können auf die Baustelle geliefert werden. Dadurch wird ein sehr schnelles Bauen mit wenig Personal ermöglicht.*
+ *Durch die trockene Bauweise kann eine kürzere Bauzeit erzielt werden.*
+ *Bauwerke mit BSP sind extrem erdbebensicher.*[19][20][21]

(19) vgl. www.tugraz.at (07.02.2018)
(20) vgl. Mestek (2010), S.3
(21) vgl. Zschokkeln (2008), S.18-19

2_7_ Markt für Brettsperrholz

Wegen den erwähnten Vorteilen und zunehmender Relevanz der ökologischen Baustoffe hat Brettsperrholz sich in den vergangenen Jahrzehnten von einem Nischenprodukt zu einem mittlerweile auch international stark nachgefragten Produkt entwickelt. Die ersten Produktionsstätten waren handwerklich geprägt und Brettsperrholz wurde in kleineren Mengen produziert. Durch die industrielle Vorfertigung, neue Produktionsstandorte und steigender Bedarf sieht die BSP-Produktion eine kontinuierliche Steigerung.

Neben Österreich gehört Deutschland zu den wichtigsten BSP-Produzenten und sie decken gemeinsam 60 Prozent des Markts ab. Seit 1998 bis 2017 ist die Weltproduktion von Null auf 700.000 m³ pro Jahr gewachsen und wird in 2018 voraussichtlich 1 Million m³ pro Jahr erreichen.(22) BSP aus Europa wird weltweit, u.a. nach Japan und Australien exportiert. Die Produktion folgt dem Bedarf und wo in den letzten Jahren Pionierprojekte verwirklicht worden, werden die nächsten Produktionsstandorte eröffnet. Zum Beispiel hat Japan bereits in 2014 Pläne für den Aufbau einer eigenen BSP-Industrie veröffentlicht.(23)

Neben Ein- und Mehrfamilienhäusern sowie gewerblichen Bauten ist auch die Errichtung mehrgeschossiger Gebäude mit BSP möglich. Bauwerke mit bis zu 10 Geschossen („Forté Living Tower", Melbourne, Australia, 2012) wurden damit errichtet. In Wien ist das Projekt HoHo mit sogar 24 Stockwerken in Planung.(24) Neben der Produktion haben viele Hersteller eigene beratenden Ingenieurbüros für BSP aufgebaut. Einige Betriebe haben sich sogar in die Modularisierung und Raumzellenbau hinbewegt.

(22) vgl. www.holzkurier.com (07.02.2018)
(23) vgl. www.holzbauaustria.at (07.02.2018)
(24) vgl. Krötsch; Müller (2017), S.13

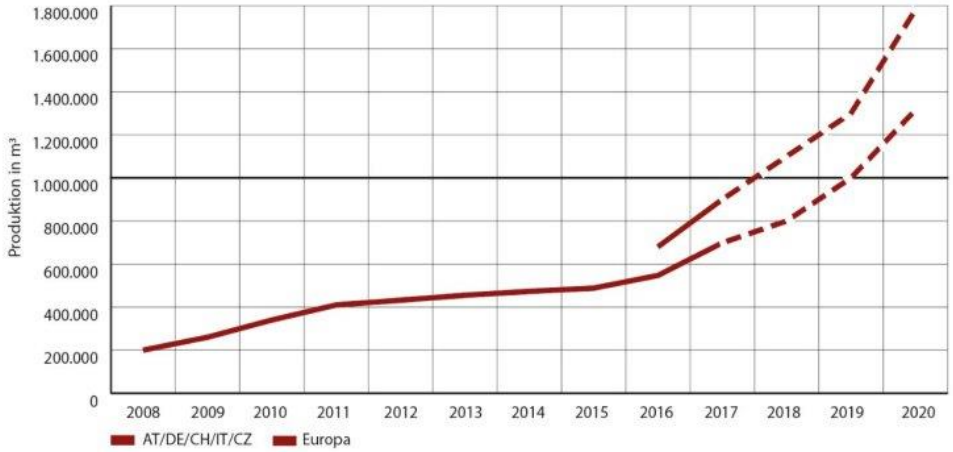


ABB 2.10: Produktionsmengen von Brettsperrholz in Europa

ABB 2.11: neue Standorte für Brettsperrholzproduktion

3_ BAUWEISEN

3_1_ *Bauen mit Holz*

Holz ist neben Stein einer der ältesten Baustoffe und wird seit Jahrtausende als Tragkonstruktionsmaterial bei Bauwerken verwendet. Da Holz überall auf der Welt natürlich vorkommt und leicht zu bearbeiten ist, ist es in vielen Kulturen zum bevorzugten Baumaterial geworden und hat eine große Rolle in der Entwicklung traditioneller Baustile gespielt. Abhängig von den klimatischen Bedingungen und vorkommenden Holzarten haben unterschiedliche regionale Bauweisen und Gebäudeformen sich entwickelt. Durch die Jahrhunderte hat sich die Anwendung vom Holz sehr viel geändert und es wurden zahlreiche, unterschiedliche Holzbauweisen entwickelt. Die Entwicklungen im Holzbau hängen sehr eng mit den technischen Entwicklungen zusammen.[(1)]

Die ersten Holzkonstruktionen waren leicht, einfach aufzustellen und häufig transportabel. Sie dienten als Schutzbehausung gegen Witterung. Neben Holz wurden andere Materialien wie Lehm oder Wolldecken als Wärmeisolierung und Dichtung verwendet. Das Material dieser Konstruktionen war sehr stark von den örtlichen Gegebenheiten und natürlich vorkommenden Holzarten abhängig. Die Konstruktionsart und die Verbindung der Elemente waren durch die zur Verfügung stehende Werkzeuge definiert. Wegen regionalen und kulturellen Unterschiede sind sehr viele verschiedene, einfache Konstruktionen entstanden. Die Mongolen haben transportable Jurten aus biegsamen Holzscherengittern und Wolldecken gebaut. In Europa wurden viele Bauten in die Erde gegraben und haben das Dach aus Holz und Lehm konstruiert.[(2)]

Blockbauten und Pfahlbauten sind die ältesten Holzbauweisen, die schon im Neolithikum existierten. Der Blockbau war vor allem in Gebieten verbreitet, die reich an Wäldern waren. Nadelbäume, aus denen sich lange, gerade Holzbalken herstellen lassen, waren dafür am besten geeignet.[(3)] *Die behauenen Balken wurden liegend mit stoßenden oder überkreuzenden Eckverbindungen lagenweise zusammengehalten. Bei Pfahlbauten wurden zwischen den Holzpfosten mit Lehmputz bedeckte Flechtwände eingespannt.*[(4)]

(1) vgl. Dangel (2010), S.76
(2) vgl. http://www.tankonyvtar.hu (13.02.2018)
(3) vgl. Dangel (2010), S.84
(4) vgl. Winter; Lattke (2011), S.14-15

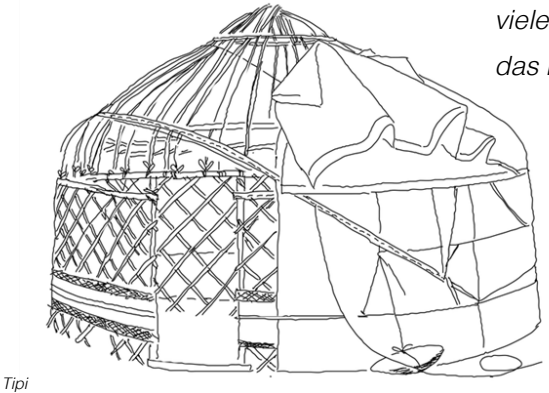


ABB 3.1: indianische Tipi

ABB 3.2: Blockbau

Die Fachwerkbauweise war in Europa das am meisten verbreitete Holzbausystem bis zur Industriellen Revolution. Dabei wurden je nach Region unterschiedliche Konstruktionen angewendet, jedoch waren die charakteristischen Merkmale der Bauweise und die Art der Aussteifung gleich.[5] *Am Anfang des 19. Jahrhunderts war die Industrielle Revolution für Veränderungen der technischen, sozioökologischen und kulturellen Bedingungen verantwortlich.*[6] *Neue Verarbeitungstechniken für Eisen, Stahl und Beton wurden entwickelt. Veranlasst durch vielen Brandkatastrophen in Städten wurden Holzbauten in Europa durch neue Vorschriften verhindert oder eingeschränkt.*[5]

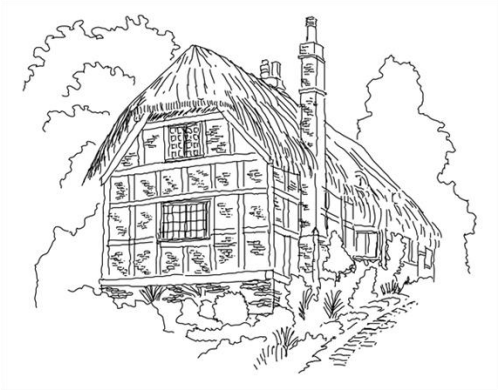


ABB 3.3: Fachwerkbau

Seitdem die neuesten Sägemaschinen und massenproduzierte Nägel zur Verfügung standen und großer Bedarf an Bauwerken herrschte, hat sich die Holzbauindustrie in Amerika sehr schnell entwickelt. Fortschritte im Transportwesen ermöglichten die Ausbreitung des bislang ortsgebundenen Holzbaus. Hier wurden die Bauweisen Balloon-Frame mit über Geschosse durchlaufenden Stützen und Platform-Frame mit geschossweisem Aufbau entwickelt.[5] *Gleichzeitig wurde Holz in Europa als ein billiges, nur von der ländlichen Bevölkerung genutztes Baumaterial von geringerer Qualität gesehen.*[7]

(5) vgl. Macha (2001), S.40
(6) vgl. Knaack; Chung-Klatte; Hasselbach (2012), S.15-17
(7) vgl. Dangel (2010), S.84
(8) vgl. Winter; Lattke (2011), S.14-15

Erst im 20. Jahrhundert wurde Holz wieder in Europa verbreitet verwendet und der Holztafelbau für die Errichtung preiswerter Baracken im Krieg eingesetzt. Während und nach dem Ersten Weltkrieg wurden Gebäude mit Tafelbauweise errichtet um die Wohnungsnot zu lindern. Aus dem Fachwerkbau haben sich die Rahmenbauweise und Skelettbauweise entwickelt.[8]

Durch die stetigen Weiterentwicklungen der Produktionstechnologien, Standardisierung von Produkten und ihrer Herstellung, Rationalisierung der Produktion und die erhöhten Anforderungen der Bauwerke haben sich die Bauweisen mit der Zeit viel geändert.[8]

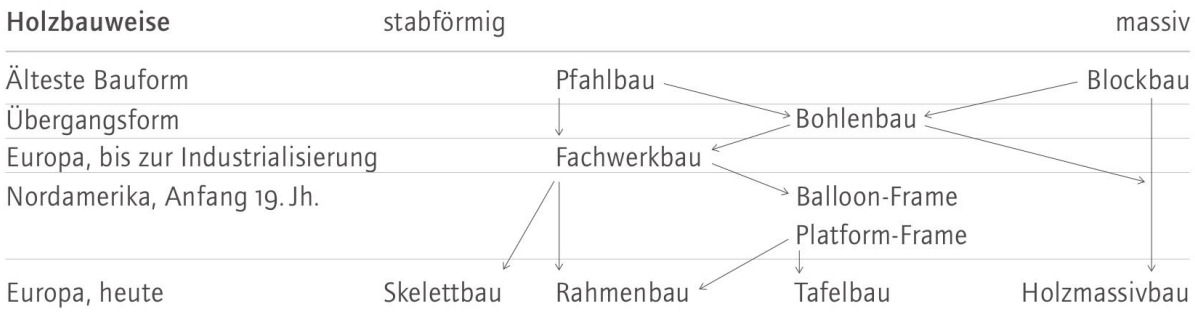


ABB 3.4: Entwicklung der Holzbauweisen

3_2_ *Entwicklung der Holzbauweisen*

Über die Jahrhunderte hat sich der Holzbau maßgeblich verändert und es sind immer wieder neue Bauweisen entstanden. Diese Änderungen wurden in der Regel durch technische Entwicklungen ausgelöst. Neue Werkzeuge haben neue Verarbeitungsmethoden ermöglicht. Neue Geräte haben die Produktion, den Transport oder die Montage der Elemente erleichtert. Neue Holzwerkstoffe haben zusätzliche Einsatzbereiche für Holz geschafft.

Die Entwicklungen der Holzbauweisen werden oft als die Geschichte von Stabkonstruktionen bezeichnet. Stäbe sind die einfachsten Formen, die aus dem Baumstamm gewonnen werden können.[(9)] *Wegen ihrer Eigenschaften und einfacher Bearbeitbarkeit konnte Holz für Decken-, Dach- und auch für Wandkonstruktionen verwendet werden. Durch die Aufeinander-, Nebeneinanderstapelung oder Anordnung und Verbindung der „Stäbe“ sind unterschiedliche Holzkonstruktionen entstanden. Jahrhunderte lang wurde Holzbau handwerklich geprägt. Mit Handwerkzeugen wurde das Holz geschlagen und die Stämme zu nutzbaren Bauholz verarbeitet. Neben Holz wurden weitere Materialien für Abdichtung oder Isolierung von Holzbauten verwendet, die leichter bearbeitbar oder verformbar waren.*[(10)]

(9) vgl. Affentranger (2001), S.7
(10) vgl. Dangel (2010), S.76-78,84-89, 120-122

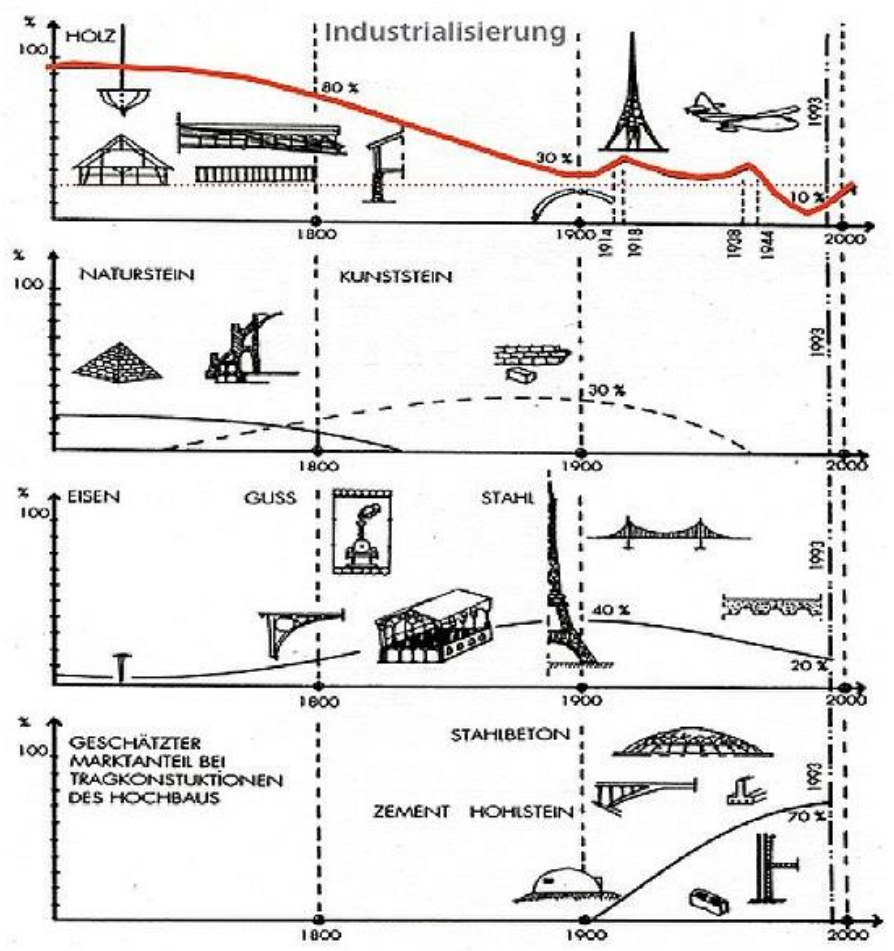


ABB 3.5: Vergleich der Marktanteile von Holz, Stein, Stahl und Beton bei Tragkonstruktionen im Holzbau

Durch die Verbesserung der Werkzeuge hat sich die Holzverarbeitungstechnik geändert und verfeinert. Die Vorfertigung der Holzelemente auf die gewünschte Größe ist einfacher geworden und mit den neuen Holzverbindungsarten haben sich neue Bautechniken entwickelt. Um 1800 hat die erste Industrielle Revolution große Änderungen mit sich gebracht. Die Einführung von Maschinen hat die Produktion von Schnittholz in Standardgrößen und in großen Mengen ermöglicht. Durch die Fortschritte im Transportwesen konnten Holzbaustoffe günstig über große Entfernungen geliefert werden und dadurch ist Bauholz fast überall in der Welt verfügbar geworden. Die neuen Verarbeitungstechniken für Eisen, Stahl und Beton haben nicht nur diese Weiterentwicklungen im Holzbau ausgelöst, sondern neue Baumethoden mit diesen Materialien entwickelt, die die Holzbau in Europa zurückgedrängt haben.[(10)] Wegen diesen Entwicklungen und den Brandkatastrophen in europäischen Städten hat sich das Zentrum der Holzbauentwicklungen in Amerika verlegt.

Die Massenproduktion von Nägeln aus Eisen und Halbfertigprodukte wie Bretter, Balken und Latten auf den neuen Sägemaschinen mit Fräsen und Sägebänder aus Stahl hat eine neue und schnelle Bauweise ins Leben gerufen. Die Ständerbauweise verwendet einfache Knotenausbildungen mit Hilfe von Nägeln und erlaubt dadurch eine schnelle Baumethode, womit auch ungelernte Arbeiter Holzhäuser errichten konnten.[(9)] Durch neue Verarbeitungstechniken, die die Entwicklung verbesserter Werkstoffe wie Brettschichtholz (BSH) und Sperrplatten ermöglichten, konnten zum ersten Mal die anisotropen Eigenschaften von Holz erfolgreich eliminiert werden. Mit Brettschichtholz konnten längere Spannweiten und mit Sperrholz größere, fugenlose Flächen geschaffen werden. [(10)]

Die Platform-Frame-Konstruktion zeigt eine neue Logik des Aufbaus, in dem das Gebäude horizontal geteilt und geschossweise gebaut wird. Die ersten Schritte in Richtung Vorfertigung wurden bei Platform-Frame erreicht, in dem Wandelemente auf der Baustelle, nicht in ihrer endgültigen Position, sondern liegend zusammengestellt und erst später in stehende Lage gehoben wurden.

(9) vgl. Affentranger (2001), S.7
(10) vgl. Dangel (2010), S.76-78,84-89, 120-122

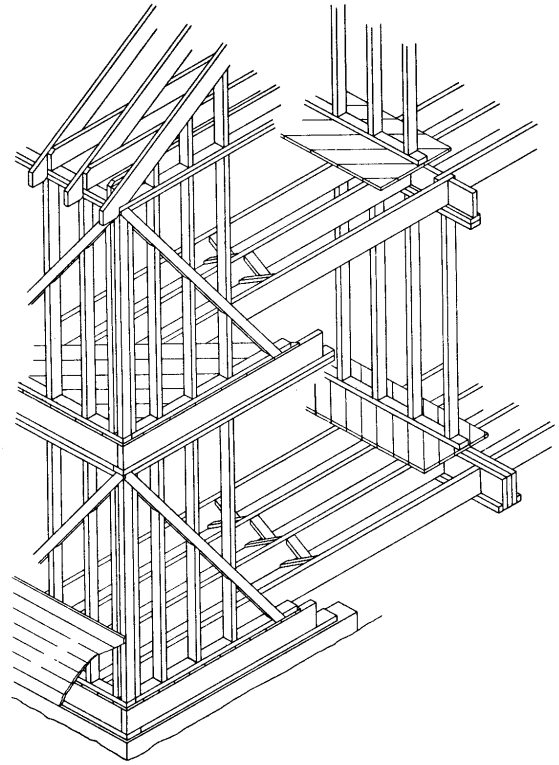


ABB 3.6: Platform-Frame-Konstruktion

Die Tafelbauweise entwickelte sich mit dem Ziel, möglichst viele Bauteile vorzufertigen und sie in möglichst kurzer Zeit auf die Baustelle zu montieren. Mit dieser Bauweise kehrte Holzbau in Europa zurück. Zuerst wurden preiswerte Baracken im Krieg mit Hilfe dieser Bauweise errichtet, und später für die Linderung der Wohnungsnot während und nach dem Ersten Weltkrieg angewendet.[12]

Die kontinuierlichen, technischen Forschungen haben neue Dämm- Dicht- und Bekleidungswerkstoffe entwickelt, die Produktion weiters rationalisiert und optimiert. Durch die Anwendung der Computertechnik ab den 1960er Jahren und Maschinen mit computergestützter numerischer Steuerung (CNC) ab den 1980-er Jahren wurde die Holzverarbeitungsindustrie dramatisch verändert.[11]

(11) vgl. Dangel (2010), S.76-78,84-89, 120-122
(12) vgl. Winter; Lattke (2011), S.14-15

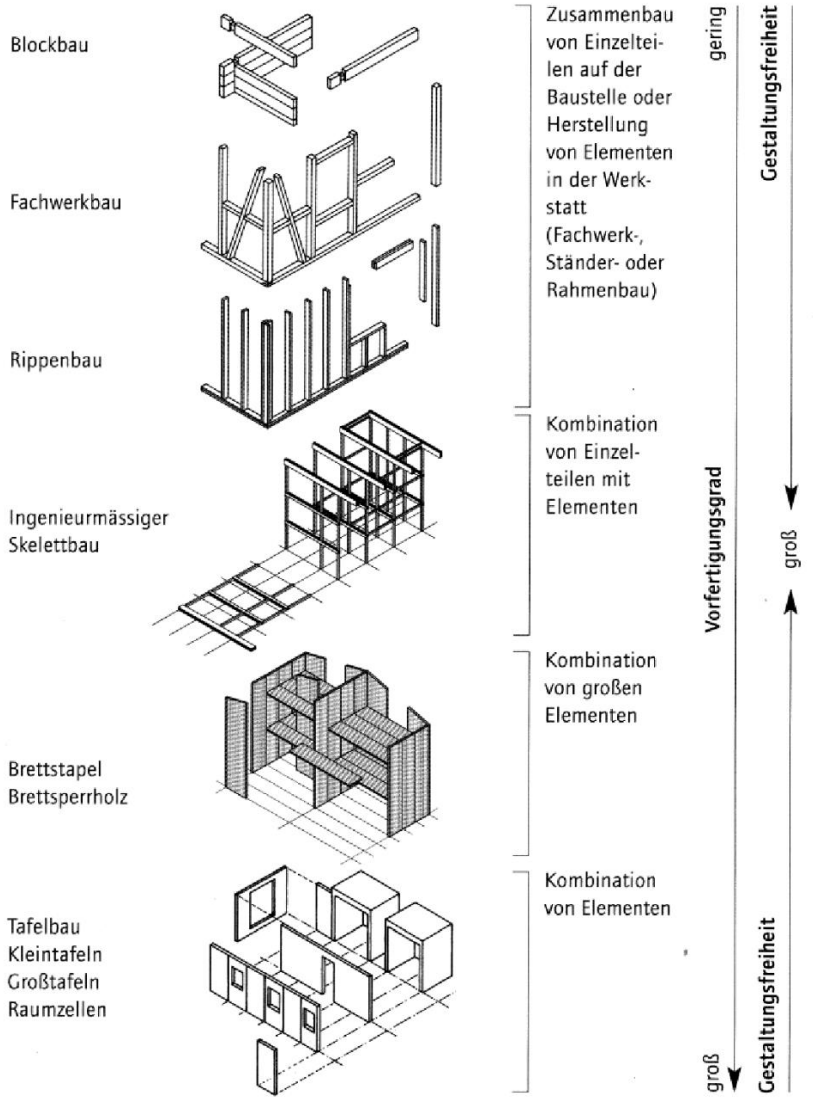


ABB 3.7: Holzbauweisen – Betrachtung unter den Blickwinkeln Vorfertigungsgrad bzw. Gestaltungsfreiheit

3_3_ *Bauweisen im Holzbau*

Holzbauweisen können nach unterschiedlichen Aspekten klassifiziert werden und deswegen wird die selbe Bauweise oft mit mehreren, unterschiedlichen Begriffen definiert. Die Bedeutung der Begriffe hat sich teilweise auch mit der Zeit verändert oder wurden andere Begriffe für die Bezeichnung der selben Bauweise verwendet. Beispielsweise wurde die Platform-Frame-Bauweise in Europa als Gerippe- oder Rippenbau, später Ständerbauweise oder Holzrahmenbau bezeichnet.(13) Die Bauweisen werden oft nach Region oder Konstruktionsweise unterschiedlich benannt.(14) Eine einheitliche Terminologie hat sich noch nicht durchgesetzt, deswegen findet man in der Fachliteratur unterschiedlichen Bezeichnungen.

Bauweisen unterscheiden sich grundsätzlich in Konstruktion, Fertigung und Erscheinungsbild. Sie können nach den folgenden Aspekten klassifiziert werden:

Nach Prinzip der vertikalen Lastabtragung:(15)

- *Punktuelle Lastabtragung: die Lasten werden auf Punkte konzentriert.*
- *Lineare Lastabtragung: die Verteilung der anfallenden Lasten erfolgt auf ein lineares Element.*

Nach geometrischer Organisation der Systemelemente unterscheidet man:(16)

- *Eindimensional: Skelettsysteme bestehen aus linienförmigen Elementen. Eine Dimension ist wesentlich größer als die anderen beiden.*
- *Zweidimensional: Paneel- oder Tafelsysteme bestehen aus scheibenförmigen Elementen. Zwei Dimensionen sind wesentlich größer als die dritte.*
- *Dreidimensional: Raumzellensysteme bestehen aus raumgroßen Zellen, die sowohl raumbildend als auch tragend wirken.*

Nach Fertigungsort:(15)

- *Baustellenfertigung*
- *Vorfertigung: Einzelteile und Schichten werden in einem Produktionshalle zu einem Bauteil zusammengefügt.*

Nach Bauprinzipien:(15)

- *Kleinmodul im Rastermaß: Handwerkliche Module in einem Kleinraster werden auf einfache Weise nebeneinander oder aufeinandergereiht.*
- *Elemente im Rastermaß: Die geschosshohen Elemente werden im Rastermaß hergestellt.*
- *Elemente im Raum- oder Grundrissmaß: Die Elementlänge erstreckt sich über einen einzelnen Raum oder über die ganze Gebäudebreite.*
- *Raumsysteme: Raumsysteme werden im Werk zusammengebaut, transportiert und auf der Baustelle aneinander und aufeinander gereiht.*

Nach Ausführung der Wandkonstruktion:(17)

- *Massivbauweise: Die Wand besteht aus einer flächenbildenden, tragenden Schicht. Falls vorhanden ist die Dämmebene klar von der Tragstruktur trennbar.*
- *Leichtbauweise: Die Tragstruktur der Wand besteht aus stabförmigen Konstruktionsgliedern nach einer eindeutigen Tektonik.*

(13) vgl. Macha (2001), S.41
(14) vgl. Priebernig (2006), S08.25
(15) vgl. Kolb (2007), S.41-45
(16) vgl. Landsberg; Pinkau (1999), S20
(17) vgl. Schickhofer (2002), S.23

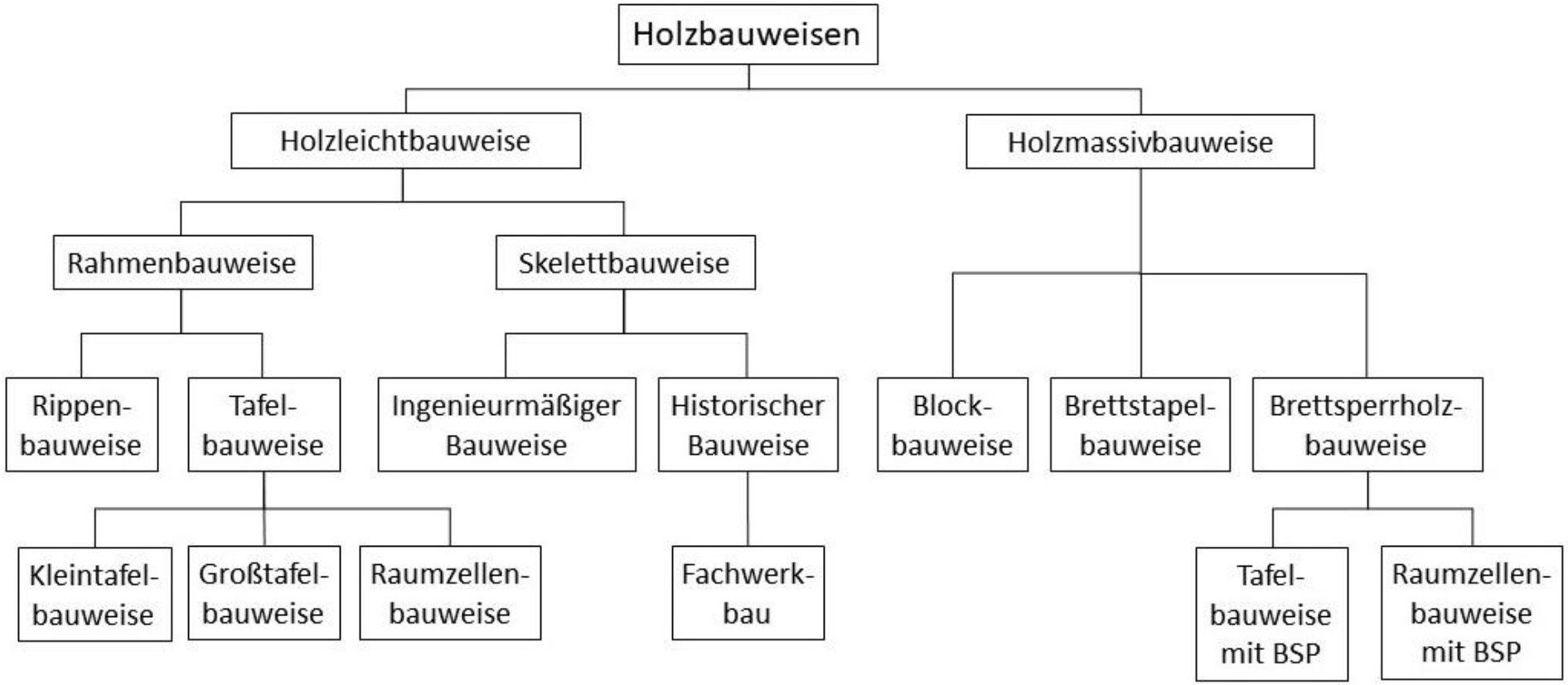


ABB 3.8: Holzbauweisen

3_4_ *Holzleichtbauweise*

Als Holzleichtbauweise werden die Rahmen- und Skelettbauweise zusammengefasst. Das Hauptmerkmal dieser Bauweise ist, dass die Tragschicht des Wandaufbaus von der Dämmschicht nicht trennbar ist. Die Lastabtragung erfolgt durch stabförmige, vertikale Elemente. Durch diese Konstruktionsart kann der Materialverbrauch für das Tragwerk optimiert werden.[18]

Skelettbauweise

Holzskelett ist ein Tragsystem, das aus einer lastabtragenden, in großen Rasterabständen abgeordneten Primärkonstruktion in Form von Stützen und Träger besteht. Die Sekundärkonstruktion z. B. aus Balken und Sparren baut auf die Primärkonstruktion auf. Die raumbildenden Bauteile haben in der Regel keine lastabtragende Funktion, können jedoch aussteifende Funktionen übernehmen.

Skelettbauweise gehört zu den ältesten Bauweisen. Es war üblich, Rundholzstämme senkrecht als Pfosten oder Stützen einer Tragkonstruktion zu verwenden. Beim Pfahlbauten besteht das Gebäude aus in die Erde gegrabenen, senkrechten Pfählen, die durch Querbalken und Pfetten stabilisiert werden. Die Gefache wurden mit Lehm verstrichenem Flechtwerk ausgefüllt. Aus dieser Bauart entwickelte sich dann später der Fachwerkbau.[19]

Bei historischem Skelettbau erfolgte die Verbindung der Elemente mit klassischen Holz-Holzverbindungen. Bei ingenieurmäßigem Skelettbau werden industriell vorgefertigte Verbindungselemente oder moderne, metallische Verbindungsmittel wie Einpressdübel oder Stahlblechformteile verwendet. Heute wird die Skelettbauweise wegen der Gestaltungsfreiheit und der möglich großen Spannweiten und weiten Stützenabständen für Wohn-, Gewerbe- und öffentliche Gebäude eingesetzt. Es wird fast ausnahmslos Brettschichtholz für die Tragstruktur verwendet.[20]

(18) vgl. A. Pech u.a. (2016), S.134
(19) vgl. Macha (2001), S.32-61
(20) vgl. U. Dangel (2016), S.84-89

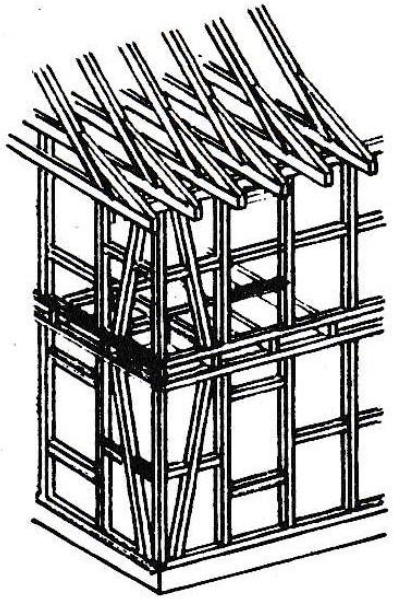


ABB 3.9: Fachwerkbau

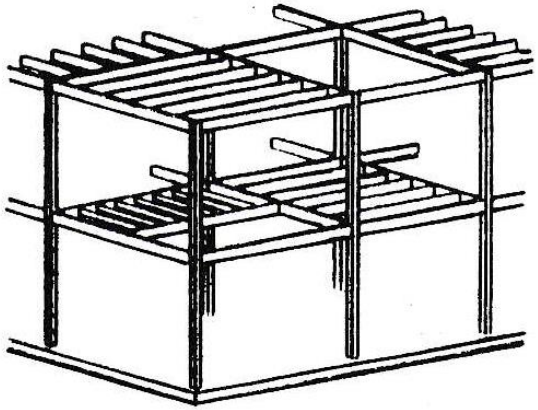


ABB 3.10: Skelettbauweise

Rahmenbauweise

Die Tragkonstruktion besteht aus stabförmigen, tragenden Rippen und beidseitiger Beplankung, die zur Aussteifung dient. Die Tragerippe wird auch als Rahmen bezeichnet. Die Dämmung ist vom Tragschicht nicht trennbar und befindet sich zwischen den Rippen des Rahmens.[23]

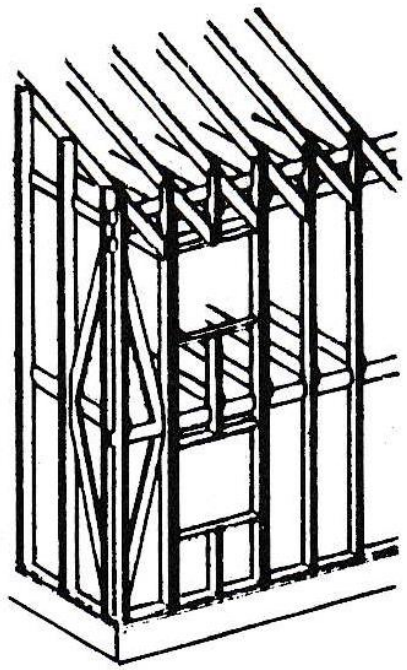


ABB 3.11: Rippenbauweise

Rippenbauweise

Rippenbauweise wird oft auch als Ständerbauweise bezeichnet. Sie besteht aus den stabförmigen, engmaschig gestellten Tragerippen (Ständern) und horizontal oder auch schräg aufgenagelten Brettern, mit denen sie ausgesteift wird.

Die moderne Rippenbauweise hat sich mit Beginn der Industrialisierung entwickelt. Im Vergleich zum Fachwerkbau ist die Tragerippe selbst nicht stabil und wurde ursprünglich durch eine außen aufgebrachte Massivholzschalung ausgesteift. Die vertikale Lastenabtragung erfolgt über das tragerippe und die horizontale über die Beplankung mit Brettern.

Eine besondere Bauart der Rippenbauweise ist der Balloon-Frame. Dabei werden über zwei Geschosse durchlaufende Stützen engmaschig gestellt und mit horizontal vernagelten Brettern als oberer und unterer Abschluss ausgesteift. Die Deckenträger liegen auf einer senkrecht angeordneten Stegbohle auf.[21]

Die Platform-Frame-Konstruktion besteht aus geschosshöhen Rippen. Die kleinere Dimension der Rippen ermöglichten eine effizientere Errichtung. Durch den geschossweisen Aufbau wurde das Übergreifen von Bränden auf die oberen Stockwerke vermieden, die beim Balloon-Frame durch die durchgehenden Leerräume zwischen den Rippen erleichtert wurde, sofern sie nicht feuerfest verschlossen wurden.[22]

Bei dem geschossweisen Aufbau wurde die Bodenplattform, mit der jedes Geschoss abgeschlossen wurde, als Arbeitsbühne, Gerüst und Bearbeitungsplatz genutzt.

Beide Systeme benutzen standardisierte, vorgefertigte Bauelemente. Heute werden Holzwerkstoffplatten für die Aussteifung eingesetzt.[21] *Die Platform-Frame ist bis heute die vorherrschende Bauweise für Wohnhäuser und kleinere Gewerbegebäude in Nordamerika.*[22]

(21) vgl. Macha (2001), S.32-61
(22) vgl. U. Dangel (2016), S.84-89
(23) vgl. W.Winter (2007), S.158

Tafelbauweise

Die Tafelbauweise wurde mit dem Ziel entwickelt, möglichst viele Bauteile vorzufertigen und sie in möglichst kurzer Zeit auf die Baustelle zu montieren. Die Tragstruktur besteht aus einer stabförmigen Tragerippe und einer Beplankung. Diese Bauweise unterscheidet sich von der Rippenbauweise darin, dass die Beplankung auch eine (mit)tragende Funktion hat und für die Aufnahme und Weiterleitung von Lasten berücksichtigt wird. Im Tafelbau unterscheidet man zwischen Klein- und Großtafelbauweise.[24]

Die Tafeln beim Kleintafelbau waren raumhoch (bis rund 2,5 m) und hatten eine Breite von 1,2 bzw. 1,25 m, die häufig auf den Fensterrastern abgestimmt war. Die Kleintafeln wurden ohne zusätzliches Hebezeug, „vom Hand“ montiert. Die Fugen zwischen den Elementen wurden mit eingelegten vorkomprimierten Dichtungsbänder und/oder Überlappung der Beplankung geschlossen und ein kraftschlüssiger Verbund hergestellt.

(24) vgl. Macha (2001), S.32-61

Der Einsatz von vorgefertigten Kleintafeln beschränkt sich in der Regel auf die Wandkonstruktion. Vorgefertigte Decken- oder Dachelemente kommen praktisch nicht zum Einsatz.[24]

Großtafeln können in einer Abmessung von 15m Länge und 12,5 m Breite hergestellt werden. Die Tafelgröße wird jedoch von den Transportmöglichkeiten und örtlichen Gegebenheiten der Baustelle bestimmt. Sie werden mittels Hebezeuge montiert. Die Tafeln zeigen einen hohen Vorfertigungsgrad und werden häufig TGA- und Sanitärinstallationen, Fenster, Türe in die Wandkonstruktion eingebaut. Vorfertigung von Decken- und Bodenelemente als Kasten- oder Halbschalenelemente sind möglich.[24]

Raumzellenbauweise

Bei Raumzellenbau werden zuerst einzelne Wand-, Decken- und Bodenbauteile gefertigt und dann in einem Raumtragwerk bestehend aus Holzrahmenkonstruktion im Werk eingebaut. Sie zeigt der höchste Vorfertigungsgrad mit einem kompletten Innenausbau.[24]

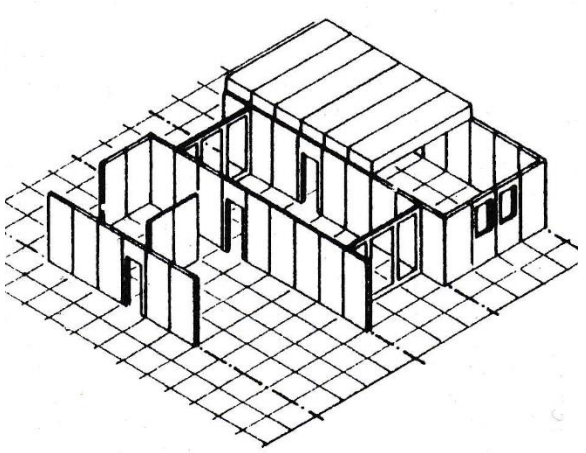


ABB 3.12: Kleintafelbau

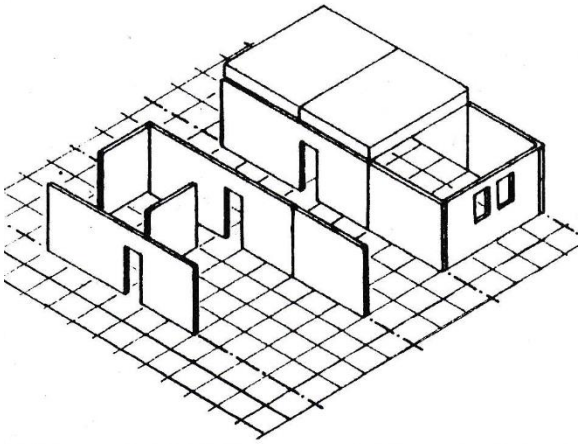


ABB 3.13: Großtafelbau

3_5_ *Holzmassivbauweise*

Der Holzmassivbau zeichnet sich durch eine massive Tragschicht und eine klar getrennte Dämmschicht aus. Oft werden großformatige, flächenbildende Bauelemente eingesetzt. Die Aussteifung erfolgt durch die Scheibenwirkung der Wand- und Deckenelemente. Das älteste und einfachste Bausystem der Holzmassivbauweise ist der Blockbau.[25]

Blockbauweise

Die Wand besteht beim Blockbau aus waagrecht aufeinandergestapelten Holzstämmen, bei denen die Verbindung an den Ecken mittels Verkämmung erfolgt. Die Aussteifung des Gebäudes wird über Querwänden erreicht. Bei Blockbau muss die Setzung berücksichtigt werden, und müssen die Verbindungen zwischen den Elementen und vor allem rund um die Öffnungen so ausgebildet werden, dass sie Setzungsbewegungen erlauben.

Fugendichtheit wird beim modernen Blockbau mit Fugendichtungsbänder zwischen Doppelnut- und Federverbindunge erzielt. Jedoch kann eine echte Fugendichtheit nur bei mehrschichtigem Wandaufbau erreicht werden.[26]

Brettstapelbauweise

Brettstapelkonstruktionen sind Vollholzkonstruktionen, die vor allem in der Schweiz zum Einsatz kommen. Brettstapelholzelemente bestehen aus hochkant gestellten Brettern, die miteinander gedübelt (DLT) oder genagelt (NLT) verbunden sind. Die Bretter in den Lamellen sind stumpf gestoßen oder keilverzinkt. Durch die senkrechte Anordnung der Bretter werden die senkrechten Schwind- und Quellverformungen der Wände gegenüber Blockbau stark reduziert. Brettstapelholz wird als Wand- und Deckenelement eingesetzt. Die Decken können eingehängt werden oder liegen auf den Wandelementen auf.[26][27]

(25) vgl. Pech u.a. (2016), S.134
(26) vgl. Macha (2001), S.32-61
(27) vgl. Kolb (2007), S.122-123

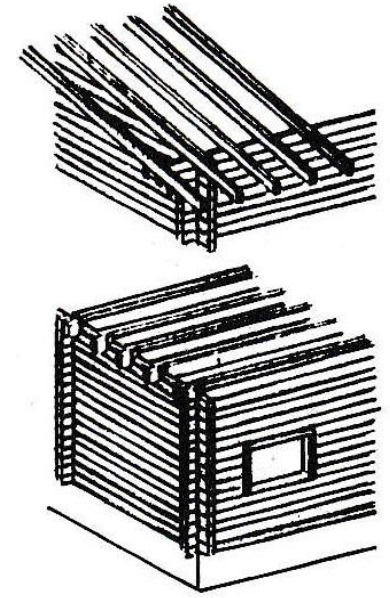


ABB 3.14: Blockbauweise

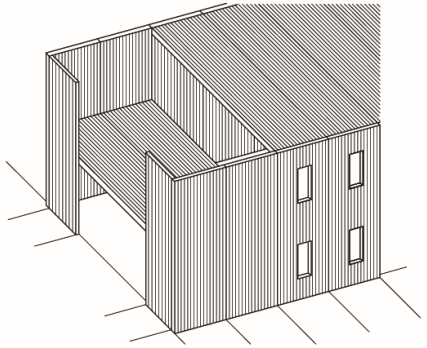


ABB 3.15: Brettstapelbauweise

Brettsperrholzbauweise

Aus Brettsperrholz werden Wand- und Deckenelemente mit sehr hohem Vorfertigungsgrad hergestellt. BSP-Elemente können sowohl als Platte als auch als Scheibe wirken. Die Wandelemente werden in üblicher Weise geschoßhoch hergestellt, jedoch gibt es Beispiele wo gebäudehohe Elemente verwendet wurden. Die Größe der BSP-Elemente hängt von den Produktionsbedingungen, Transport- und Montagemöglichkeiten ab.[28]

Durch die Herstellung von Brettsperrholz und die kreuzweise Verleimung der Lagen können die Schwind- und Quellverformungen der Holzbauteile aus BSP vernachlässigt werden. BSP besitzt eine besonders hohe Festigkeit und eignet sich für den Bau hoher Gebäude.[29] *Je nach Vorfertigungsgrad unterscheidet man zwischen Tafel- und Raumzellenbauweise mit BSP.*

Bei der Tafelbauweise werden flächige BSP-Elemente wie Wand- und Deckenelemente vorgefertigt und auf der Baustelle montiert.

Bei der Raumzellenbauweise mit BSP werden Raumzellen aus tragenden Elementen als dreidimensionale Struktur im Werk vorgefertigt, die später auf der Baustelle auf einem vorbereiteten Fundament montiert und auf- / nebeneinander gestapelt werden.[30]

(28) vgl. Schickhofer (2002), S.22-25
(29) vgl. Dangel (2016), S.84-89
(30) vgl. o.V. (2002), S.20

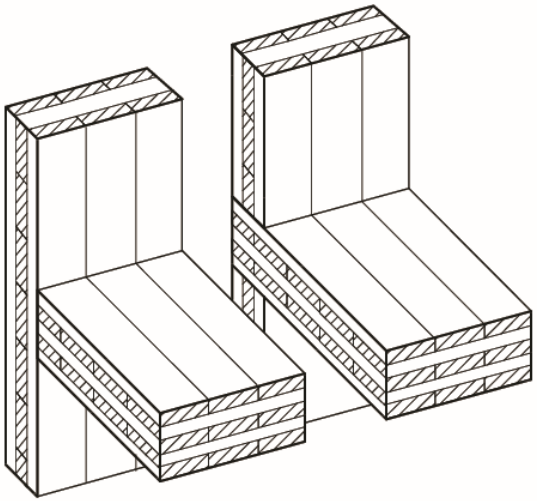
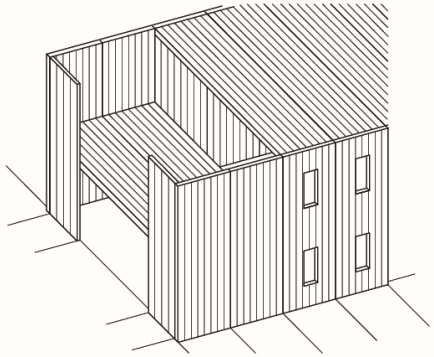
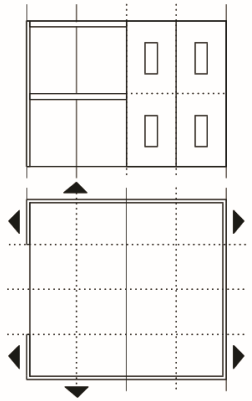


ABB 3.16: Brettsperrholzbauweise – Wand- und Deckenanschluss



- selbstaussteifende Scheibenwirkung
- Wand gebäudehoch: Decke eingehängt oder Wand geschoßhoch: Decke aufliegend



- Auskragungen in beide Richtungen möglich

ABB 3.17: Brettsperrholzbauweise

3_6_ *Mischbauweisen*

einheitliche Tragstruktur

Mischbauweise entkoppelt

Mischbauweise gekoppelt

Bei Holzbauten werden sehr oft Mischformen eingesetzt. Die Mischung der unterschiedlichen Bauweisen ermöglicht die Optimierung des Tragwerks. Kombinationen verschiedener Holzbauweisen werden als Holzmischbau bezeichnet. Als Mischbau wird die Kombination aus mineralischen Bauweisen und Holzbauweisen definiert.[31]

Ein wichtiger Aspekt bei den Mischformen ist das unterschiedliche Setzungsverhalten der Gebäudeteile, da die unterschiedliche Baustoffe unterschiedliche Setzungen auslösen können.

Nach Setzungsverhalten wird zwischen den folgenden Mischbauweisen unterscheidet:[32]

- *Einheitliche Tragstruktur*
- *Entkoppelte Mischbauweise*
- *Gekoppelte Mischbauweise*

Bei einheitlicher Tragstruktur verhalten sich die Gebäudeteile gleichmäßig und werden keine Setzungsunterschiede erzeugt.

Bei der entkoppelten Mischbauweise können die Gebäudeteile unterschiedlich setzen und werden die möglichen Verformungen durch Dilatationsfugen aufgenommen. Die zweischalige Ausführung bringt Vorteile vor allem im Schallschutz.

Die gekoppelte Mischbauweise wird wegen des geringeren Raumverlusts durch die einfache Wände bevorzugt. Die einzelnen Tragsysteme sollen möglichst geringe Unterschiede in ihrem Verformungsverhalten aufweisen und müssen bei der Tragwerksplanung berücksichtigt werden.[32]

Bei mehrgeschossigem Holzbau kommen Mischformen oft vor. Häufig werden Stiegenhäuser aus brandschutztechnischen Gründen und Keller- und Sockelgeschosse wegen Grund- und Spritzwasser aus Stahlbeton ausgeführt.

(31) vgl. www.uibk.ac.at (22.02.2018)
(32) vgl. Pech (2016), S.133-134

ABB 3.18: Tragstrukturkombinationen

3_7_ *Vorfertigung bei unterschiedlichen Bauweisen*

Im Holzbau wird noch immer ein großer Teil der Arbeit von Hand ausgeführt. Um diese lohn- und kostenintensive Arbeit zu reduzieren, wird immer häufiger versucht die Bauabläufe zu rationalisieren und mehr, effizienter im Werk vorzufertigen. Die „Industrialisierung des Bauens“, die die Gesamtheit rationeller, arbeitsteiliger Verfahrens- und Organisationsformen im Bauprozess umschreibt, gewinnt eine immer größere Bedeutung. Die ersten Fortschritte in der Industrialisierung im Bauwesen erfolgten im Bereich Fassaden- und Hochhausbau und in der Fertighausindustrie.[33]

„Holz bringt aufgrund seiner Eigenschaften die besten Voraussetzungen für eine Vorfertigung mit sich.“[34] *Die unterschiedlichen Bauweisen lassen verschiedenen Grad der Vorfertigung zu. Im Vergleich zur Rippenbauweise, wo nur einzelne Bauteile mit Verbindungsdetails vorgefertigt werden können, kann bei der Raumzellenbauweise ein Vorfertigungsgrad von maximal 95 Prozent erreicht werden.*[35]

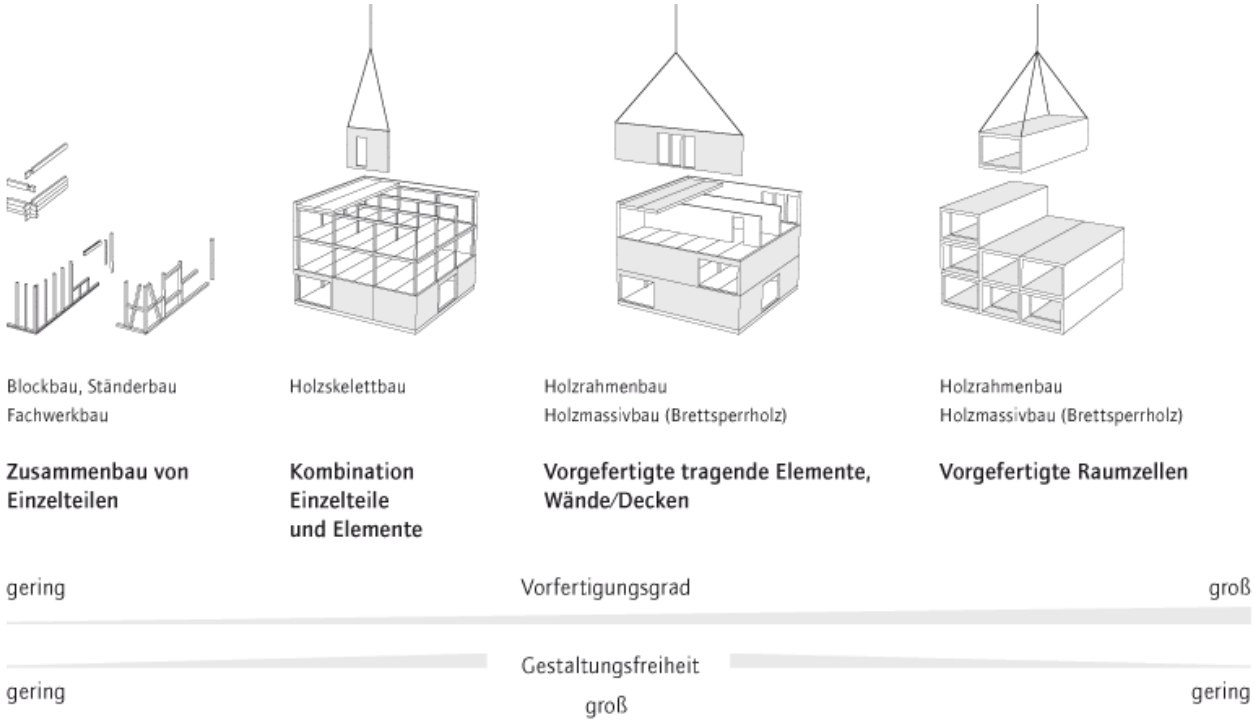


ABB 3.19: Logik der Vorfertigung

Vorfertigung heißt, dass die Arbeit nicht vor Ort auf der Baustelle, sondern in einer witterungsgeschützten Halle stattfindet. Durch die Verlagerung der Produktion in eine Werkstatt wird die Qualität wegen den kontrollierten Bedingungen erhöht, die Montagezeit wegen der geringeren Elementmenge und dadurch auch die Bauzeit verkürzt. Der Vorfertigungsgrad eines Gebäudes hängt stark von der Planung und der von den Transport- und Montagemöglichkeiten der Elemente ab.

(33) vgl. Landsberg; Pinkau (1999), S.10
(34) Kaufmann (2013), S.4-5
(35) vgl. Dangel (2016), S.115

4_ REFERENZPROJEKTE

4_1_ *Mineroom Leoben*

ECKDATEN:

Funktion:	*Studentenwohnheim*
Standort:	*8700 Leoben, Josef-Heissl-Strasse 26*
Bauherr:	*Gemeinn. Wohn- und Siedlungsgenossenschaft Ennstal reg. Gen.m.b.H. Liezen*
Architektur:	*aap.architekten zt-gbmh*
Ausführung:	*Totelunternehmer: ARGE SWIETELSKY Baugesellschaft m.b.H. & Weissenseer Holz-System-Bau GmbH*
Fläche:	*ca. 5.900 m² NF*
Bauzeit:	*11 Monate*
Fertigstellung:	*Herbst 2016*
Bauweise:	*Holzbau, EG Allgemeinbereiche/Stiegenhäuser in Stahlbeton*
Holzbau:	*Decken und Innenwände aus BSP; Außenwände in Rahmenbauweise (Tafelbw.)*
Baukosten:	*Auftragssumme der ARGE: 10,4 Mio EUR davon 2,7 Mio EUR reiner Holzbau und 0,8 Mio EUR Planungsleistungen*

ABB 4.1: Fotos über Mineroom Leoben

Das Studentenwohnheim Mineroom Leoben wurde in 2016 für 201 Studierende mit 139 Wohneinheiten errichtet, um die steigende Nachfrage an Studentenunterkünfte zu erfüllen. Die Blockrandbebauung wurde in Passivhausstandard errichtet.[1]

Das Gebäude gliedert sich in drei Bauteile und besteht aus einem Erdgeschoss und bis zu fünf Obergeschossen. Es wurde mit Ausnahme des Eingangsbereichs, des Kellers, der Stiegenhäuser und der Aufzugsschächte, die in Stahlbeton ausgeführt wurden, in Holzbauweise errichtet. Ca 1.900 m³ Holz wurde für die Tragkonstruktion und die Fassade verwendet[2]

Ab dem ersten Obergeschoss wurden alle Decken und Innenwände in BSP Tafelbauweise ausgeführt. Wegen brand- und schalltechnischen Anforderungen wurden Gipskartonvorsatzschalen auf die Trennwände und Decken angebracht. Die Außenwände inkl. vorgefertigte Fassade wurden in Tafelbauweise (Rahmenbauweise) gebaut.

(1) vgl. Projektmappe Mineroom Leoben, S.8
(2) vgl. https://www.nextroom.at (2018.04.08)

ABB 4.2: Pläne von Mineroom Leoben

4_2_ *Sozialzentrum Pillerseetal*

ECKDATEN:

Funktion:	*Sozialzentrum*
Standort:	*Kirchweg 8, 6391 Fieberbrunn*
Bauherr:	*Gemeinde Fieberbrunn*
Architektur:	*Sitka Kaserer Architekten, Saalfelden*
Ausführung:	*Raumzellen – Kaufmann Bausysteme GmbH*
Fläche:	*ca. 7.300 m^2 BGF*
Bauzeit:	*28 Monate (Montage Raumzellen: 28 Tage)*
Fertigstellung:	*September 2011*
Bauweise:	*Mischbauweise aus Stahlbeton und Brettsperrholz; Raumzellen aus BSP*
BSP:	*77 Raumzellen á 29 m^2*
Baukosten:	*ca. 15,5 Mio EUR*

ABB 4.3: Fotos über Sozialzentrum Pillerseetal

Das Projekt wurde als Siegerprojekt eines EU-weiten, offenen, zweistufigen Wettbewerbes realisiert. Es weist eine sehr klare, übersichtliche und logische Grunddisposition auf, in der sich der Baukörper in durchlichtete und durchlüftete Bereiche gliedert.[(3)] Neben den 80 Betreuungsplätzen umfassenden Pflegeheim mit Tagesbetreuung und Café umfasst das Gebäude auch ein Kindergarten mit sechs Gruppen.

Das Gebäude wurde in Mischbauweise gebaut. Der Kern, der die horizontale und vertikale Erschließungsflächen umfasst, besteht aus Stahlbeton, worauf die vorgefertigten Zimmermodule aus BSP befestigt wurden. Die Module wurden von Kaufmann Bausysteme bezugsfertig inklusive Installation in Vorarlberg vorgefertigt und nach Fieberbrunn transportiert. Um viele, problematische Anschlüsse zu vermeiden, wurde die Fassade vor Ort gebaut.[(4)]

(3) vgl. www.architekturwettbewerb.at (08.04.2018)
(4) vgl. Borosnyai (2014), S.20-25

ABB 4.4: Pläne von Sozialzentrum Pillerseetal

4_3_ *Seniorenwohnhaus Hallein*

ECKDATEN:

Funktion:	*Seniorenwohnhaus*
Standort:	*Pernerweg 2, 5400 Hallein*
Bauherr:	*Stadtgemeinde Hallein*
Architektur:	*sps-architekten zt gmbH*
Ausführung:	*Kaufmann Bausysteme GmbH*
Fläche:	*ca. 10.200 m² BGF*
Bauzeit:	*20 Monate (Montage Raumzellen und Decken: 30 Tage)*
Fertigstellung:	*2013*
Bauweise:	*UG, EG und Stiegerhäuser aus Stahlbeton; 4 Obergeschosse aus BSP*
BSP:	*Geschossdecken in Tafelbauweise und*
	136 Raumzellen aus BSP: 128 Stk. 8x4 m und 8 Stk. 8x5 m
Baukosten:	*ca. 16,5 Mio EUR*

ABB 4.5: Fotos über Seniorenwohnhaus Hallein

Das neue Seniorenwohnhaus hat unter kontinuierlicher Nutzung die Funktion des bisherigen Altenheims am selben Standort übernommen. Das Projekt wurde als Siegerprojekt des in 2008 ausgelobten Wettbewerbs realisiert. Das ursprüngliche Siegerprojekt wurde in Schottenbauweise geplant und laut Aussage von Norbert Mayr hätte ein Holzbau nie gewinnen können, da die Vorurteile dem Holzbau gegenüber gerade bei dieser Bauaufgabe viel zu hoch waren.[(5)]

Der Wettbewerb hat eine komplexe Bauabwicklung unter einem laufenden Betrieb mit 100 Betten vorgesehen. Mehrere Alternativen wurden für die Realisierung ausgearbeitet. Wegen den wiederholenden Zimmern war das Seniorenwohnheim für eine serielle Fertigung prädestiniert. Nach einer Zusicherung seitens der Architekten, dass die Umsetzung im Holzbau keine Mehrkosten gegenüber der originalen Planung erzeugt, hat die Gemeinde beschlossen, das Projekt im Holzbau umzusetzen. Der Holzbau mit hohem Vorfertigungsgrad hat die Bauzeit weiters um einen Monat verringert.[(5)]

(5) vgl. www.hallein.gv.at (10.04.2018)

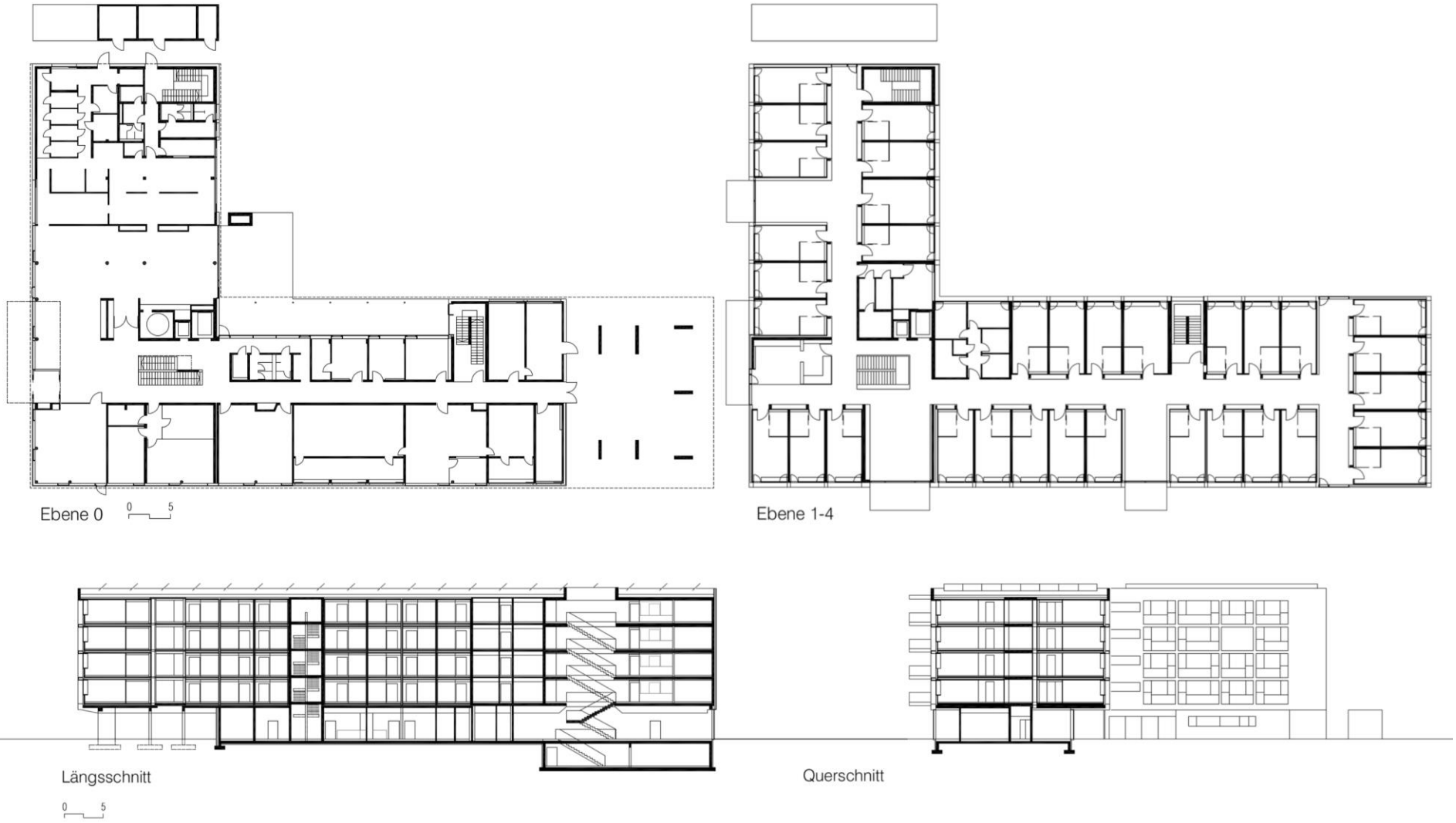


ABB 4.6: Pläne von Seniorenwohnhaus Hallein

5_ TAFEL- VS. RAUMZELLENBAUWEISE MIT BRETTSPERRHOLZ

5_1_1_ Anwendung von Brettsperrholz

Die Entwicklung von Brettsperrholz hat nicht nur zu einem neuen Baustoff, sondern auch zu einer neuen Art der Massivbauweise geführt. Jahrhunderte lang haben sich die Entwicklungen im Holzbau auf die Leichtbauweisen konzentriert. Die erhöhten bauphysikalischen Anforderungen und der Wunsch nach Materialoptimierung haben zu den heute gängigen mehrschichtigen Aufbauten der Außenwände geführt.(1) Der Blockbau konnte mit Tafel- und Raumzellenbauweise im Leichtbau, die einen hohen Vorfertigungsgrad aufweisen, nicht konkurrieren.

Durch Brettsperrholz wurde eine neue Dimension der Holzbaustoffe eingeleitet. Aus dem gerichteten Werkstoff Holz ist durch die kreuzweise Verleimung der Bretter ein indifferenziertes und großformatiges Material entstanden. Die flächenhafte Tragelemente wirken je nach Belastungssituation als Platte oder Scheibe und können als Boden, Decke und Wand eingesetzt werden.(2)

Ein erheblicher Vorteil der Brettsperrholzbauweise im Vergleich zu anderen Holzbauweisen ist, dass die Elemente exakt und individuell nach Plan gefertigt werden und eine annähernd freie und nichtmodulare Anwendung ermöglichen. Neben dem Bau von Ein- und Mehrfamilienhäusern oder gewerblichen Bauten ist BSP auch für die Errichtung hoher Gebäude geeignet. (2)

ABB 5.1: Brettsperrholzwände und-decken

Aufgrund der guten Brand– und Schalleigenschaften sowie der Tragfähigkeit des Materials und des hohen Vorfertigungsgrades und der trockenen Bauweise ist die Nachfrage nach BSP in den letzten 10 Jahren enorm gestiegen und wird Brettsperrholz immer häufiger eingesetzt.

(1) vgl. Winter; Lattke (2011), S.14
(2) vgl. Mestek; Werther; Winter (2010), S.3

5_1_2_ Brettsperrholzbauweise

Elemente aus Brettsperrholz können vielfältig eingesetzt werden. Neben Boden-, Decken- und Wandelementen können Stiegenläufe, Balkonplatten und sogar stabförmige, lastabtragende Bauteile wie Überlager, Unterzüge und Stützen hergestellt werden. Durch die diversen Kombinationen der Längs- und Querlagen der Elemente können die statisch konstruktiven, brandschutztechnischen und bauphysikalischen Eigenschaften nach Anforderung optimiert werden. Die Anforderung an die Herstellung und die Richtlinie zur Verwendung der Elemente als tragender oder aussteifender Bauteil sind in den jeweiligen Zulassungen der einzelnen BSP-Produzenten geregelt.[3]

(3) vgl. Schickhofer (2002), S.23ff

Die Brettsperrholzbauweise wird sehr oft mit anderen Bauweisen kombiniert und werden BSP-Elemente in Holzmisch- und Mischbauweisen eingesetzt. Mischbauweise kommt in unterschiedlichen Formen vor:[4]

- *Geschossweise Mischung*
- *Sektionale Mischung*
- *Trennung zwischen Tragstruktur und Gebäudehülle*
- *Mischung von Bauteilen*

Die geschossweise Mischung ist die am häufigsten angewendete Mischbauweise im Holzbau. Die Holzbauteile werden im oberirdischen Bereich und Ziegel oder Stahlbeton im Sockelbereich oder Erdgeschoss eingesetzt.

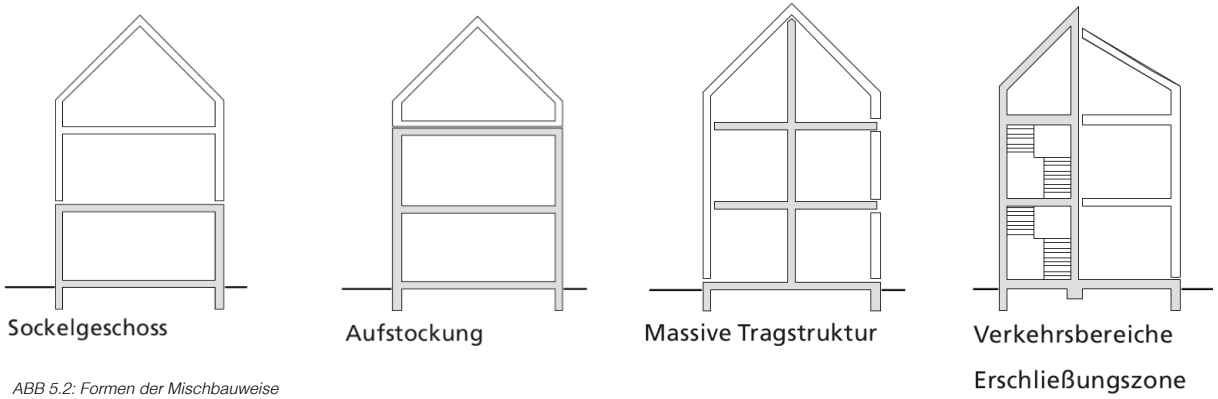


ABB 5.2: Formen der Mischbauweise

Aufstockung auf bestehende Gebäude ist eine andere typische Form des geschossweisen Mischbaus. BSP ist auf Grund des geringen Eigengewichts und hohen Vorfertigungsgrades für dieses Anwendungsgebiet prädestiniert.[4]

Bei sektionaler Mischung werden Gebäudeteile oder-abschnitte mit unterschiedlichen Bauweisen aus funktionalen, gestalterischen oder konstruktiven Gründen entkoppelt oder gekoppelt realisiert.[4] *Obwohl Massivholzelemente sehr gute Brandschutzeigenschaften besitzen, werden die vertikale Erschließungskerne wegen der Brandschutzbestimmungen sehr oft aus Stahlbeton ausgeführt.*[5]

Bei einer Trennung zwischen Tragstruktur und Gebäudehülle wird BSP oft für die Tragstruktur verwendet und die Fassade im Leichtbauweise gebaut. Bei einer bauteilbezogenen Mischbauweise werden Bauteile wie Wand und Decke aus unterschiedlichen Konstruktionen ausgeführt. BSP-Elemente eignen sich außerordentlich gut für Decken und aussteifende Wände.[4]

(4) vgl. Dederich; Koch (2006), S14-17
(5) vgl. Dangel (2016), S.88

5_1_ VORFERTIGUNG

5_1_1_ Vorfertigung im Holzbau

Die Baustelle ist als Produktionsort aus vielen Aspekten für eine optimale Produktion ungeeignet. Die Verlagerung der Produktion in eine geschützte Halle bietet eine gute Alternative die Arbeit effektiver und unter kontrollierten Bedingungen durchzuführen. Obwohl der Bedarf für Vorfertigung schon sehr lange existiert, mussten erst technische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen erfüllt werden. Im Gegensatz zu Holzelementen wurden Holzbauteile, wie Wände und Decken, zuerst in der 20. Jahrhundert vorgefertigt. Die Optimierung der Bauarbeit im Holzbau steht heutzutage oft in direktem Zusammenhang mit dem Vorfertigungsgrad des Gebäudes.

Holz bringt aufgrund seiner Eigenschaften sehr gute Voraussetzungen für die Vorfertigung. Seit Beginn des Holzbaus wurden angewendete Holzelemente wie Balken vor der Lieferung auf die Baustelle hinsichtlich auf Form, Größe und Verbindung mit anderen Elementen vorbereitet. Jedoch waren technische Entwicklungen für die Vorfertigung von kompletten Bauteilen notwendig. Nach der ersten Industriellen Revolution wurden Halbfertigprodukte wie Bretter und Balken auf den neuen Sägemaschinen in großen Mengen produziert. Weitere Geräte wurden bei der Bearbeitung von Holzprodukten eingesetzt. Mit Nägel aus Eisen ist die Verbindung der Elemente einfacher geworden. Jedoch könnten diese neuen Baumethoden ohne den sinkenden Preis von massenproduzierten Nägeln und Brettern nicht realisiert werden.[(6)]

Die ersten Schritte in Richtung Vorfertigung von Bauteilen wurden mit der Platform-Frame-Bauweise eingeleitet. Bei dieser Bauweise werden die Wandelemente zuerst liegend auf der jeweiligen Geschossdecke vorgefertigt und dann aufgestellt. Da die Produktion auf der Baustelle passiert, kann man bei Platform-Frame-Bauweise noch nicht über Vorfertigung reden. Trotzdem wurden hier zum ersten Mal im Holzbau Bauteile statt Bauelemente montiert.

(6) vgl. Affentranger (2001), S.7

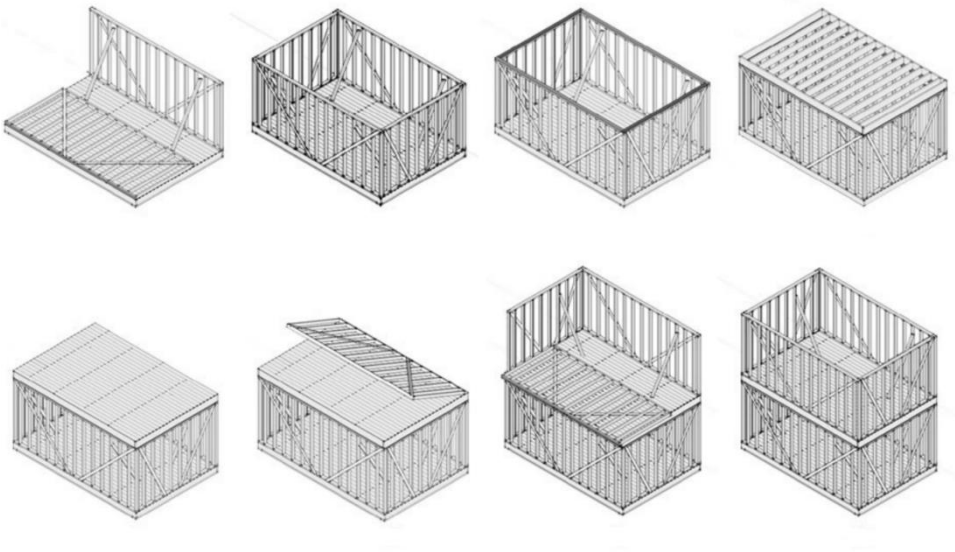


ABB 5.3: Platform-Frame-Bauweise

„So lange die Lohnkosten in Relation zum Material niedrig und genügend Fachkräfte verfügbar waren, bestand kein Anlass zur Rationalisierung.“[(7)] Nach dem Ersten Weltkrieg haben die Kriegswirtschaft und der Einsatz von ungelernten Arbeitskräften im Bauwesen zur Entwicklung standardisierter Gebäudetypen, Bauelementen und Anschlüsse geführt. Preiswerte Baracken wurden in Tafelbauweise mit vorgefertigten Wandelementen errichtet. In Europa wurde der Fokus jedoch auf die Vorfertigung von Betonfertigteile gelegt und die großen Wohnanlagen aus vorgefertigten, standardisierten Bauteile aus Beton in Plattenbauweise errichtet.

Im Holzbau hat sich der Tafelbau in der Fertighausindustrie vor allem in den USA etabliert. Durch die stetigen Entwicklungen im Bereich Herstellung, Transport und Montage konnten immer größere Bauteile vorgefertigt werden. Die gestiegenen Lohnkosten in den 1970er Jahren haben zur strengen Industrialisierung im Wohnbau geführt.[(7)] Der Einsatz von Computer und Maschinen mit computergestützter numerischer Steuerung (CNC) haben die Holzverarbeitungsindustrie dramatisch verändert. Durch die Entwicklung neuer Technologien und Holzwerkstoffe, wie Brettsperrholz, ist heute die individuelle Vorfertigung von Bauteilen möglich.

Die dauernd steigenden Lohnkosten führen zur weiteren Rationalisierung und Industrialisierung im Holzbau. Weiters lassen sich Bauteile entsprechend den erhöhten bauphysikalischen Anforderungen besser unter kontrollierten Bedingungen in der Produktionshalle herstellen.[(7)]

Die Produktion und in Weiteren die Verarbeitung von Brettsperrholzplatten wäre ohne die Industrialisierung der Holzbau nicht vorstellbar gewesen. Diese erheblichen Entwicklungen haben dazu geführt, dass auf Grund der Industrialisierung und den neuen Baustoffen die Rahmenbauweise durch die Massivbauweise zurückgedrängt wurde.

(7) Gunßer (2002), S6
(7) vgl. Gunßer (2002), S5-7

ABB 5.4: Produktion von Raumzellen – Seniorenwohnhaus Hallein

5_1_2_ Rationalisierung am Bau

Die Errichtung eines Gebäudes kann als ein Produktionsprozess betrachten werden, der in vier Phasen unterteilt werden kann: die Planung, die Produktion oder Vorfertigung, die Logistik der Anlieferung und die Montage vor Ort.[8] Der Erfolg der Produktion wird durch drei Faktoren definiert: Kosten, Zeit und Qualität. Für diese Faktoren werden Ziele in jeder Phase und für das Gesamtprojekt vorgegeben, deren Einhaltung dauernd kontrolliert wird.

Um die Qualität zu steigern oder die Kosten und die benötigte Zeit zu reduzieren, kann die Rationalisierung des Prozesses, die die Optimierung des Bauvorgangs- und der Relation zwischen Aufwand und Ergebnis beschreibt, auf unterschiedliche Wege erreicht werden:[9]

Wiederholung

Bei der Serienfertigung von Elementen, die eine vorbestimmte Form hat, werden Produktionsprozesse wiederholt. Die Elementierung – die Aufteilung eines Gebäudes in typisierte Elemente – definiert jedoch ein Raster für das Gebäude vor.

(8) vgl. Knaack; Chung-Klatte (2012), S.85
(9) vgl. Albers u.a. (2001), S.62f

Arbeitsteilung

Arbeitsvorgänge werden in überschaubare Einzeltätigkeiten zerlegt. Bei diesem Prozess ist eine Betriebsorganisation erforderlich.

Ablauforganisation

Hohe Produktivität kann durch die exakte Organisation der Planungs-, Fertigungs- und Montageabläufe erbringen. Jedoch verringert sich die Flexibilität durch die strengen Vorgaben.

Spezialisierung

Spezialisten sind für die arbeitsteilige Organisation der Prozesse erforderlich. Da die Aufgaben zwischen Spezialisten aufgeteilt werden, sind Generalisten hier weniger gefragt.

Mechanisierung

Der Einsatz von Maschinen erbringt eine enorme Produktionssteigerung in allen Phasen, die das Bauen in den letzten Jahrhunderten prinzipiell geändert hat. Bestimmte Prozesse werden sogar vollständig automatisiert.[10]

(10) vgl. Landsberg; Pinkau (1999), S.16

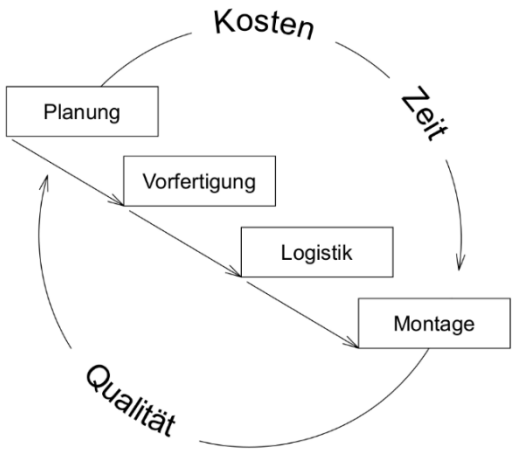


ABB5.5: Kosten- und Zielmanagement

Die Rationalisierung erfolgt bei den Projekten zum unterschiedlichen Grad. Teilbereiche sind stark optimiert, andere Bereiche weniger. Grundsätzlich kann man zwischen zwei Tendenzen unterschieden:

- *Rationalisierung durch Industrialisierung der Prozesse vor Ort auf der Baustelle*
- *Vorfertigung in der Halle und Montagearbeit auf der Baustelle[10]*

Vorfertigung ist im Holzbau eine sehr vorteilshafte und gängige Methode. Jedoch bleibt das Bauen eine ortsgebundene Tätigkeit, die man nicht vollständig in eine Halle verlegen kann.

5_1_3_ Baustellenfertigung vs. Vorfertigung

Als Baustellenfertigung wird die klassische, an der Baustelle stattfindende Bautätigkeit bezeichnet, wo die Bauteile an ihrem endgültigen Standort zusammengebaut werden. Bauen ist ein sehr komplexer Prozess, an dem viele unterschiedliche Fachleute beteiligt sind. Die örtlichen Gegebenheiten und die zur Verfügung stehenden Flächen für Zwischenlagerung von Materialien oder Manipulation sind von Baustelle zu Baustelle unterschiedlich.

Konventionelle Bauweisen leiden häufig unter ungünstigen Witterungsbedingungen, Budgetüberschreitungen, chronischen Verzögerungen und schlechter Ausführungsqualität.[11] Durch steigende Qualitätsanforderungen, die an der Baustelle kaum mehr gewährleistet werden können, und den zunehmenden Koordinationsbedarf zwischen den Gewerken wird immer häufiger versucht, die Rationalisierung durch Vorfertigung - die Verlagerung der Produktion in die Halle - zu lösen. Durch Vorfertigung kann eine bessere Produktionsqualität erzielt werden und sind Termine und Kosten besser kalkulierbar.

Baustellenfertigung:

- *ungünstige Witterungsbedingungen*
- *hohes Risiko von Feuchteschäden während der Bauphase; hoher Aufwand für Wetterschutzmaßnahmen*
- *dezentralisierter Fertigungsort*
- *viele, unabhängige Gewerke sind gleichzeitig auf der Baustelle tätig*
- *wenig ergonomische Arbeitsbedingungen*
- *ineffiziente Abläufe*
- *hoher Koordinationsaufwand*
- *komplexe Ressourcen-, Kosten- und Terminplanung*
- *späte und mangelhafte Planung erzeugt oft Improvisation auf der Baustelle*
- *Einschränkung der einsetzbaren Geräte*
- *geringere Ausführungsqualität*
- *Gefahr der Beschädigung von bereits erstellten Konstruktionen*
- *Höherer Platzbedarf für Lagerung und Manipulation[12][13][14][15]*

(11) vgl. Dangel (2016), S.114ff
(12) vgl. Isopp (2013), S.16f
(13) vgl. Huß (2017), S.142ff
(14) vgl. Knack u.a. (2012), S.46
(15) vgl. Kolb (2007), S.49

Vorfertigung:

- *Witterungsgeschützte Produktion*
- *Kontrollierte Produktionsbedingungen*
- *Hohe Ausführungsqualität und bessere Kontrolle der Prozesse*
- *Schnelle Montage und kürzere Einsatzzeit auf der Baustelle*
- *Genau kalkulierbare Zeit- und Ablaufpläne*
- *Bessere Arbeitsbedingungen: Unfallprävention*
- *Genaue Vorplanung ist für die Produktion notwendig*
- *höhere Planungstiefe in frühen Planungsphasen; grundsätzliche Entscheidungen müssen früher getroffen werden*
- *präzise Arbeitsvorbereitung ist erforderlich*
- *Weniger Lärmbelästigung für die Anrainer durch die kürzere Bauzeit*
- *Wirtschaftliche Vorteile durch die Verkürzung der Bauzeit*
- *Die Effizienz wird durch sehr kurze Wege, ständige Verfügbarkeit des kompletten Montageteams, der Materialien und Werkzeuge erhöht*
- *Einfachere Koordination und Kontrolle der Gewerke [12][13][14][15]*

5_1_4_ Vorfertigung in1D / 2D / 3D

Nach der Dimension unterscheidet man die Vorfertigung von linearen oder flächigen Elementen bzw. Raumzellen.[16]

Eindimensional:

Die einfachste Form ist die Vorfertigung linearer Elemente, bei denen eine Dimension wesentlich größer als die anderen beiden ist. Vorkonfektionierte Stäbe sind schon im traditionellen Holzbau zum Einsatz gekommen.

Zweidimensional:

Die Vorfertigung von Wand- Decken oder Dachelemente ist die häufigste Form der Vorfertigung. Bei scheibenförmigen / flächigen Elementen sind zwei Dimensionen wesentlich größer als die dritte.

Dreidimensional:

Raumzellen werden als raumgroße, raumbildende Module vorgefertigt.

(16) vgl. Landsberg; Pinkau (1999), S.20

Die Dimensionen der zum Einsatz kommenden, vorgefertigten Elemente haben einen großen Einfluss aufs Bauen. Als flächige Elemente können komplette Bauteile vorgefertigt werden. Die Größe und Dimension der Elemente sind jedoch oft durch die Logistik und Montagemöglichkeiten auf der Baustelle eingeschränkt. Zwei- und dreidimensionale Elemente lassen einen höheren Vorfertigungsgrad zu und durch größere Elemente verringert sich die Anzahl der Stöße und die Montagezeit, jedoch wird die Gestaltungsfreiheit durch Raumzellen eingeschränkt. Die Wahl der Elementdimension ist von vielen Faktoren abhängig.

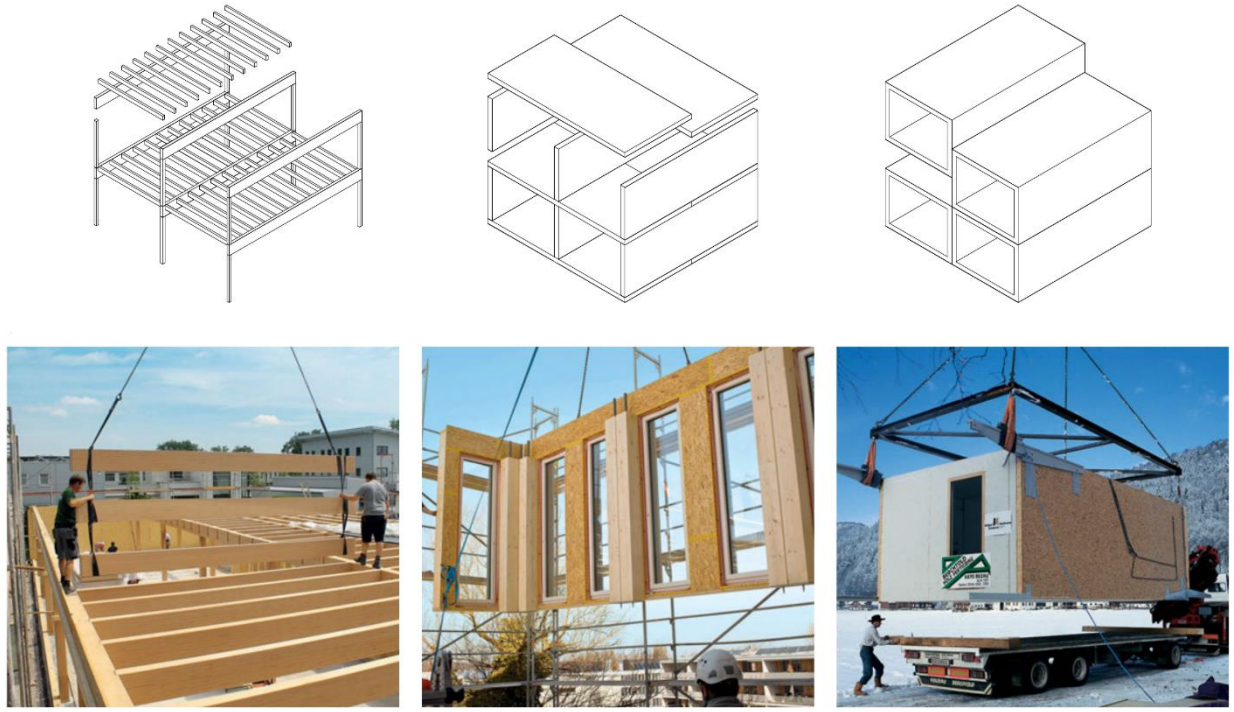


ABB 5.6: Vorfertigung von linearen / flächigen / raumhaltigen Elementen

5_1_5_ Vorfertigung vs. Individualität

Der Begriff Vorfertigung wird in alltäglicher Verwendung oft als Gegensatz zur Individualität verwendet. Die Konzeption der Monotonie und Gestaltungsarmut stammt grundsätzlich aus dem Plattenbau der 1970er Jahren und hat wenig mit Vorfertigung zu tun.

(17) Dangel (2016), S.115
(18) vgl. Knaack (2012), S.85-87

Vorfertigung bedeutet die Verlagerung der Produktion in die Werkstatt und ist eine Form der Rationalisierung des Bauprozesses. „Viele der früheren Vorfertigungskonzepte beruhten auf Systeme aus hochgradig gleichförmigen Teilen in standardisierten Größen, die auf verschiedene Weise für unterschiedliche Zwecke kombiniert werden konnten.“[17]

ABB 5.7: Fließbandproduktion

Nach der erfolgreichen Einführung der Fließbandproduktion in der Automobilherstellung wurde in den 1920er Jahren versucht, die neue Fertigungsmethode auch in der Bauindustrie einzuleiten. Ziel dieser Bestrebung war die Schaffung von leistbaren Wohnräumen. Bei der Fließbandproduktion bewegen sich die Werkstücke zum Arbeiter, der nur wenige, einfache, wiederholende Arbeitsschritte zum Gesamtprozess beiträgt.

Technologietransfer zwischen unterschiedlichen Branchen hat allerdings Grenzen und diese Methode war nicht komplett erfolgreich in der Bauindustrie umsetzbar. Bei einem Auto handelt es sich um ein Massenprodukt aus Einzelteilen, die in wenigen Varianten und großen Stückzahlen produziert werden. Vorgefertigte Bauten werden in kleiner Stückzahl produziert, deren Komponenten in zahlreichen Varianten existieren müssen, um individuelle Kundenwünsche erfüllen zu können.[18] Aus diesem Grund wurde diese Technologie hauptsächlich für die Produktion von Bauelementen und nicht für kompletten Gebäuden implementiert.

Serienfertigung von Bauteilen und individuelle Gestaltung scheinen unvereinbare Gegensätze zu sein. Bei Plattenbau aus Stahlbeton wurden Fertigteilschaulungen immer wieder verwendet um eine große Stückzahl gleicher Bauteile zu produzieren. In Europa fand eine Serienfertigung von kompletten Bausystemen im Holzbau nicht statt.

Im Holzbau erfolgt die Vorfertigung hauptsächlich in Form von der annähend industrialisierten Elementfertigung für Wände, Decken und Dächer. Die Hersteller beschränkten sich auf die Standardisierung von Bauelementen, die durch unterschiedlichen Kombinationsmöglichkeiten eine differenziertere Planung zulassen. Die Produktion der Bauelemente erfolgt nur nach Bestellung. Die Elemente werden abhängig vom Bauvorhaben und nicht auf Lager produziert.[19]

Die Größe der Elemente ist eine grundsätzliche Entscheidung, die von mehreren Faktoren beeinflusst wird. Früher wurde oft ein Rastermass (zB. 1000, 1200 oder 1500 mm) für die Planung festgelegt, wodurch auch die Elementbreite bestimmt wurde.[19] *Durch die Weiterentwicklungen der Produktionsgeräte, Transportfahrzeuge und Hebegeräte ist die Produktion von größeren Elementen möglich geworden. Heutzutage erstreckt sich die Länge der Elemente oft über einen einzelnen Raum und ist die Elementhöhe mit der Raumhöhe identisch.*

CNC-Anlagen haben die Möglichkeit der individuellen Vorfertigung weiter erleichtert. Die Serienproduktion im Holzbau konnte sich nur bei einzelnen Projekten bei der Produktion von Raumzellen durchsetzen.

(19) vgl. Kolb (2007), S.45-49

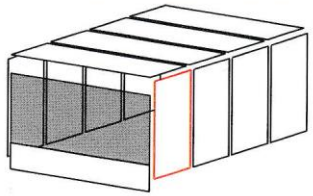
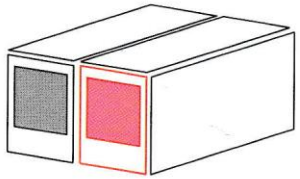
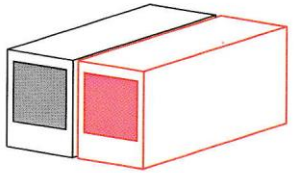
Bauweisen			
Konstruktion	Kleintafel Fugen im Raum	Großtafel fugenlose Raumbegrenzung	Raumzelle
Grundriss	Raster in einer Richtung, keine Bindung	kein Raster notwendig, Bindung ist die Transportmöglichkeit	Raster, Bindung ist die Transportmöglichkeit
Fabrikation	typisierte Elemente serienmäßig mit vorhandener Einrichtung	keine Typenelemente serienmäßig Spezialeinrichtung	keine Typenelemente Serien? Spezialeinrichtung
Transport Montage	vorhandene Fahrzeuge und Hebegeräte	Tieflader schwere Hebegeräte	Tieflader schwere Hebegeräte
Ausbau	überwiegend am Bau	überwiegend in der Werkstatt	überwiegend in der Werkstatt

ABB 5.8: Plattenbauweise aus Stahlbeton

5_1_6_ Vorfertigungsgrad

Abhängig von Bauweisen und Elementgrößen kann unterschiedlichen Grad der Vorfertigung erreicht werden. Die Auswahl des Vorfertigungsgrades – welche Leistungen in eine Halle verlagert werden - wird von mehreren Entscheidungsfaktoren beeinflusst. Diese Faktoren sind bei jedem Projekt einzeln zu bewerten, um das beste Ergebnis zu erzielen:[20]

- *Mögliche Bauweisen*
- *Transportmöglichkeiten*
- *Montagemöglichkeiten*
- *Einsetzbare Geräte*
- *Mögliche Lagerflächen auf der Baustelle*
- *Mögliche Bauzeit*
- *Wirtschaftliche Faktoren*
- *Witterungsrisiken*
- *Möglichkeit der Vorfertigung*
- *Vergabestrategie: Trennung der Gewerke*
- *Ressourcen für Koordinationsaufwand*

(20) vgl. Pech (2016), S.279
(21) vgl. Winter u.a. (2001), S.10

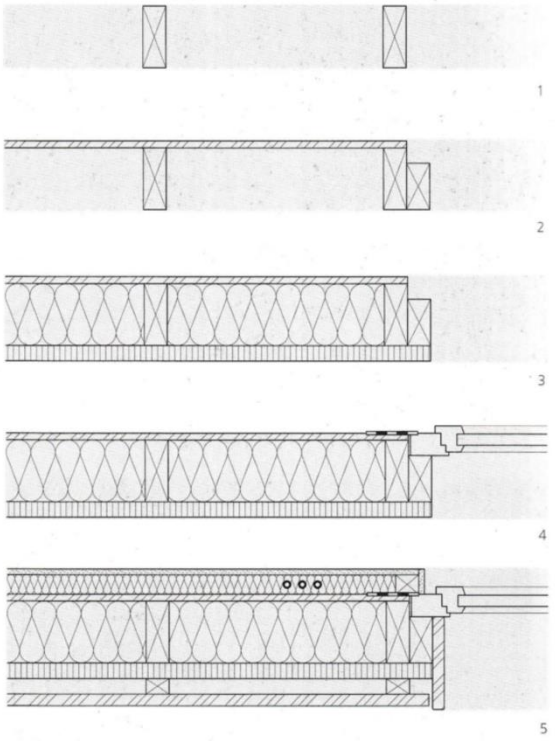
Grundsätzlich unterscheidet man zwischen vier Stufen beim Vorfertigungsgrad.[21]

1. Baustellenfertigung
Alle Leistungen werden auf der Baustelle mit einfachster Geräteausstattung ausgeführt

2. Rationalisierte, handwerkliche Vorfertigung „pre-cut“
Zimmermannsmäßige Holzverbindungen der Bauelemente werden mit Hilfe von CNC gesteuerten Fräs- und Abbundmaschinen vorgefertigt um die Montage vor Ort zu erleichtern.

3. Teilvorfertigung
Flächige Elemente werden ohne vollständige Schichtaufbau in der Halle vorgefertigt. Die Bauteile werden auf der Baustelle mit den fehlenden Schichten, wie Innenverkleidung oder Dämmung, auf der Baustelle ergänzt.

4. komplette Vorfertigung
Bauteile werden mit bereits allen Schichten sowie vormontierte Installationen im Werk vorgefertigt.



b23

1 Montage von einzelnen, stabförmigen Teilen
2 Montage von Elementen. Teile des Tragwerkes und mindestens eine flächige Schicht sind vormontiert.
3 Die Elemente sind beidseitig beplankt, gedämmt, Leerrohre für die Haustechnik eventuell eingelegt.
4 Elemente inklusive Einbauten wie Türen und Fenster, Verglasungen
5 Elemente inklusive Fassadenaufbau, äussere und innere Bekleidung

ABB 5.9: Vorfertigungsgrad

5_1_7_ Vorfertigungsgrad bei Brettsperrholzbauweise

Gebäude mit Brettsperrholz weisen einen großen Vorfertigungsgrad auf. Die Vorfertigung fängt mit der Produktion der Brettsperrholzplatten an. Die Platten werden üblicherweise in einer Standardgröße, die durch die Bearbeitungsmaschinen definiert sind, produziert. Aus diesen Platten werden die flächigen Bauteile in gewünschter Größe ausgeschnitten. Eindimensionale Elemente, wie Stützen oder Träger, werden selten aus Brettsperrholz produziert.

Die Platten werden weiters mit CNC gesteuerten Fräs- und Abbundmaschine bearbeitet. Fenster-, Türöffnungen und Auslässe für Pfetten oder Sparren werden in der Produktion ausgeschnitten. Die Plattenkanten können für die leichtere Verbindung mit anderen Platten mit Fälze oder Nut- bzw. Schlitzfräsung vorgesehen werden. Durch Fräsung, Bohrung, Senkung werden Details für Installationen und Verbindungen mit anderen Bauteilen vorbereitet. Oft werden Hebeschlaufen als Montagehilfen in der Produktion eingebaut.[22]

(22) vgl. Stora Enso (2012) S.305-311

ABB 5.10: Brettsperrholzelement - Mineroom Leoben

BSP-Elemente werden in Tafel- oder Raumzellenbauweise eingesetzt.

Bei Tafelbauweise mit BSP werden flächige BSP-Elemente wie Wand- und Deckenelemente vorgefertigt und auf der Baustelle montiert. Brettsperrholzplatten können in Sichtqualität ausgeführt werden. Um die Elementstöße vor Witterung zu schützen und eine geschlossene Dämm- und Fassadenebene zu bilden wird eine zusätzliche Außenfassade vor Ort aufgebracht. Falls eine Installationsebene aus Gipskarton notwendig ist, wird es üblicherweise auf der Baustelle ausgeführt.[23]

ABB 5.11: Raumzelle – Sozialzentrum Pillerseetal

Bei Raumzellenbauweise mit BSP werden Raumzellen aus tragenden, flächigen Elementen als dreidimensionale Struktur im Werk vorgefertigt. Raumzellen zeigen die weitestgehende Form der Vorfertigung. Sie können als reine dreidimensionale Tragstruktur oder als bis zu etwa 95% voll ausgestattetes Modul vorgefertigt werden.[24]

(23) vgl. Pech u.a. (2016), S.283
(24) vgl. U. Knaack u.a. (2012), S.48

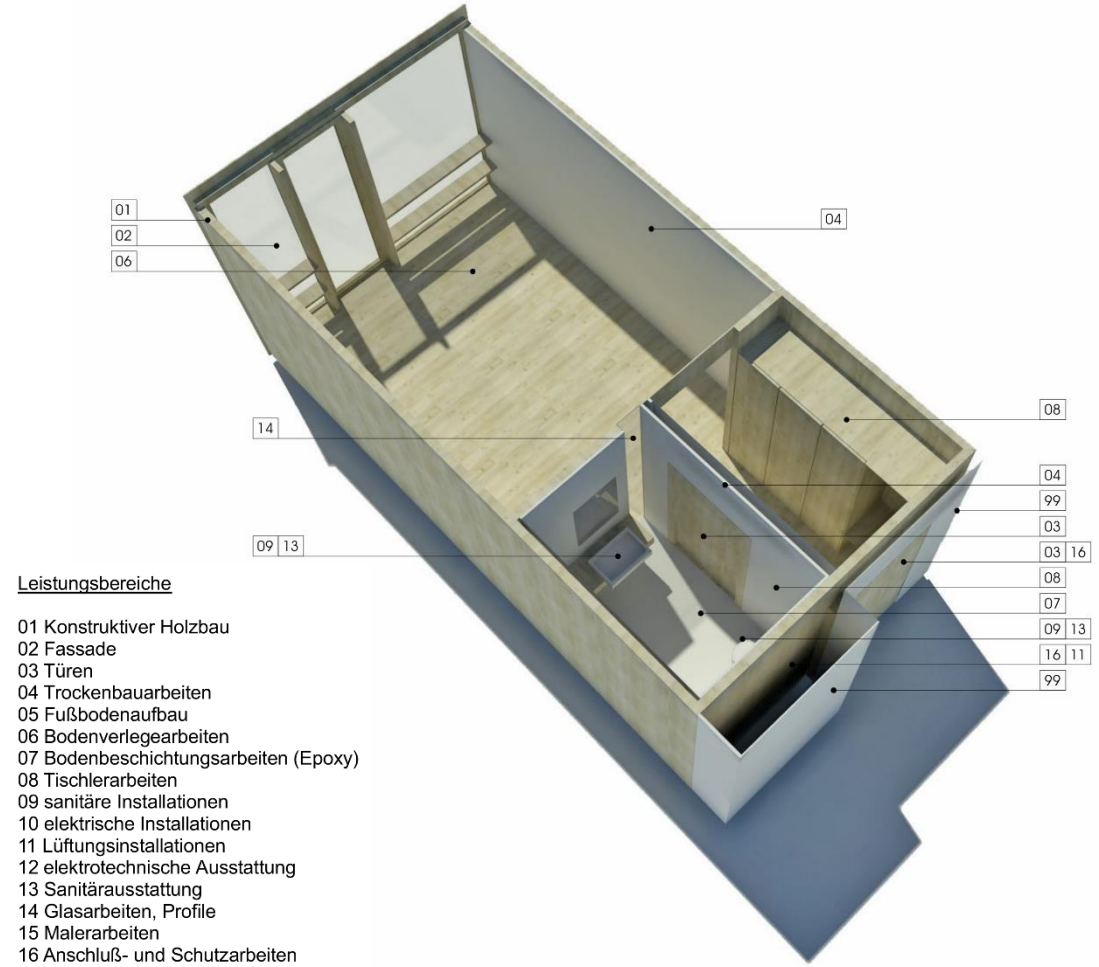
5_1_8_ Raumzellen

Raumzellen werden oft auch als Module bezeichnet. Sie werden grundsätzlich als unabhängige Räume, aber auch als Nutzungseinheiten, wie Zimmer mit Badezimmer, verwendet. Die vorgefertigten Module werden an der Baustelle neben- und aufeinander gestapelt.

Raumzellen werden im Werk oft in serieller Fertigung auf Fertigungsstraßen zusammengebaut. Bei höchstem Vorfertigungsgrad werden sie mit kompletter Innenausstattung bis hin zur festen Möblierung geliefert. Die Haustechnikinstallationen werden im Werk vormontiert und die Leitungen nach der Montage nur noch miteinander verbunden.[25]

Die Dimension der Raumzellen ist durch die Transportmöglichkeiten eingeschränkt, wodurch die Gestaltungs- und Anwendungsfreiheit eingegrenzt wird. Vorteile der Raumzellen sind vor allem die hohe Ausführungsqualität und die kurze Bauzeit durch die schlüsselfertige Produktion. Raumzellenbauweise eignet sich gut für temporäre Einrichtung oder Gebäude mit wiederholenden Räume wie Hotels, Wohnheime.

(25) vgl. Huß (2017), S.146f



Leistungsbereiche

01 Konstruktiver Holzbau
02 Fassade
03 Türen
04 Trockenbauarbeiten
05 Fußbodenaufbau
06 Bodenverlegearbeiten
07 Bodenbeschichtungsarbeiten (Epoxy)
08 Tischlerarbeiten
09 sanitäre Installationen
10 elektrische Installationen
11 Lüftungsinstallationen
12 elektrotechnische Ausstattung
13 Sanitärausstattung
14 Glasarbeiten, Profile
15 Malerarbeiten
16 Anschluß- und Schutzarbeiten
99 nicht im Leistungsumfang enthalten

ABB 5.12: Zimmermodul - Sozialzentrum Pillerseetal

5_1_9_ Produktion von Raumzellen

Bei Raumzellen kann ein Vorfertigungsgrad bis zu rund 95% erreicht werden. Abhängig davon, wie viel Arbeit in die Halle verlagert wird, kann unterschiedlicher Grad der Vorfertigung erreicht werden. Es kommt selten vor, dass Raumzellen als reines, dreidimensionales Tragwerk vorgefertigt werden. Üblicherweise wird der höchstmögliche Vorfertigungsgrad angestrebt, wenn Module zum Einsatz kommen.

Die Raumzellenproduktion findet in einer witterungsgeschützten Halle statt. Die Zimmermodule von Sozialzentrum Pillerseetal wurden in Reuthe bei Kaufmann Zimmerei und Tischlerei vorgefertigt. Die Module von Sozialwohnhaus Hallein wurden in einer Produktionshalle in Kalwang zusammengebaut.[26]

(26) vgl. Isopp (2013) S.8f

Die Produktion der Raumzellen bei den Projekten von Kaufmann Bausysteme basiert auf dieselben Prinzipe wie die Fließbandproduktion. Statt den Arbeitern bewegen sich die Module zu den Arbeitern. Ähnlich wie bei der Automobilindustrie, werden die Module auf einer Fertigungsstraße vorgefertigt.[26]

ABB 5.13: Produktion von Raumzellen – Seniorenwohnhaus Hallein

ABB 5.14: Gleisanlage in der Produktionshalle in Kalwang

Genau wie bei einer Baustellenfertigung muss die Einrichtung auch bei Vorfertigung vor der Produktion definiert werden. Die Halle wird in folgenden Flächen unterteilt:

- *Produktionsfläche*
- *(Fertigungsstraße + Gerüst)*
- *Transportfläche*
- *Lagerfläche*
- *Sonstige Einrichtungen*

Die Fertigungsstraße wird in Bearbeitungsstationen unterteilt. Um die Module bewegen zu können, wird eine Gleisanlage errichtet. Die Raumzellen werden auf einen Rahmen auf Rollen gestellt und nach Abschluss der Arbeiten bei einer Station zur nächsten Station gerollt.

Die Produktionshalle ist mit einem Brückenkran ausgestattet, der beim Zusammenbau der Module aus Wand- und Deckenelemente und Fenstereinbau zum Einsatz kommt. Entlang der Fertigungsstraße wird ein Gerüst aufgebaut, um die Decke der Module einfacher zur erreichen.[27]

(27) zur Verfügung gestellte Information über die Referenzprojekte

ABB 5.15: Einrichtung der Produktionshalle in Kalwang

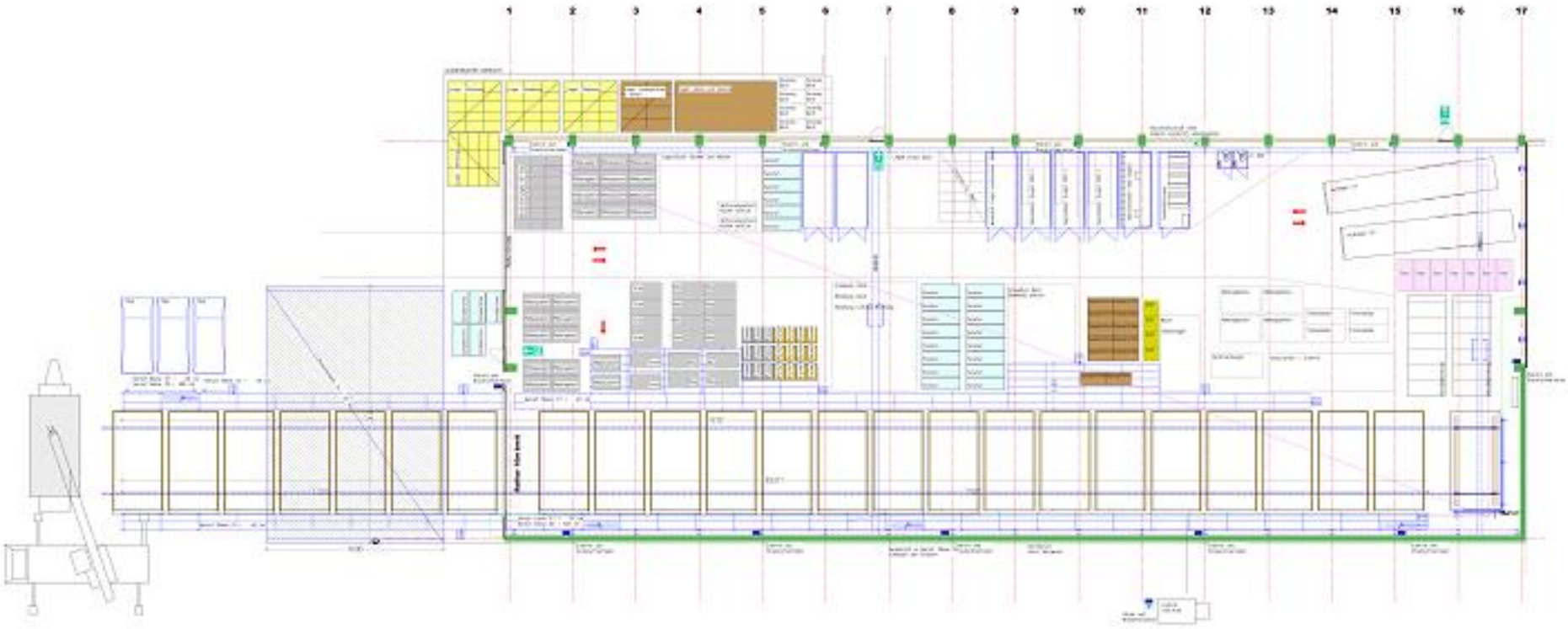


ABB 5.16: Lageplan der Produktionshalle in Kalwang

ABB 5.17: Lageplan der Produktionshalle bei der Tischlerei Kaufmann

Die Arbeitsabläufe, die normalerweise auf der Baustelle stattfinden, werden bei der Produktion von Raumzellen in kleinere logische, aufeinanderfolgende Arbeitsschritte unterteilt und zu Stationen zugeordnet. Bei jeder Station werden nur wenige, einfache, spezifische Arbeitsschritte wiederholt und die Module schrittweise fertiggestellt.

Bei Rahmenbauweise in Tafelbau wird bei der Vorfertigung zwischen Montage- und Bearbeitungsstationen unterscheidet. An den Montagestationen werden die Teile ausschließlich zusammengebaut und an den Bearbeitungsstationen Arbeitsprozesse wie Bohren, Nageln etc. ausgeführt. [(28)] *Bei der Produktion von Raumzellen können die Stationen nicht so klar unterscheidet werden.*

Bei der Aufteilung der Arbeitsabläufe muss nicht nur auf die Arbeitsschritte geachtet werden, genauso wichtig sind die Gewerkeaufteilung und die Prozesszeiten. Die Arbeitsschritte müssen so aufgeteilt werden, dass die Raumzellen gleich lang bei einer Station bleiben, damit zu keiner Verzögerung zwischen den Stationen kommt.

Neben der Prozesszeit hat die verfügbare Fläche den größten Einfluss auf die Organisation der Vorfertigung. Den Stationen sind nicht nur Arbeitsschritte, sondern auch die dafür benötigten Werkzeuge und Materialen zugeordnet.

Bei Kaufmann Zimmerei und Tischlerei wurden 3 Raumzellen pro Tag in einer 16x30m großen Halle für das Sozialzentrum Pillerseetal produziert. In der 30x80m großen Produktionshalle in Kalwang wurden 20 Stationen eingerichtet. Jedes Modul ist ca. zwei Stunden an einer Station geblieben und wurden 4 Zimmermodule pro Tag für das Sozialwohnhaus Hallein vorgefertigt. [(29)]

Die Raumzellen wurden mit fertigen Oberflächen und Einbaumöbeln auf die Baustelle geliefert und montiert. Sie blieben bis kurz vor der Fertigstellung verschlossen. Die Versorgungsleitungen der fast bezugsfertigen Module wurden vom Gang aus angeschlossen.

(28) vgl. Albers u.a. (2001), S.59
(29) zur Verfügung gestellte Information über die Referenzprojekte

ABB 5.18: Vorfertigung einer Raumzelle – Seniorenwohnhaus Hallein

ABB 5.19: fertigte Raumzelle – Seniorenwohnhaus Hallein

Die Arbeitsschritte wurden bei der Produktion in Kalwang folgenderweise zwischen den Stationen unterteilt: [29]

1. Station
- *Außenwände beplanken*
- *Boxen zusammenbauen, Zwischenwände und Fenster einbauen*

2. Station
- *Rohinstallation der Elektroleitungen montieren*
- *Maler: Wände 1. spachteln, Decke malen*
- *HKLS: Rohinstallation HKLS ausführen*

3. Station
- *Rohinstallation der Elektroleitungen montieren*
- *Gipskartonwände fertigstellen*
- *HKLS: Rohinstallation HKLS montieren*

4. Station
- *Dachplatten montieren*
- *Maler: Wände 2. spachteln, Decke malen*

5. Station
- *Innenwände beplanken*
- *Maler: Wände 2. spachteln, Decke malen*

6. Station
- *Dach dämmen und verpacken*
- *Installateur: UK Duschrinne setzen*

7. Station
- *Türstock montieren*
- *Estrich: Schüttung, Trittschall, Spannplatten*
- *Bodenleger: Trittschall, Spannplatte*

8. Station
- *Maler: Wände 3. spachteln, Decke malen*
- *Estrich: Bad, Trittschall, Schüttung Estrich*

9. Station
- *Außenverglasung montieren*
- *Sperrschicht*

10. Station
- *Maler: Wände 1. streichen*

11. Station
- *Wände außen dämmen und verpacken*

12. Station
- *Fliesenleger: Fliesen legen*

13. Station
- *Bodenleger: Parkett legen*
- *HKLS: Feininstallation HKLS montieren*

14. Station
- *Türprovisorium montieren*
- *HKLS: Feininstallation HKLS montieren*

15. Station
- *Spiegel, Kasten im Badezimmer einbauen*
- *Maler: Wände 2. streichen*

16. Station
- *Fugen: Silikonarbeiten*

17. Station
- *Möbel einbauen*

18. Station
- *Sockelleisten montieren*

19. Station
- *Endkontrolle*

20. Station
- *Endkontrolle*
- *Abtransport*

(29) zur Verfügung gestellte Information über die Referenzprojekte

Transport- und Lagerfläche

Beplankung der Wände

Estrichverlegung

Malerarbeiten

Parkettverlegung

Zwischenlagerung der Raumzellen

ABB 5.20: Vorfertigung der Raumzellen – Produktionshalle Kalwang – Seniorenwohnhaus Hallein

5_2_ *ÖKOLOGIE*

5_2_1_ Nachhaltigkeit

Um die Lebensqualität der wachsenden Bevölkerung zu steigern und dabei die Lebensgrundlagen sicherzustellen hat der Begriff Nachhaltigkeit in den letzten 50 Jahren eine große Bedeutung gewonnen. Nachhaltigkeit kann als das Prinzip einer dauerhaften, zukunftsfähigen Gesellschaft definiert werden, die oft mit der Drei-Säulen-Modell beschrieben wird. Ökonomische, ökologische und soziale Aspekte der Nachhaltigkeit stehen miteinander in Wechselwirkung. „Neben dem rein ökonomischen Handeln müssen ökologische Kriterien und Notwendigkeiten sowie soziale Aspekte und Verantwortungen das Leben und Wirtschaften einer weiter wachsenden Weltbevölkerung bestimmen. Dabei kommt es nicht mehr nur auf das nötige Wirtschaftswachstum an, sondern u.a. auf den Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen, die Erhöhung des Lebensstandards im Sinne von Lebensqualität und die Entwicklung intelligenter Techniken, die ökologische Kriterien erfüllen." [30]

(30) vgl. Wegener; Zimmer (2003), S.47
(31) vgl. Hafner; König (2017), S.24
(32) vgl. Walberg u.a. (2015), S.12

Bauen hat schon immer einen Einfluss auf die Umwelt gehabt. Die ökologischen Faktoren beim Bauen umfassen nicht nur die eingesetzten Materialien, sondern auch andere Ressourcen wie Energie, Wasser oder Lebensraum.

Rund 40% der Gesamtenergie- sowie Materialverbrauch fallen auf den Gebäudesektor, der zusätzlich 36% der Treibhausgase und rund 33% der Abfälle verursacht. [31]

Bei der Umweltkonferenz von Rio de Janeiro 1992 haben sich über 170 Staaten zu einer umweltverträglichen, nachhaltigen Entwicklung verpflichtet. [32] *Diese und zahlreiche weitere Aufkommen haben das Bauen in den letzten 30 Jahren stark beeinflusst und geändert. Nachhaltiges Bauen hat Auswirkungen auf die gesamte Lebensdauer eines Gebäudes von der Konzeption, durch die Nutzung bis zum Abbruch. Aus diesem Grund wird immer öfter eine flexible und dadurch nachhaltige Nutzung bei Gebäuden angestrebt.*

In diesem Zusammenhang kommt der Wahl der verwendeten Baumaterialien eine immer wichtigere Rolle zu und der Fokus wurde wieder auf Holz gelegt. Holz als nachwachsender, regenerierbarer Rohstoff und Energieträger kommt häufig zum Einsatz um endliche, fossile Rohstoffe zu ersetzen und dadurch treibhausfördernde Emissionen zu reduzieren und somit einen nachhaltigen Klimaschutz zu betreiben. [30]

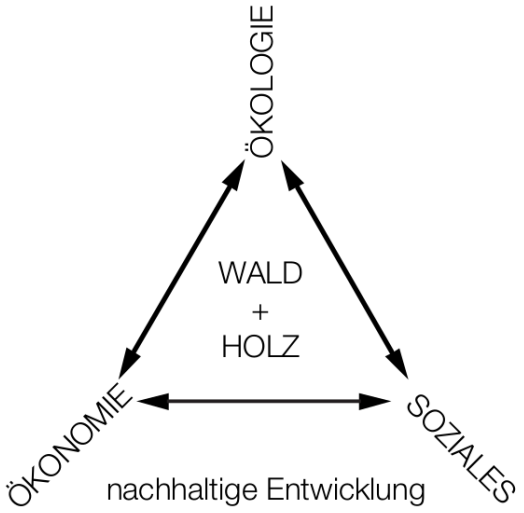


ABB 5.21: Beitrag von Wald und Holz zu einer nachhaltigen Entwicklung

5_2_2_ CO_2-Reduktion

Eine wesentliche Zielsetzung für die Nachhaltigkeit ist die CO_2-Reduktion. Das erste internationale, rechtlich bindende Werk zum Thema Reduzierung von Treibhausgasemissionen war das Kyoto-Protokoll, welches im Dezember 1997 beschlossen wurde, in dem der jährliche Treibhausgas-Ausstoß für die teilnehmenden Länder reduziert und die Berücksichtigung des Waldes als Kohlenstoffsenke festgeschrieben wurde.[33]

Der Wald bindet beim Wachstum Kohlenstoff, lagert ihn langfristig und trägt dadurch zum Klimaschutz bei. Kohlenstoff wird erst bei Absterben oder Verrotten der Bäume natürlich freigesetzt.

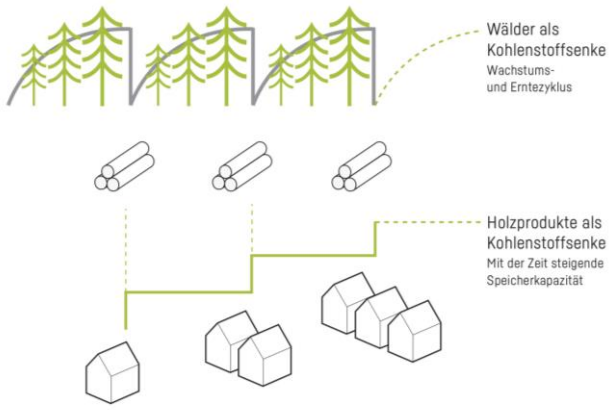


ABB 5.22: Kohlenstoffspeicherung durch Holzprodukte

Holzbauten verlängern die Kohlenstoffbindung. In einem nachhaltig bewirtschafteten Wald werden neue Bäume anstatt den geernteten Bäume gepflanzt, die dadurch weiteren Kohlenstoff aus der Atmosphäre binden können.[34]

(33) vgl. Binderholz; Rigips (2010), S.15
(34) vgl. Dangel (2016), S.50
(35) vgl. www.holzistgenial.at (06.05.2018)

In den österreichischen Wäldern sind 800 Millionen Tonnen Kohlenstoff gespeichert. Das entspricht rund 3 Milliarden Tonnen gebundenem CO_2 oder die 35-fachen Menge CO_2, die jährlich in Österreich ausgestoßen wird. Weiters bindet jeder Kubikmeter verbautes Holz, die in Österreich in jeder Sekunde nachwächst, eine Tonne CO_2 langfristig.[35]

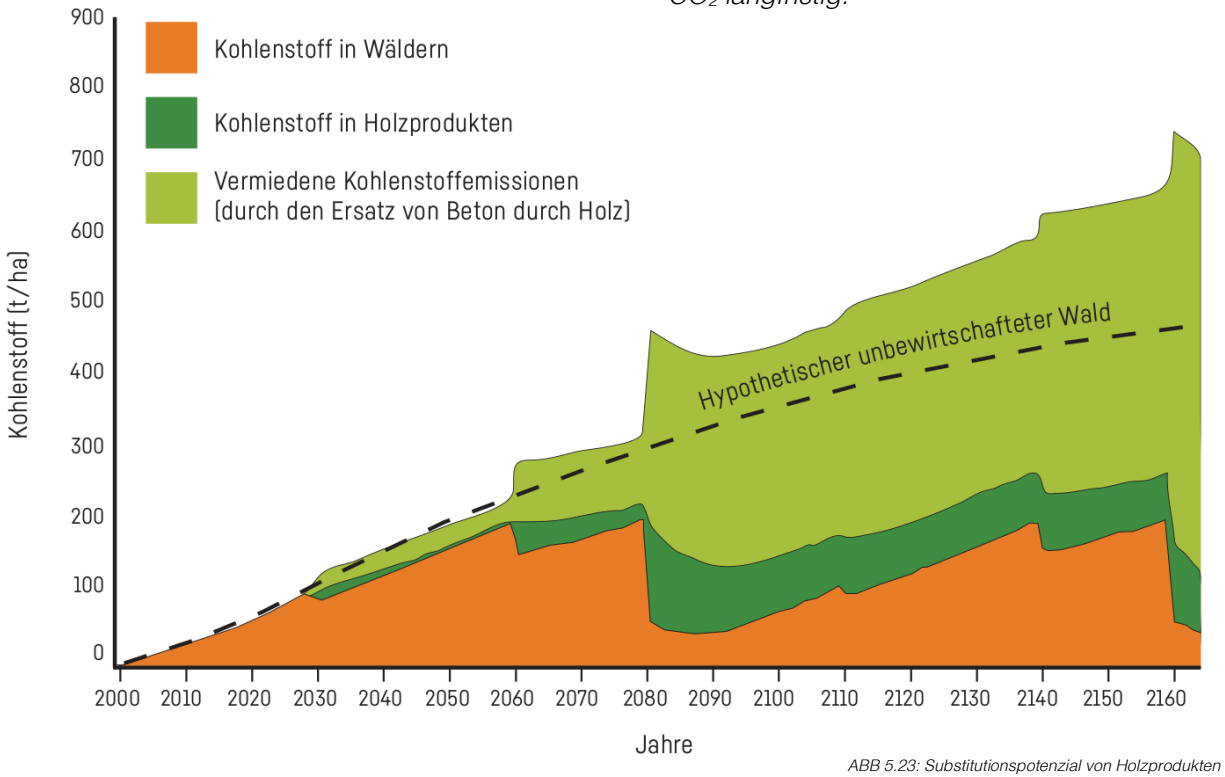


ABB 5.23: Substitutionspotenzial von Holzprodukten

5_2_3_ Ökobilanzierung

Die Bewertung der ökologischen Faktoren passiert im Bauwesen grundsätzlich auf zwei Ebenen: produktbezogen und gebäudebezogen.

Lebenszyklusanalysen (LCA=Life Cycle Assessment) oder Ökobilanzen sind Methoden für die Analyse der Umweltwirkung von Produkten, Verfahren oder Dienstleistungen. Im Rahmen einer Ökobilanzierung wird die gesamte Lebensdauer eines Baustoffes von der Rohstoffgewinnung über die Produktherstellung und Nutzung bis zur Entsorgung oder Recycling analysiert. Durch diese Bilanzierung können die Umweltwirkungen von Baustoffen oder Produktprozessen miteinander verglichen werden.

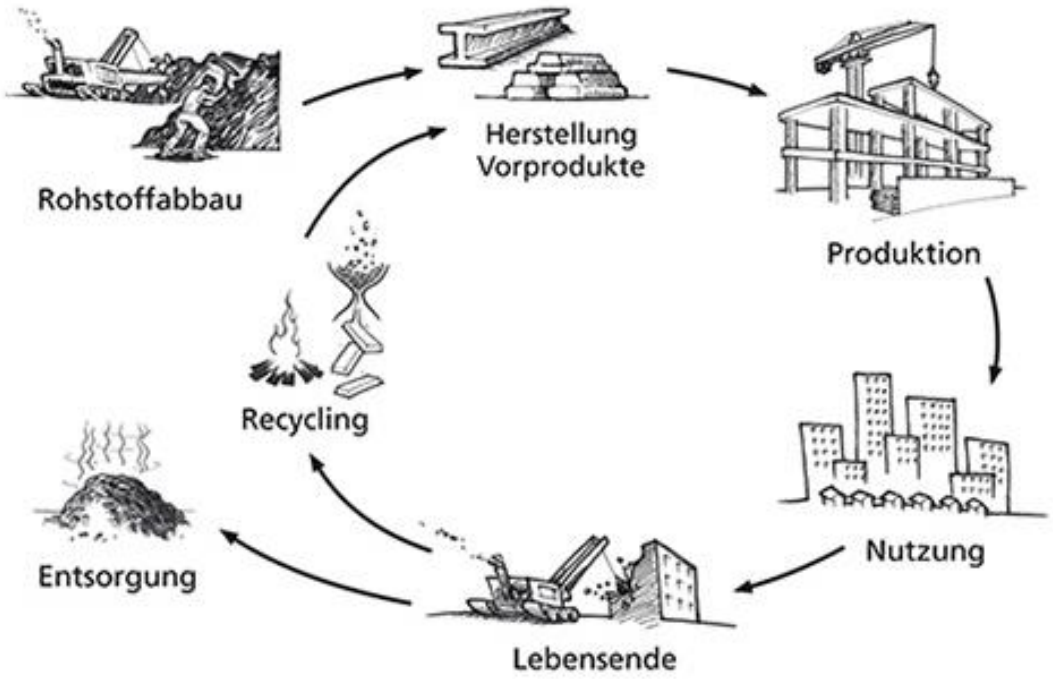


ABB 5.24: Lebenszyklus von Holz

Eine Ökobilanz gliedert sich gemäß ISO 14040 in vier Abschnitte:

1. Festlegung des Zieles und Untersuchungsrahmens

2. Sachbilanz: die Analyse der eingehenden (Ressourcen, Materialien) und ausgehenden (Emissionen, Abfällen) Stoff- und Energieströme

3. Wirkungsabschätzung: potenzielle Umweltwirkungen, Einflüsse auf menschliche Gesundheit und Ressourcenverfügbarkeit werden charakterisiert

4. Auswertung und Interpretation: Der Sachbilanz und die Wirkungsabschätzung werden in Bezug auf die Zielsetzung bewertet.[(36)]

Holz ist ein nachwachsendes Rohmaterial, das in Österreich regional verfügbar ist. Ein wesentlicher Vorteil vom Holz gegenüber anderen Baumaterialien, wie Ziegel oder Beton ist , dass in der Regel bei der Erzeugung vom Bauholz oder Holzwerkstoffen und später bei der Bearbeitung sehr wenig Energie benötigt wird.

(36) vgl. www.ibp.fraunhofer.de (03.06.2018)

5_2_4_ Ökoindex

Die ökologische Bewertung von Gebäuden erfolgt durch Gebäudezertifizierungen. Die in den letzten 20 Jahren entwickelten Zertifizierungssysteme, wie LEED, BREEAM, klima:aktiv oder ÖGNI, beurteilen Projekte anhand von vordefinierten Kriterien. Bei jedem Zertifizierungssystem wird der Schwerpunkt auf Energieeffizienz und Gebäudelebenszyklus gelegt, jedoch werden die weiteren Kriterien, wie Ökonomie, soziokulturelle Qualität oder Standort, bei jedem System unterschiedlich gewichtet. Gebäudezertifizierungen sind nicht verpflichtend. Ob ein Gebäude zertifiziert wird und welches System für die Bewertung herangezogen wird, ist immer eine Bauherrenentscheidung.

Um eine vereinfachte, quantitative, ökologische Bewertung für Baustoffe, Bauteile oder Gebäuden durchzuführen wurde der Ökoindex 3 vom Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie (IBO) als Grundlage für Bewertungssysteme entwickelt. Materialien werden anhand von drei wichtigen Umweltkriterien bewertet: Treibhauspotential (GWP), Bedarf an nicht-erneuerbarer Primärenergie (PEI) und Versäuerungspotential (AP). Die Werte der Kriterien werden in ein Punktsystem umgerechnet. Je höher der Ökoindex von Materialien, desto höher ist die Auswirkung auf die Umwelt.[37]

(37) vgl. www.baubook.at (10.06.2018)

Der Ökoindikator für einzelne Bauteile ($OI3_{KON}$) oder für ein Gebäude ($OI3_{BGX}$) wird anhand der Ökoindex errechnet und in einer Skala von 0 bis 100 angelegt. Die folgenden Abbildungen zeigen einen Vergleich des Ökoindikators von vier Außenwandaufbauten aus unterschiedlichen Materialien mit ähnlichen Wärmedurchgangskoeffizienten. Wesentlicher Vorteil der Holzkonstruktionen und vor allem des Massivholzbaus ist, dass sie wegen der CO_2-Speicherfähigkeit negative Werte beim Treibhauspotential aufweisen. Weiters wird für die Herstellung und Bearbeitung von Holz sehr wenig Energie benötigt.[38]

(38) vgl. Armbruster u.a. (2011), S.49

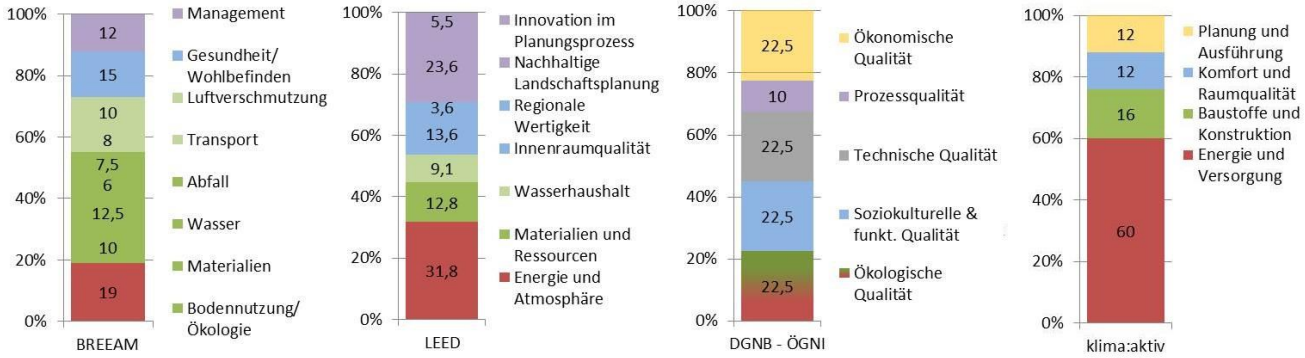


ABB 5.25: Gewichtung der Bewertungskriterien

Holzrahmenkonstruktion

12,5 mm	Gipskartonplatte
15 mm	OSB 3, Oriented Strand Board
170 mm	Inhomogen: 90 % Glaswolle (p=15-25 kg/m³) 10 % Nadelschnittholz
15 mm	MDF-Mitteldichte Faserplatte
30 mm	Luftschicht / Lattung
20 mm	Holzfassade
U-Wert:	**0,234 W/m²K**
Aufbaustärke:	**262,5 mm**

Ziegelkonstruktion mit WDVS

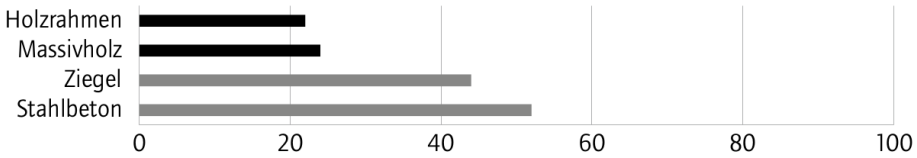
15 mm	Gipsputz
250 mm	Hochlochziegel
120 mm	EPS-F; Polystyroldämmung
7 mm	Silikatputz
U-Wert:	**0,239 W/m²K**
Aufbaustärke:	**392,0 mm**

Stahlbetonkonstruktion mit WDVS (Abb. 6.4.4)

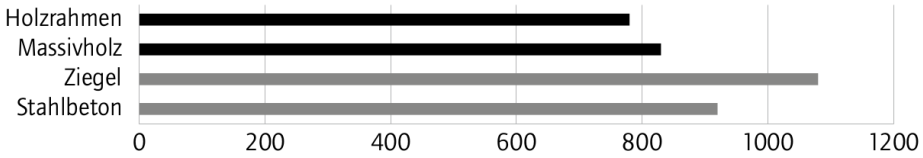
5 mm	Spachtelung
200 mm	Stahlbeton
160 mm	EPS-F; Polystytoldämmung
7 mm	Silikatputz
U-Wert:	**0,235 W/m²K**
Aufbaustärke:	**372,0 mm**

Massivholzkonstruktion

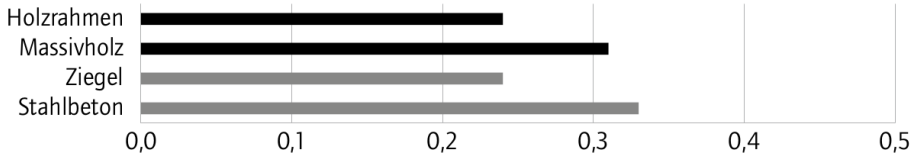
12,5 mm	Gipskartonplatte
95 mm	Brettsperrholz
80 mm	Inhomogen: 90 % Glaswolle 10 % Nadelschnittholz
50 mm	Inhomogen: 90 % Glaswolle 10 % Nadelschnittholz
	Fassadenbahn
30 mm	Luftschicht / Lattung
20 mm	Holzfassade
U-Wert:	**0,239 W/m²K**
Aufbaustärke:	**287,5 mm**



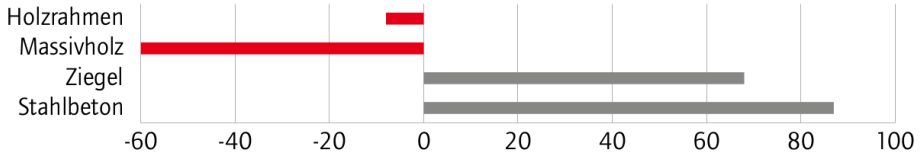
Vergleich Ökoindex $OI3_{KON}$ [Punkte/m²];
berechnet mit baubook, Bauteilrechner IBO



Vergleich PEI_{ne} Primärenergie [MJ/m²];
berechnet mit baubook, Bauteilrechner IBO



Vergleich AP Versäuerungspotential [kg SO_2/m²];
berechnet mit baubook, Bauteilrechner IBO



Vergleich GWP_{100} Treibhauspotential [kg CO_2/m²];
berechnet mit baubook, Bauteilrechner IBO

ABB 5.26: Ökoindexvergleich von verschiedenen Wandaufbauten mit ähnlichen Wärmedurchgangskoeffizienten

5_2_5_ Lebenszyklus von Holz

Holz als Baustoff hat für eine lange Zeit eine untergeordnete Rolle gespielt und wurde durch andere Materialien, wie Stahlbeton oder Stahl, ersetzt. Durch die Vielfalt neuer Holzwerkstoffe und Verbundmaterialien, wie Brettschichtholz oder Brettsperrholz, und die steigende Bedeutung ökologischer und nachhaltiger Aspekte wurde Holz wieder in den Fokus gerückt.

Der Lebenszyklus der Baustoffe wird grundsätzlich in vier Phasen gegliedert: Rohstoff- / Ressourcengewinnung, Verarbeitung / Herstellung, Nutzung und Wiederverwertung. Diese Grundphasen könne, wie auch in der Abbildung gezeigt, in weitere Unterphasen gegliedert werden.

Gleich bei der Ressourcengewinnung sind die Vorteile von Holz gegenüber anderen Baustoffen, wie Stahl oder Stahlbeton erkennbar. Holz ist ein nachwachsender, erneuerbarer Rohstoff. Im Gegensatz zu vielen anderen Materialien ist Bauholz regional verfügbar. Dementsprechend kann mit Holz eine Rohstoffabhängigkeit von Einfuhren aus dem Ausland vermieden werden.[39]

Die Verarbeitung von Holz erfolgt in Sägewerken und Verarbeitungsbetrieben. Aus dem Rohstoff Holz erzeugte Produkte, wie Bauholz, BSP, Spannplatten oder Papier, werden vielfältig verwendet. Die komplette Verarbeitung sowie Nutzung von Holz und die daraus erzeugten Produkte kann in Österreich regional erfolgen.

Nach dem Nutzungsende kann Bauholz rückgebaut und stofflich oder thermisch verwertet werden. Altholz kann als Sekundärrohstoff zu neuen, hochwertigen Halbwaren weiterverarbeitet werden.[40] *Bei der thermischen Verwertung wird die freigesetzte Energie zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt.*

(39) vgl. Becker (2014), S.7-11
(40) vgl. www.holzistgenial.at (26.08.2018)

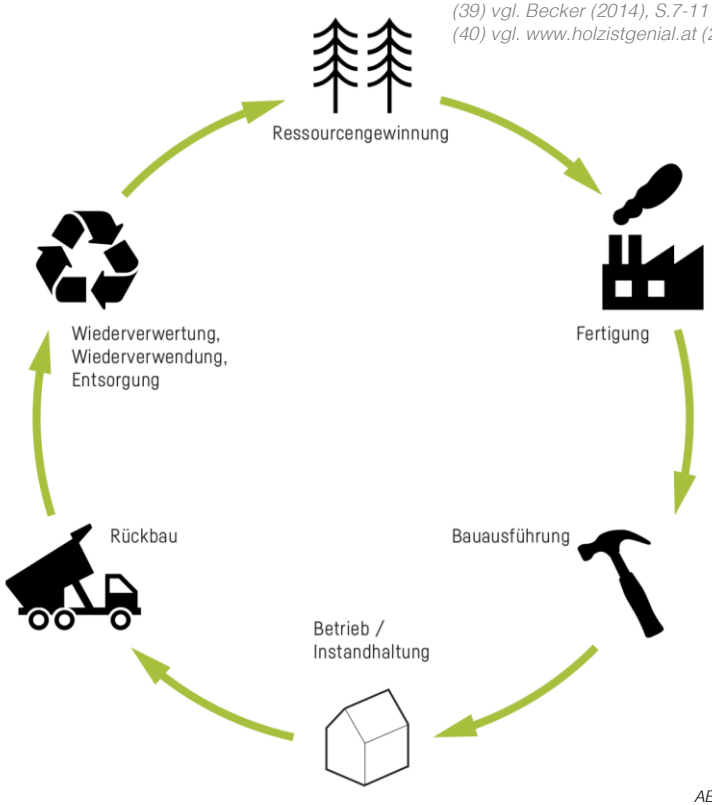


ABB 5.27: Lebenszyklus von Bauprodukten

5_2_6_ Rohstoffgewinnung

47% der Gesamtfläche Österreichs ist mit Wald bedeckt und durch ein strenges Forstgesetz wird die nachhaltige Bewirtschaftung des Waldes sichergestellt. „1.135 Millionen Kubikmeter Holz stehen in den Wäldern zur Nutzung bereit. Mit diesem Holzvorrat liegt Österreich im europäischen Spitzenfeld. 30 Millionen Kubikmeter Holz wachsen jährlich nach, davon werden nur rund 26 Millionen genutzt.“[41]

In Österreich wird das geerntete Holz in 1.044 Sägewerken verarbeitet. [42] *Durch technische Entwicklungen und die Entwicklung neuer Produkte, ist die Holzverarbeitung heutzutage sehr effizient und erfolgt fast ohne Abfall. In den 1940er Jahren wurden in Amerika nur 35-39% Ertrag von Schnittholz und 50-60% Abfall aus den Holzstämmen bewirtschaftet.* [43] *Damals wurde nur ein Teil der Schnittabfälle für Strom- und Wärmeerzeugung verwendet und der Rest verbrannt oder auf die Deponie transportiert. Nach dem Zweiten Weltkrieg wurden die Sägewerksabfälle zunehmend in Papierverarbeitungsprozessen und für die Spanplattenherstellung verwendet. Technologische Neuerungen und Entwicklungen in der Produktion haben die Entwicklung von neuen Holzprodukten ermöglicht. Die Holzstämme werden heute fast zur Gänze zu nützlichen Produkten weiterverarbeitet und es wird fast kein Abfall mehr erzeugt.*[43]

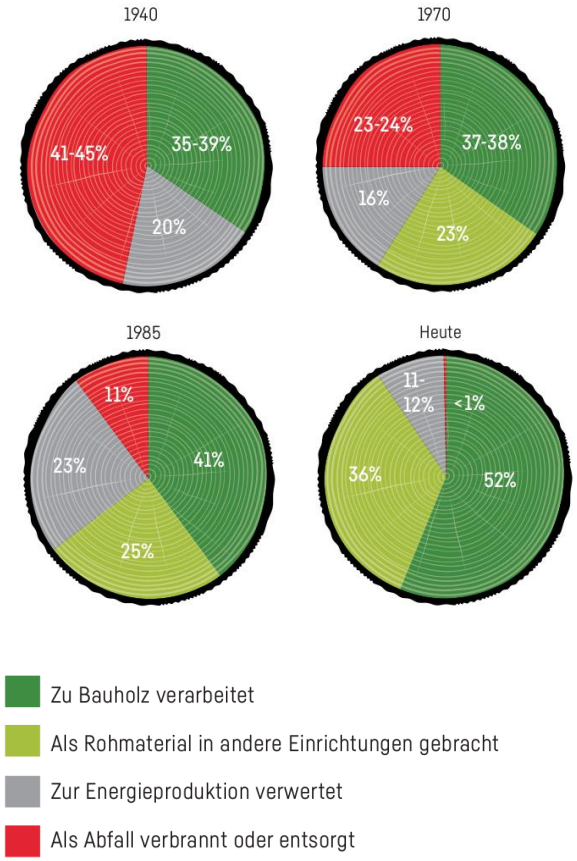


ABB 5.28: Verwertung von geerntetem Holz durch die amerikanische Holzverarbeitungsindustrie

Brettsperrholz wurde vor ca. dreißig Jahren als Einsatzmöglichkeit für die Seitenware entwickelt. Damals konnten 15% des Materials vom Einschnitt aufgrund der Dimension oder Qualität nicht optimal genutzt werden.[44] *Bretter aus Hauptware wurden nur wegen der Optik bei den Oberflächenlagen verwendet. Aufgrund des hohen Bedarfs werden heutzutage auch Hauptware für die Herstellung verwendet.*

Obwohl der Rohstoffbedarf in Österreich durch den heimischen Holzvorrat gedeckt werden kann, wird Holz aus wirtschaftlichen Gründen auch aus anderen europäischen Ländern importiert. Als Klebstoff, dessen Anteil am fertigen Brettsperrholzprodukt weniger als 1% beträgt, wird Polyurethan-Kleber (PUR) oder Melamim-Harnstoff-Formaldehyd-Harz (MUF) verwendet.

(41) www.holzistgenial.at (26.08.2018)
(42) vgl. WKO (2017), S.20
(43) vgl. Dangel (2016), S.54
(44) vgl. Isopp (2015), S.18

5_2_7_ Herstellung

Brettsperrholz wurde in Österreich entwickelt und die Produktion hat in bestehenden Infrastrukturen, wie Sägewerke und Holzverarbeitungsbetriebe stattgefunden. Diese bestehenden Räumlichkeiten konnten oft nicht ideal für die Produktion genutzt werden. Wegen des stabilen und ständig steigenden Bedarfs an BSP wurden im 21. Jahrhundert weltweit zahlreiche auf BSP spezialisierte Produktionsstätte eröffnet.

BSP-Platten werden entweder in Standardgrößen als „Vollplatte“ oder in gewünschter Größe inkl. Einschnitte und Fräsungen verkauft. BSP-Elemente werden mit einer CNC gesteuerten Abbundmaschine auf gewünschte Größe geschnitten und können Einschnitte und Fräsungen individuell nach Vorgaben der Kunden oder der Architekten vorgenommen werden. Diese erfolgt normalweise am selben Ort wie die Produktion der Elemente.

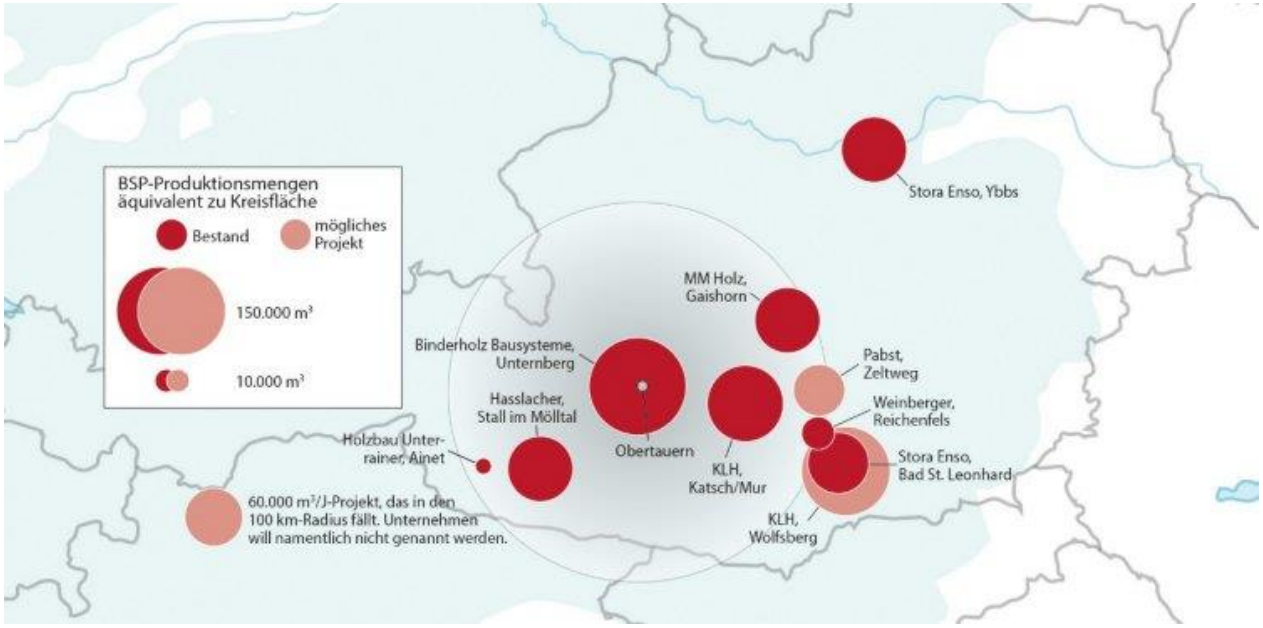


ABB 5.29: BSP-Produktionen und -Projekte innerhalb 100 km-Radius um den fiktiven Mittelpunkt Obertauern

Die Produktion der Raumzellen passiert jedoch in einem anderen Montagehalle oder an einem anderen Standort. Raumzellenhersteller produzieren oft selbst kein BSP, sondern kaufen die BSP-Elemente für die Raumzellen zu.

Seit 1998 bis 2017 ist die BSP-Weltproduktion von Null auf ca. 700.000 m³ pro Jahr gewachsen und wird voraussichtlich in 2018 1 Million m³ pro Jahr erreichen und sich bis 2020 fast verdoppeln.[45] Am Anfang war die BSP-Herstellung in Österreich beheimatet. In den letzten Jahren wurden aber weltweit zahlreiche neue BSP-Anlagen in Länder eröffnet, in die früher BSP aus Österreich transportiert wurde. Jedoch bleibt über 60% der europäischen BSP-Produktion weiterhin in Österreich und konzentriert sich in einem Kreis mit einem 100 km-Radius von Obertauern. Die größte, europäische, Produktionsstätte befinden sich in Unternberg (Binderholz), Bad St. Leonhard (Stora Enso) und Katsch an der Mur (KLH).[46]

(45) vgl. https://www.holzkurier.com (28.08.2018)
(46) vgl. https://www.holzkurier.com (28.08.2018)

5_2_8_ Nutzung

„In Österreich wächst in jeder Sekunde ein Kubikmeter Wald nach. Das heißt, theoretisch könnte mit dem nachwachsenden Material alle 40 Sekunden ein neues Holzhaus gebaut werden. Das wären täglich 2.160 Häuser und 788.400 Häuser pro Jahr, ohne dass bestehender Waldbestand geerntet wird.“[47]

Eine Erhebung vom Holzbauanteil in Wien und in Österreich wurde für den Jahren 1998, 2003, 2008 und 2013 durch die Universität für Bodenkultur Wien durchgeführt. Als Holzbau wurden Gebäuden definiert, deren Holzanteil mehr als 50% beträgt, wobei nur statisch tragende Bauteile zur Beurteilung herangezogen wurden.

(47) vgl. Binderholz; Rigips (2010), S.16
(48) vgl. Teischinge u.a. (2013), S.1-17

Der Holzbauanteil bezogen auf die Gebäudeanzahl ist in Österreich von 25% auf 43% gestiegen. Wie die Steigerung des Holzbauanteils bezogen auf das umgebaute Gebäudevolumen zeigt, dominiert der Holzbau besonders den Zu- und Umbau, sowie den Einfamilienhausbau. Bei mehrgeschossigen Wohnbauten liegt der Anteil auf einem sehr geringen Niveau. Als Konstruktionsform wurde die Tafelbauweise bei den meisten Gebäuden, unabhängig von der Nutzungsart, eingesetzt.[48]

Eine Statistik über den Einsatz vom BSP gibt es noch nicht. Es ist aber aufgrund der steigenden Produktionsmengen und publizierten Projekten darauf zu schließen, dass auch der Anteil der BSP-Bauten gestiegen sind.

ABB 5.30: Holzbauanteil in Österreich

ABB 5.31: Holzbauanteil in Österreich (2013)

5_2_9_ Materialbedarf bei Brettsperrholzbauweise

Im Vergleich zu anderen Holzbausystemen wird bei der Brettsperrholzbauweise eine größere Menge an Holz benötigt. Wie die Abbildung zeigt, sind leichte Deckenkonstruktionen bei gleicher Spannweite hinsichtlich des Materialbedarfs wesentlich effizienter als Brettsperrholzdecken. Jedoch werden durch den höheren Materialeinsatz und die Konstruktionsart viele Vorteile gegenüber anderen Holzbausysteme geschafft.

Durch das kreuzweise Verkleben der Brettlagen ist Brettsperrholz besonders formstabil. Dadurch können die bei Holz üblichen Dimensionsänderungen bei Feuchteschwankungen vernachlässigt werden. Wegen der optimalen Schwingungs- und Durchbiegungsverhalten können mit BSP-Deckenelemente gegenüber leichteren Holzkonstruktionen größere Spannweiten erzielt werden. Weiters ist die Deckenstärke mit BSP kleiner. Bei anderen Bausystemen erfolgt die Aussteifung eines Gebäudes üblicherweise in Kombination mit Zusatzmaßnahmen wie Diagonale. Durch die Scheiben- und Plattenwirkung der BSP-Elemente werden bei Brettsperrholzbauten oft keine zusätzlichen Maßnahmen benötigt.

Neben den statischen Eigenschaften überzeugen auch die bauphysikalischen Eigenschaften vom BSP. Durch die kreuzweise Verklebung der Bretter wird ein anisotropes, „homogenes“ Baumaterial geschaffen, wodurch viele, typische Problemstellen wie Wärmebrücken und Anschlussdetails vereinfacht werden können. BSP-Platten können luftdicht hergestellt werden, wodurch auch eine höhere Feuerwiderstandsdauer erreicht werden kann. Bei BSP-Elementen ist in der Regel keine Dampfbremse erforderlich.

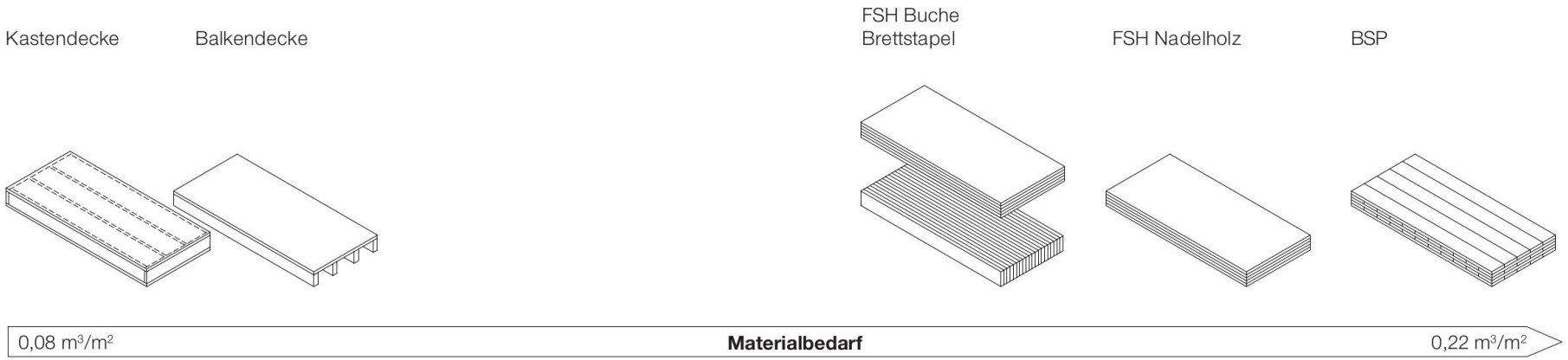


ABB 5.32: Materialbedarf von unterschiedlichen Holzdeckenkonstruktionen

Brettsperrholz kann aufgrund seiner Eigenschaften fast überall eingesetzt werden. Neben Boden-, Decken- und Wandelementen können Stiegenläufe, Balkonplatten und sogar lastabtragende Bauteile wie Unterzüge und Stützen hergestellt werden. Durch die diversen Kombinationen der Längs- und Querlagen der Elemente können die statisch konstruktiven, brandschutztechnischen und bauphysikalischen Eigenschaften nach Anforderungen optimiert werden. BSP-Elemente werden grundsätzlich als tragende Bauteile eingesetzt. Nicht tragende Bauteile werden oft als Konstruktionen mit weniger Materialbedarf, z.B. in Rahmenbauweise, ausgeführt.

Bei der Raumzellenbauweise führen das Nebeneinander- und Aufeinanderstapeln der Raumzellen zur Doppelung der Wand- und Deckenelemente. Deswegen ist diese Bauweise viel materialintensiver als die Tafelbauweise. Die Bemessung der Elemente wird je nach Anforderung bestimmt. Da das Deckenelement im Prinzip keine statischen Anforderungen hat, wird es dünner als das Bodenelement ausgeführt.

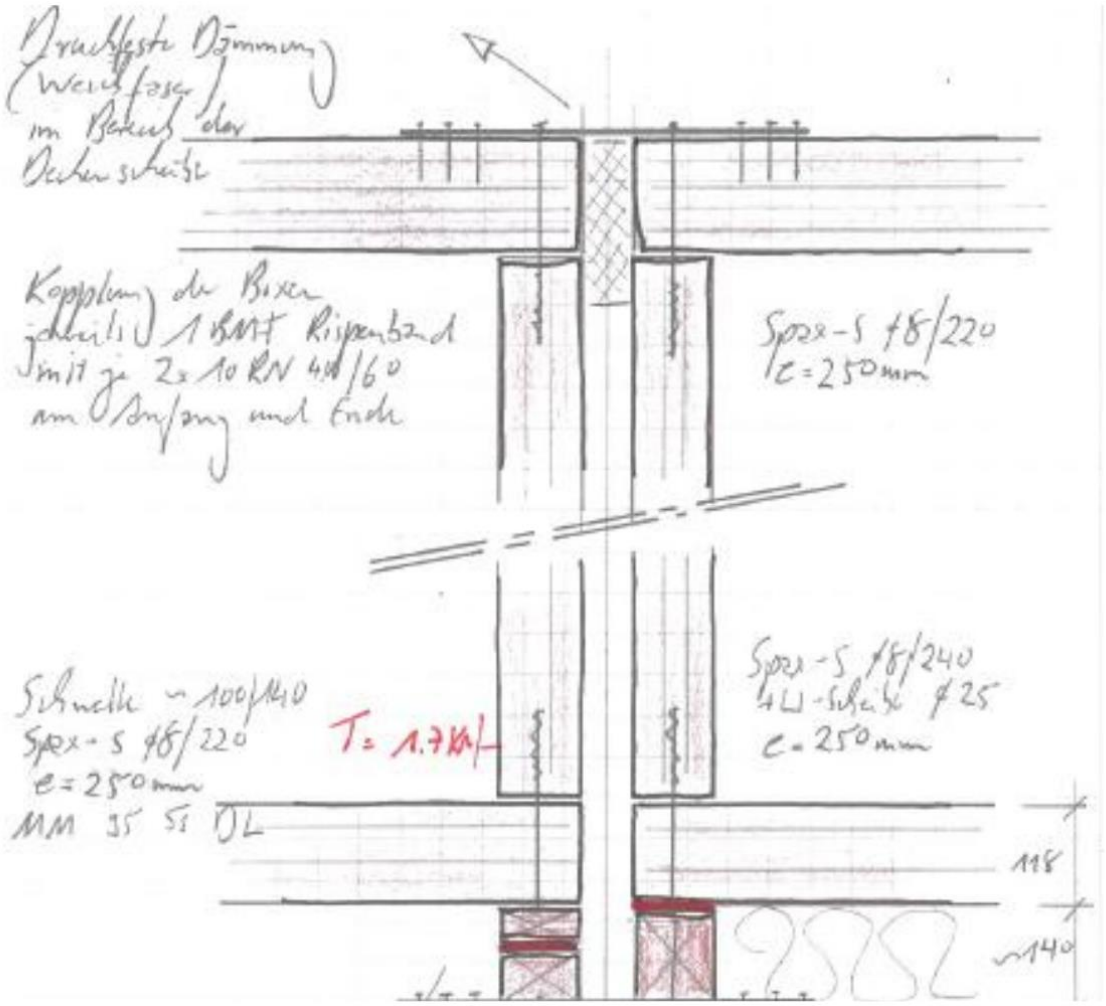


ABB 5.33: statisches Detail - Seniorenwohnhaus Hallein

Das Sozialzentrum Pillerseetal wurde mit 77 Zimmermodulen errichtet. Bei den Raumzellen wurden die nach Anforderung bemessenen BSP-Platten mit ca. 8 cm für die Deckenelemente, 12 cm für die Boden- und Flachdachelemente, 9 cm für die Trennwandelemente, 8 cm für die Fassade und Trennwände zum Gang eingesetzt und ca. 850 m³ Brettsperrholz verbaut. Die Raumzellen wurden in einer Halle vorgefertigt, auf die Baustelle geliefert und montiert. Durch die Stapelung der Boxen sind „Doppeldecken und -wände" entstanden.

Wenn die Zimmermodule vor Ort in Tafelbauweise errichtet werden, kann die Doppelung der Bauteile vermieden werden. Wie viel Material dadurch eingespart werden kann, hängt von den eingesetzten BSP-Elementen ab. BSP wird herstellerabhängig mit unterschiedlichem Schichtaufbau, statischen- und bauphysikalischen Eigenschaften und in verschiedenen Größen produziert. Nach Erfahrungswerten könnten die Doppelkonstruktionen bei diesem Projekt aus statischer Sicht durch 10 cm Wände und 12 cm Decken ersetzt werden.

Allein durch diese Maßnahme hätte man ca. 20% Brettsperrholz für das Tragwerk einsparen können. Durch weitere Maßnahmen, wie Ausführung der Fassade und Trennwände zum Gang in Tafelbauweise oder Einsatz der Deckenelemente als Zweifeldträger statt Einfeldträger, sind weitere Materialeinsparungen möglich. Jedoch erfüllen die BSP-Elemente nicht nur statisch konstruktive Anforderungen, sondern tragen zum u.a. Schall-, Wärme und Brandschutz bei, die bei diesen Entscheidungen über Materialeinsatz berücksichtigt werden müssen.

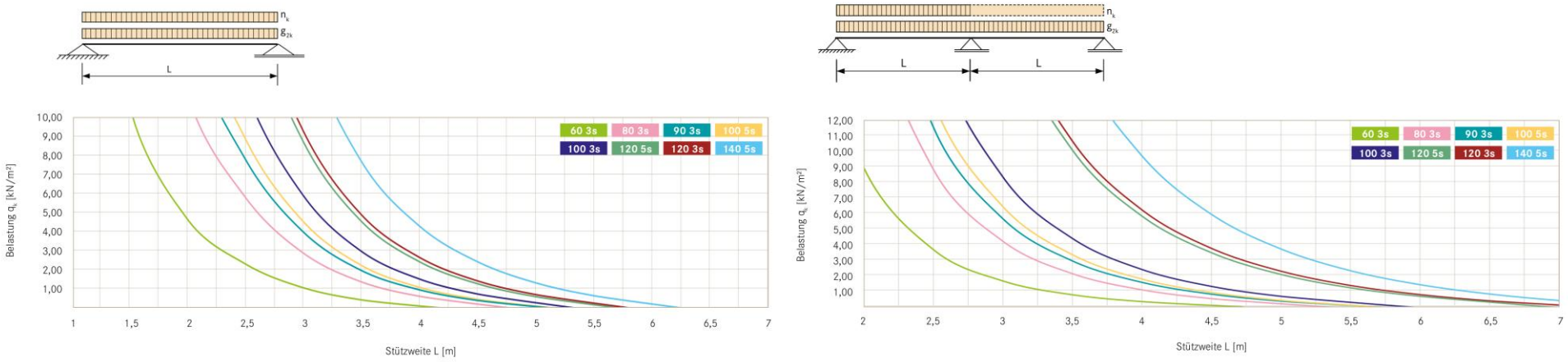


ABB 5.34: Vorbemessungsdiagramme für ein- und zweifeldträger Decken

5_2_10_ Wiederverwertung

Aufgrund der EU-Abfallrichtlinie und der österreichischen Recycling-Baustoffverordnung, die erst 2016 eingeführt wurde, wird in Europa möglichst versucht, dass viel Material wiederverwendet oder recycelt und nur in einem zweiten Schritt als Energieressource betrachtet wird.(49) Nach dem Nutzungsende kann Bauholz rückgebaut und stofflich oder thermisch verwertet werden.

Die holzverarbeitende Industrie arbeitet sehr effektiv. Die Holzstämme werden heute fast zur Gänze zu nützlichen Produkten weiterverarbeitet und es wird fast kein Abfall mehr erzeugt. Dies wird hauptsächlich durch Recycling von Industrieabfällen erreicht, in dem alle während des Herstellungsprozesses entstandene Holzabfälle der Entsorgung entzogen und zu anderen Produkten verwendet oder vor Ort zur Energieerzeugung verbrannt werden.(50) Beim Projekt Mineroom Leoben wurden die übrig gebliebenen Türausschnitte aus BSP zu Möbeln wie Hocker, Tische, Bänke und Sideboards verarbeitet.(51) Durch Raumzellenproduktion wird sogar der Baustellenabfall vermieden.

Brettsperrholz kann im Falle eines Rückbaus nach Beendigung der Nutzungsphase wieder- oder weiterverwendet werden. Holz kann nur dann recycelt werden, wenn es nicht mit Schadstoffen, wie Behandlung mit chemischen Holzschutz, belastet wurde und als Altholz klassifiziert wird. Über die Wiederverwertung von BSP gibt es noch wenige Erfahrungen, da das Material neu am Markt ist. BSP kann grundsätzlich als Bauholz oder als Sekundärrohstoff zu neuen, hochwertigen Halbwaren weiterverarbeitet werden.

(49) vgl. Hafener; König (2017), S.27
(50) vgl. Dangel (2016), S.58
(51) vgl. www.kleinezeitung.at (31.08.2018)

Raumzellen können sogar komplett aus dem Gebäude rückgebaut und weiterverwendet werden.

Wenn eine stoffliche Verwertung nicht möglich ist, wird Holz thermisch verwertet und die daraus freigesetzte Energie zu Strom- und Wärmeerzeugung genutzt.

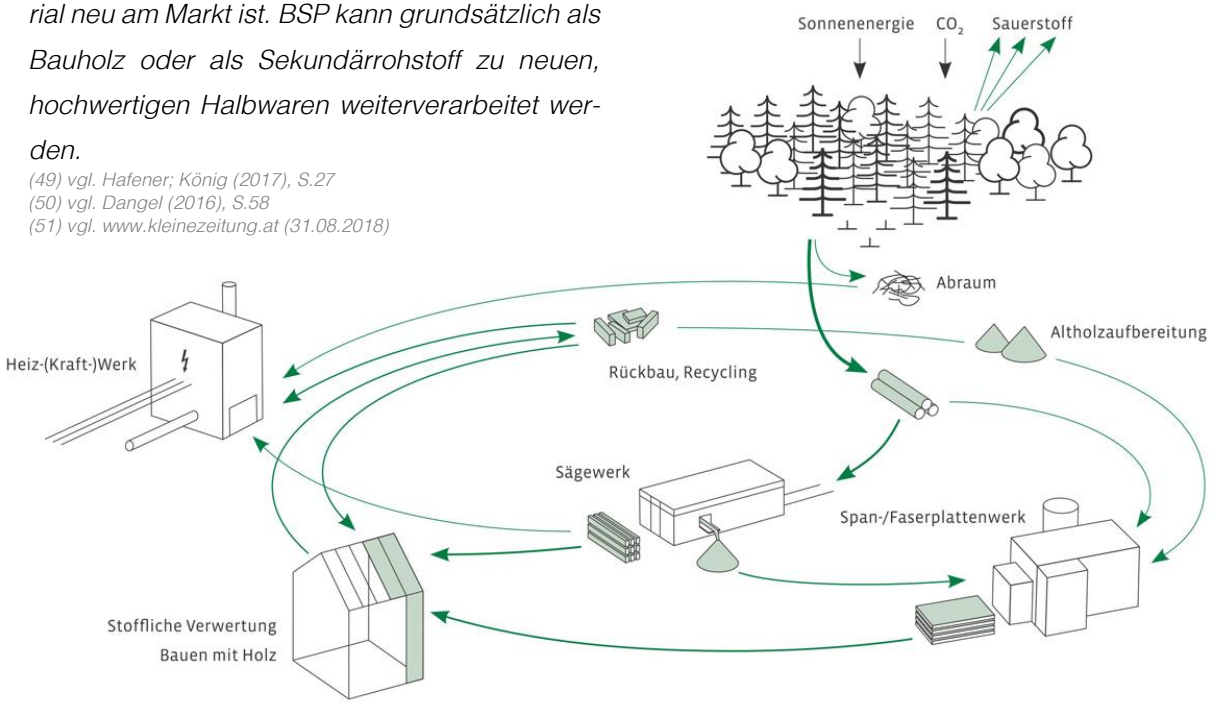


ABB 5.35: Verwertung von Holz

5_3_ *TRANSPORT*

Für eine sehr lange Zeit war das Bauen ortsgebunden, da dies von der Gewinnung und der Verarbeitung der örtlich verfügbaren Materialien abhängig war. Da Holz überall in der Welt natürlich vorkommt und leicht zu bearbeiten ist, ist es in vielen Kulturen zum bevorzugten Baumaterial geworden und hat eine große Rolle in der Entwicklung traditioneller Baustile gespielt.

Das Zimmermannshandwerk ist eine der ältesten Bauberufe. Das Wissen und die Fertigkeiten in der Holzbearbeitung wurden von Generation zu Generation weitergegeben. Erst im 19. Jahrhundert ermöglichten die Fortschritte im Transportwesen einen günstigen Versand von Baumaterialien über große Entfernungen und dadurch die Ausbreitung des bislang ortsgebundenen Holzbaus.[52]

Durch die Weiterentwicklungen der Produktionsgeräte, Transportfahrzeuge und Hebegeräte wurden die Vorfertigung und der Einsatz von größeren Elementen, wie komplette Bauteile, ermöglicht. Die Größe und das Gewicht der einzelnen Bauteile sind weiterhin grundlegende Entscheidungen, die von den Produktions- oder Transportmöglichkeiten eingeschränkt sind.

(52) vgl. Dangel (2018), S.76

ABB 5.36: Zimmermannshandwerk

ABB 5.37: Transport einer Raumzelle

5_3_1_ Rohstoffgewinnung

Brettsperrholz wird zu 99 Prozent aus sägerauen Brettern aus Nadelholz produziert. Die Bretter werden in eigenen Sägewerken der BSP-Hersteller produziert oder von anderen Firmen zugekauft.

In 2016 gab es 1.044 Sägewerke in Österreich. Der Großteil der Betriebe sind klein- und mittelbetrieblich strukturiert und befinden sich fast ausschließlich in Familienhand.[53] In den österreichischen Sägewerken wird fast ausschließlich Nadelholz eingeschnitten. Obwohl der Holzeinschlag aus österreichischem Sägerundholz gedeckt ist, wird Holz wegen der nicht regulierten Markt und Preisbildung auch importiert.

Die Sägewerke in Österreich sind im ganzen Land verteilt, aber die meisten BSP-Produzenten konzentrieren sich in einem Kreis mit einem 100 km Radius von Obertauern.[54] Die größten BSP-Hersteller haben ihr Standort wegen der kurzen Transportwegen in der Nähe von ihren eigenen Sägewerken errichtet.

(53) vgl. www.wko.at (01.09.2018)
(54) vgl. www.holzkurier.com_(01.09.2018)
(55) vgl. www.holzkurier.com (01.09.2018)

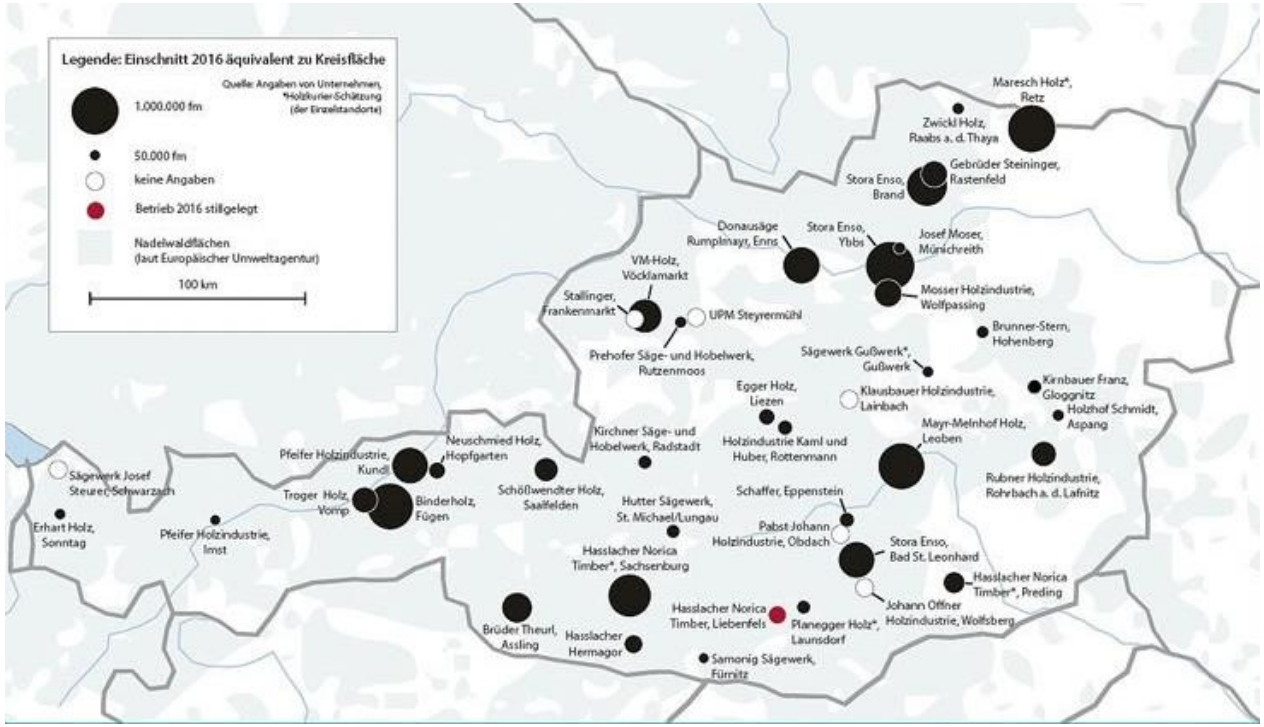


ABB 5.38: Nadelholzsägewerke in Österreich (2017)

Ein Sägewerk und der BSP-Produktionsstandort von Stora Enso befinden sich im Bad St. Leonhard direkt nebeneinander.

Die Firma KLH hat ihr BSP-Produktionsstandort in Katsch an der Mur. Die Johann Offner Unternehmensgruppe, die KLH zu 100% im Eigentum hat, besitzt ein Sägewerk in Wolfsberg, das ca. 100 km von KLH Standort entfernt ist. Die Gruppe wird in ein neues Brettsperrholzwerk in Wiesenau bei Bad St. Leonard, in der Nähe des Sägewerks investieren, um dadurch die Transportwege zum Produktionsort zu verkürzen.[55]

5_3_2_ Produktion

Die ersten Produktionsstätten für Brettsperrholz waren noch handwerklich geprägt und BSP wurde nur in kleiner Mengen produziert. Heutzutage ist die BSP-Produktion stark industrialisiert, um die steigende Nachfrage erfüllen zu können. Für die BSP-Produktion ist nur wenig Arbeitskraft notwendig.

Das Material wird innerhalb der Produktionshalle auf einer Förderbahn oder Rollenbahn zwischen den Bearbeitungsstationen transportiert. Die fertigen BSP-Platten werden mit Hilfe eines Brückenkrans mit Traversen oder Vakuumhebegeräte aufeinandergestapelt.

ABB 5.39: Brettsperrholzwerk in Ybbs (Stora Enso)

Bei der Vorfertigung von Raumzellen wird üblicherweise eine Fertigungsstraße, die in Bearbeitungsstationen unterteilt ist, errichtet. Um die Module bewegen zu können, wird eine Gleisanlage gebaut, auf der die Raumzellen nach Abschluss der Arbeiten bei einer Station zum Nächsten gerollt werden können.

Die meisten Produktionshallen sind mit einem Brückenkran ausgestattet, der beim Zusammenbau der Module aus Wand. und Deckenelemente zum Einsatz kommt. Wegen des Gewichts und der Größe der Elemente ist der Transport ohne den Einsatz von Hebegeräte nicht möglich.

Das bei österreichischen Projekten eingesetzte Brettsperrholz stammt meistens aus Österreich, aber das hier produzierte BSP wird nicht nur regional eingesetzt, sondern auch weltweit, u.a. nach Japan und Australien exportiert. Die meisten BSP-Raumzellen werden ebenfalls in Österreich produziert. Jedoch wurden beispielsweise die Module von Hotel Moxy Wien aus österreichischem BSP in Italien produziert.

5_3_3_ Transport auf die Baustelle

Österreichisches Brettsperrholz wird weltweit eingesetzt. Beim Transport von großen Bauelementen muss besonders darauf geachtet werden, ob die Ladung und das Transportmittel die maximalen zulässigen Abmessungen und Gewicht einhalten. Diese Parameter können sich bei unterschiedlichen Transportmitteln und in verschiedenen Ländern variieren. Weiters müssen die Ein- und Abfahrtsmöglichkeiten auf die Baustelle und wie der Transport bis dahin erfolgen kann beachtet werden.

ABB 5.40: Containertransport

Die Möglichkeiten des Transports sind wichtige Kriterien bei der Planung der vorgefertigten Elemente. Sie müssen schon am Anfang der Planung geklärt werden, da diese einen großen Einfluss auf die Elementgrößen haben. Neben den zulässigen Standardabmessungen und Gewicht sind oft größere Transporteinheiten mit Sondergenehmigung möglich.

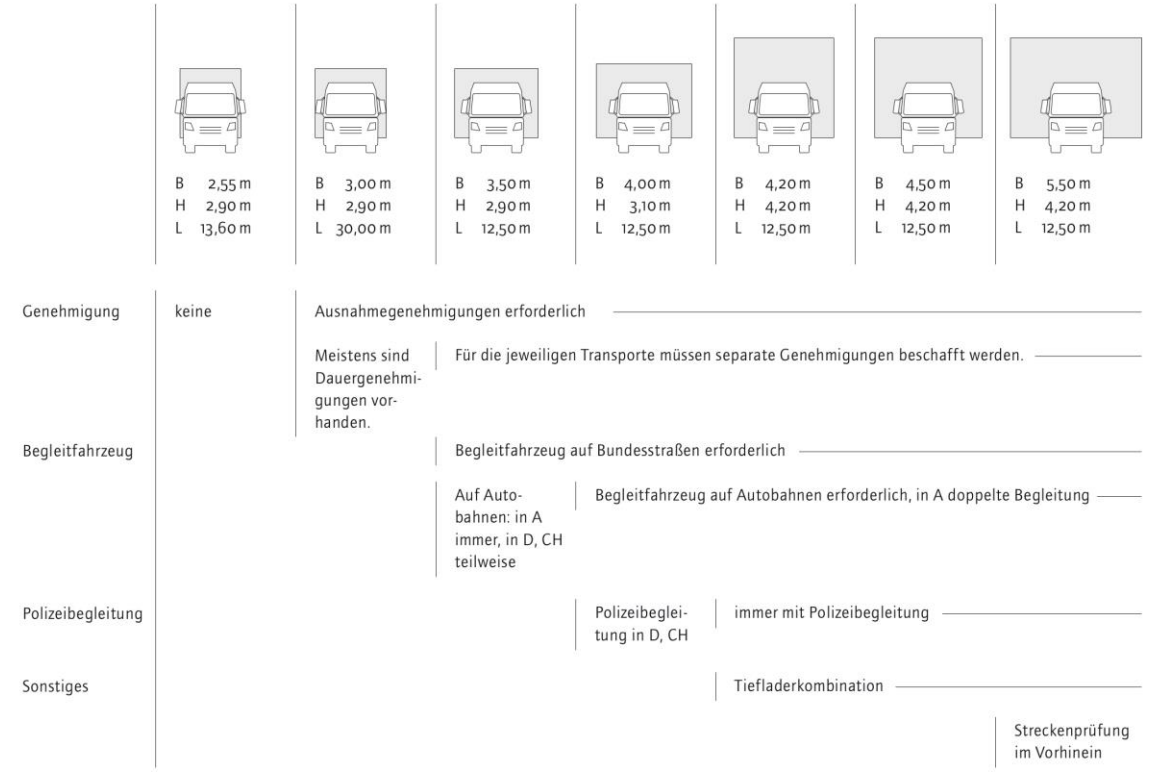
Der Transport der BSP-Elemente ist auf der Straße, zur Luft, mit dem Schiff oder per Bahn möglich. Hubschraubertransport wird nur bei Bauprojekten in schwer zugänglichen Gebieten eingesetzt. Durch die geringen Bauteilmassen ist BSP ideal für die Errichtung von Schutzhütten im alpinen Gelände.[56] Containertransport wird vor allem bei größeren Distanzen eingesetzt. Da die BSP-Hersteller oft keine direkte Verbindung zu Bahnstrecken haben, werden die Container am Produktionsstandort beladen und für kurze Distanzen per LKW transportiert. BSP-Elemente werden beispielsweise nach Australien im Container mit dem Schiff geliefert.

(56) vgl. Armbruster u.a. (2011), S.10f

ABB 5.41: Hubschraubertransport

Am häufigsten werden die BSP-Elemente und Raummodule per LKW auf der Straße transportiert. Die maximalen Transportgrößen und mögliche Gesamtgewichte sind in Österreich im Kraftfahrgesetz 1967 geregelt. Die zulässige Länge und das Gesamtgewicht variiert je nach Fahrzeugtyp, die Breite ist aber mit 2,55 m und die Höhe mit 4,00 m eingeschränkt. Wenn die Abmessungen des Transports diese Werte überschreiten, muss eine Sonderbewilligung angesucht werden. Neben dieser grundlegenden Bestimmung gibt es in Österreich viele Ausnahmen und Sonderregelungen. Eine Ausnahmebewilligung kann für eine einmalige Fahrt, für mehrmalige Fahrten oder für ein Fahrzeug angesucht werden. Solche Bewilligungen haben fast alle Spediteure.[56][57]

(56) vgl. Armbruster u.a. (2011), S.10f
(57) vgl. Kraftfahrgesetz 1967



Gesamtgewicht gemäß KFG 1967	
Fahrzeugtyp	*Gesamtgewicht [kg]*
Kraftfahrzeug / Anhänger (2-achsig)	*18.000*
Kraftfahrzeug / Anhänger (3-achsig)	*26.000 / 24.000*
Kraftwagen mit mehr als 3 Achsen	*32.000*
Kraftwagen mit Anhänger / Sattelkraftfahrzeug	*40.000 / 44.000*

Abmessung gemäß KFG 1967			
Fahrzeugtyp	*Länge [m]*	*Breite [m]*	*Höhe [m]*
Kraftfahrzeug/Anhänger	*12,00*	*2,55*	*4,00*
Sattelfahrzeug	*16,50*	*2,55*	*4,00*
Kraftwagenzeug	*18,75*	*2,55*	*4,00*

ABB 5.42: Rahmenbedingung für den Transport von Raummodulen

BSP-Platten werden standardmäßig per LKW transportiert. Mit welchem LKW-Typ der Transport erfolgt, hängt von der Größe der Elemente ab. Normalerweise wird kein Sondertransport benötigt. Die Platten können liegend oder stehend transportiert werden. Im Normalfall werden Wandelemente stehend und Deckenelemente liegend beladen. Beim Transport flächiger Elemente können die Fuhre kompakt sein und dadurch entsteht nur wenig Luft zwischen den Elementen.

Wenn Platten liegend transportiert werden, können diese direkt übereinander liegend verladen werden oder kommen Bretter als Einlagen zur Verwendung. Beim Verwendung von Bretter muss man darauf achten, dass diese übereinander angeordnet sind.

Bei stehenden Transporten werden die Elemente normalerweise „Mann an Mann" verladen. Abstandshalter kommen nur bei vorstehenden Teilen, wie Fensterbänke, oder bei Platten mit Sichtqualität zum Einsatz. Die Elemente werden an einem A-Bock gelehnt und zusätzlich auf Unterlegkeile gestellt, damit sie nicht wegrutschen oder wegkippen können. Bei allen Transporten werden die Platten mit Verzurrgurte miteinander verbunden.[58]

Die BSP-Elemente müssen dauernd vor Witterung geschützt werden. Aus diesem Grund werden die Platten nach der Produktion in geschlossenen und trockenen Räumen zwischengelagert. Weiters werden sie entweder mit einer Schutzfolie versehen oder mit einem Flächenmaterial zugedeckt.[59] *Der Witterungsschutz muss während des Transport, bei eventueller Lagerung auf der Baustelle bis zur Fertigstellung der Außenhülle des Gebäudes sichergestellt werden.*

(58) vgl. Stora_Enso (2012), S.296-297
(59) vgl. Novatop Solid (o.J.), S.22

ABB 5.43: Transport von flächigen Brettsperrholzelemente

Die Raumzellenbauweise wird oft wegen des Transports der Raumzellen kritisiert. Transportiert man BPS-Elemente, wie Decken- und Wandelemente, und setzt diese vor Ort auf der Baustelle zusammen, sind kompakte Fuhre möglich. Das mögliche Fuhrvolumen wird bei Raumzellen nur schlecht genutzt. Im schlimmsten Fall werden die Raumzellen nur als ein Raum ohne Ausbau transportiert. Das Fuhrvolumen kann jedoch beim hohen Vorfertigungsgrad, wenn die Raumzellen mit allen Einbauteilen oder auch mit allen Einrichtungsgegenständen ausgestattet sind, besser genutzt werden. Durch diese Maßnahmen wird die transportierte Luftmenge reduziert.[60] *Raumzellen werden nach der Produktion regendicht verpackt und auf die Baustelle transportiert*

Im Gegensatz zur Tafelbauweise überschreiten die Abmessungen der Raumzellen oft die normalerweise zulässigen Transportgrößen und werden als Sondertransporte auf die Baustelle transportiert. Wie groß eine Raumzelle sein kann, hängt von den Transportmöglichkeiten zwischen Montagehalle und Baustelle und den Montagemöglichkeiten ab. Die Raumzellen beim Seniorenwohnhaus Hallein haben die maximalen Außenmaße von 8 x 5 x 3 m. In Rahmenbauweise wurden bereits Projekte mit größeren Raumzellen realisiert. Die Raumzellen von Popup Dorms waren 5,5 x 17 x 3,5 m groß und wurden von Schwanenstadt nach Seestadt in Wien transportiert.[61]

Für Sondertransporte muss eine Ausnahmegenehmigung angesucht werden. Im Bescheid werden die Rahmenbedingungen des Transports definiert. Bei Sondertransporten ist in Österreich ein Begleitfahrzeug notwendig und bespielsweise können Sondertransporte in Wien nur nachts fahren.

(60) vgl. Pech u.a.(2016), S.287f
(61) vgl. Novotny (2016), S.19

ABB 5.44: Transport von Raumzellen -Sozialzentrum Pillerseetal

5_3_4_ Montage

Im Rahmen der Herstellung der BSP-Elemente werden die Bauteile auf Wunsch mit Montagehilfsmittel versehen oder es kommen spezielle Schrauben zum Einsatz, um die Manipulation der Elemente zu erleichtern. Es hängt von Bauteilart, Größe und Hersteller ab, ob Schlaufen- oder spezielle Schraubensysteme verwendet werden.

Bei Deckenelementen gibt es immer zumindest vier Anschlagpunkte und bei Wänden werden üblicherweise bereits in der Produktion Hebeschlaufen eingebaut. Typ und Anzahl der Montagehilfsmittel hängt weiters von den sicherheitstechnischen Erfordernissen, den Bauteilabmessungen sowie von der Oberflächenqualität ab.[(62)]

Um die Montage zu beschleunigen wird üblicherweise die Verladereihenfolge der Platten mit Planer und Hersteller abgestimmt, damit die BSP-Elemente direkt vom LKW aus montiert werden können.

(62) vgl. Mayr Melnhof Holz (2016), S.13

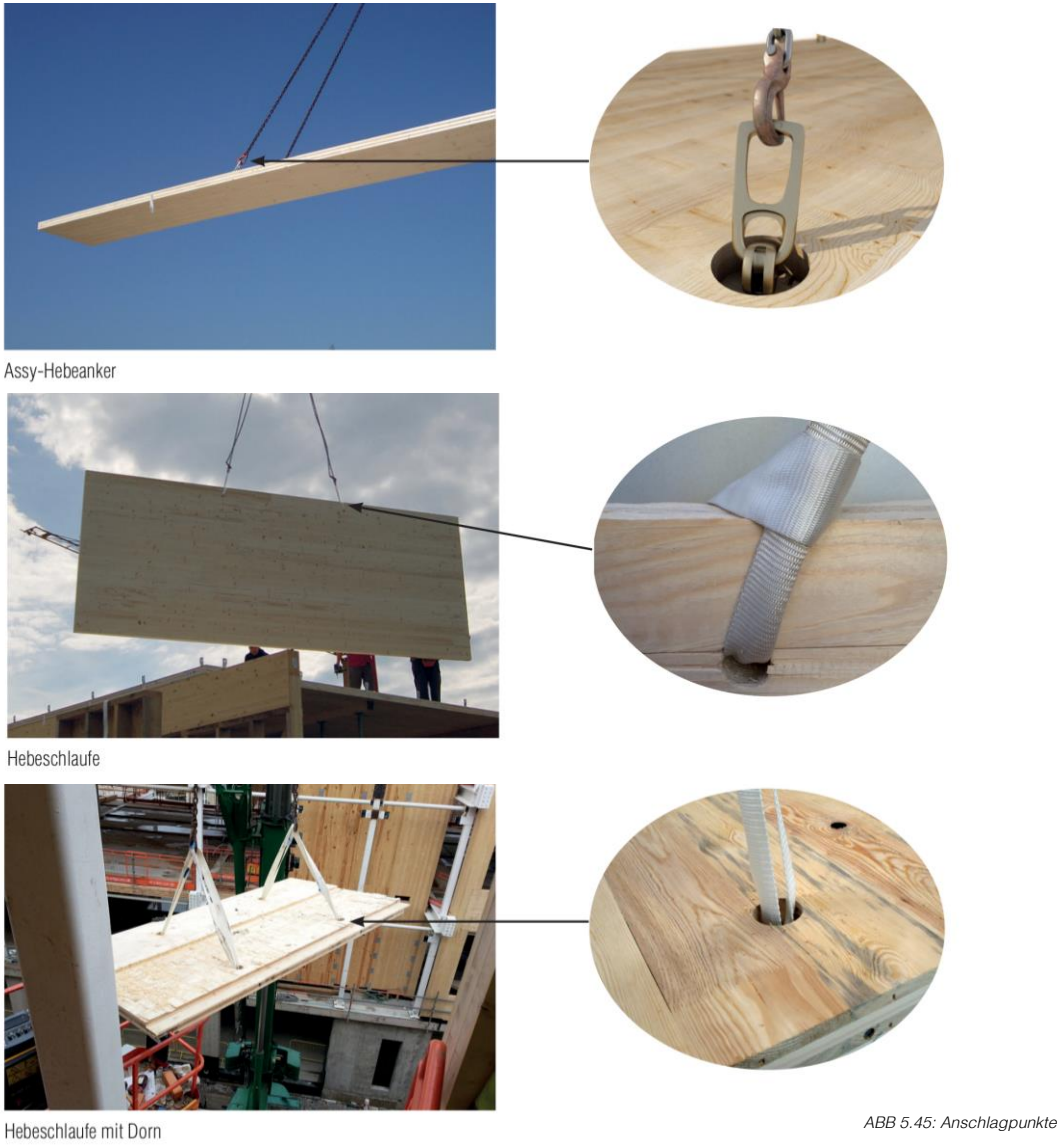


ABB 5.45: Anschlagpunkte

Die Montage der BSP Elemente und Raumzellen ist nur mithilfe entsprechender Hebezeuge möglich. Die Kräne und Mobilkräne werden heutzutage von wenigen Spezialfirmen zur Montage angemietet. Neben den während der Vorfertigung eingebauten Montagehilfsmitteln werden Krangurte, Kranketten oder Aufhängekörbe bauseitig benötigt.

Die Montage bei Tafel- und Raumzellenbauweise unterscheidet sich grundsätzlich in der Anzahl, Größe und Gewicht der Elemente. Entscheidend bei der Auswahl des Hebegerätes ist das Gewicht der Elemente und der Abstand zwischen Hebegerät und der endgültigen Lage des Elements, da die maximal zulässige Last sich mit dem steigenden Abstand verringert. Bei der Tafelbauweise wiegen die BSP-Elemente normalerweise maximal 5 Tonnen. Hier sind zweigelenkige, mobile Turmdrehkräne ideal für die Montage. Bei Raumzellen, die oft 15 Tonnen wiegen, erfolgt die Montage mit einem Fahrzeugkran mit einer maximalen Traglast von etwa 150 Tonnen.

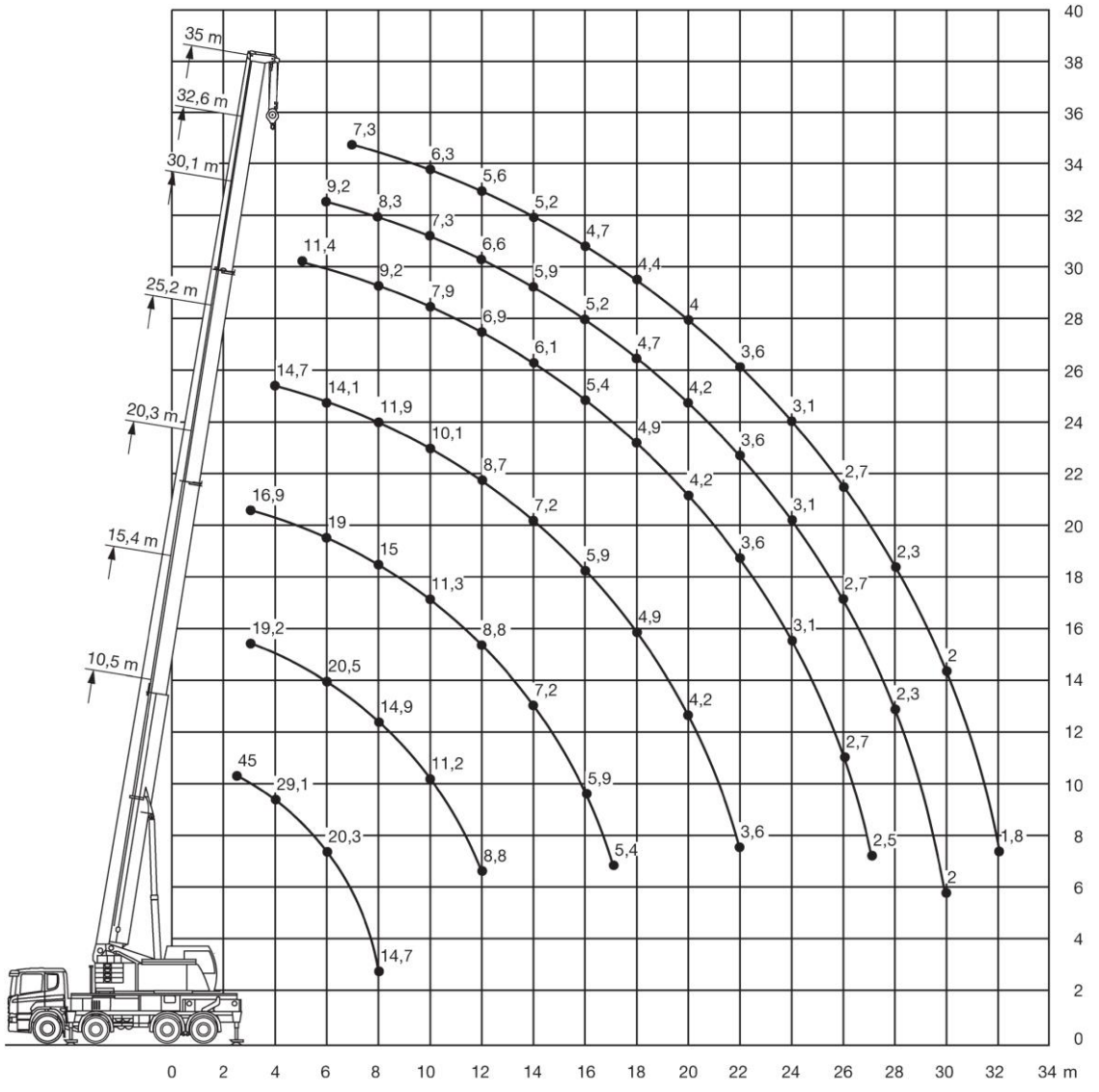


ABB 5.46: Abstand und zulässige Last bei einem Fahrzeugkran

5_4_ *TERMINE*

5_4_1_ Terminplanung

Jedes Haus ist ein Prototyp. Die Planung und das Bauen wird von sehr vielen, oft ortspezifischen Rahmenbedingungen beeinflusst. Aus diesem Grund muss man am Anfang jedes Projektes die Grundlagen analysieren und grundlegende Entscheidungen treffen.

In der Grundlagenermittlungsphase wird das Planungsprogramm mit den zugehörigen Kosten- und Terminrahmen festgelegt. Der Planungsterminplan, in dem der Ablauf der weiteren Planungsphasen definiert ist, wird auf Basis von Erfahrungswerten erstellt. Der Rahmenterminplan bildet ein Gerüst für die späteren Phasen.

Die Terminpläne werden mit dem Fortschritt des Projektes immer detaillierter ausgearbeitet. Bei der Erstellung des Rahmentermins wird immer eine Zeitreserve miteinkalkuliert, da am Projektanfang sehr viele Faktoren noch unbekannt sind. Aus diesem Grund verschieben sich oft die Projektphasen im Vergleich zu der ursprünglichen Terminplanung.

In welcher Bauweise ein Gebäude errichtet wird hängt von vielen Faktoren, wie örtliche Gegebenheiten, Kostenrahmen und mögliche Bauzeit ab. Diese Entscheidungen werden normalerweise frühzeitig in der Vorentwurfsphase getroffen. Es ist oft entscheidend, welcher Planer mit dem Projekt beauftragt ist, da sie sich oft auf wenige Bausysteme spezialisieren.

Die möglichen Bauweisen müssen in der Vorentwurfsphase sorgfältig analysiert werden, da die Bauweisen große Auswirkungen auf die Planung und auf die spätere Projektabwicklung haben. Bei einer Änderung der Bauweise in den späteren Projektphasen können signifikante Umplanungen notwendig sein, die zu Mehrkosten und Terminverschiebungen führen können.

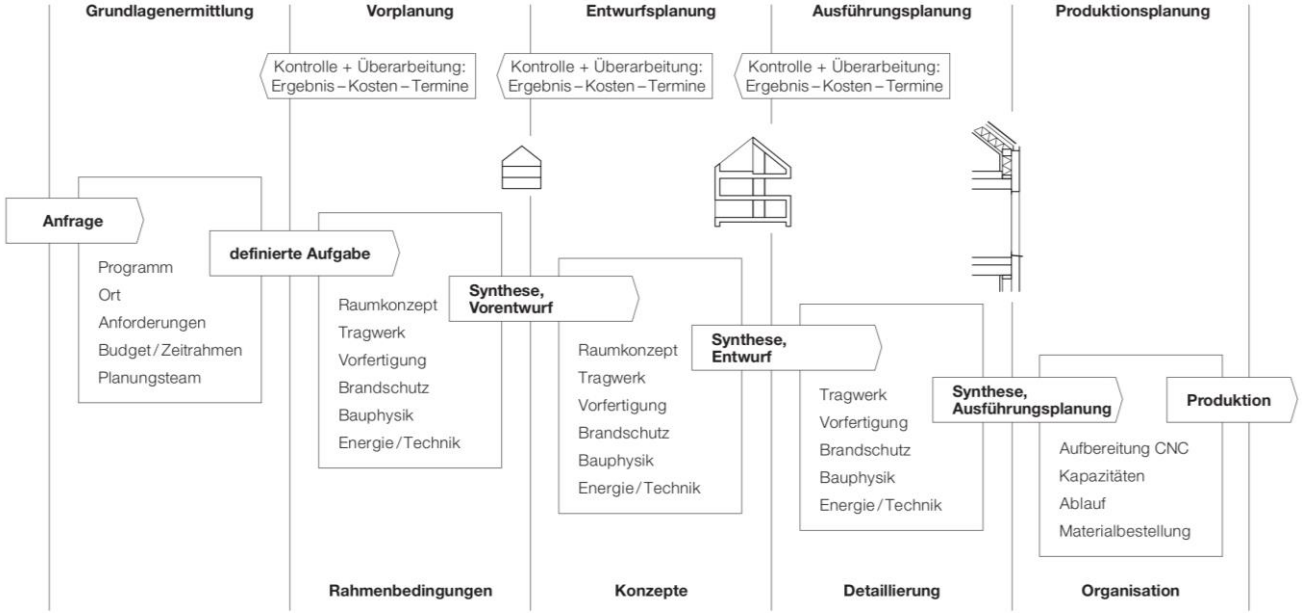


ABB 5.47: Planungsphasen

5_4_2_ Planungsablauf

Die Materialauswahl spielt eine maßgebende Rolle in der zeitlichen Abwicklung eines Bauprojektes. Durch die trockene Bauweise gibt es beispielsweise bei der Brettsperrholzbauweise im Vergleich zu anderen Bauweisen keine Austrocknungszeit, die bei der Terminplanung berücksichtigt werden muss. Die Folgearbeiten können unverzüglich nach der Montage der Elemente gestartet werden.

Ein weiterer Faktor, der vom Baumaterial und von örtlichen Gegebenheiten abhängig ist und die Terminplanung eines Bauwerks wesentlich beeinflusst, ist der Vorfertigungsgrad. Bereits in den frühen Planungsphasen müssen die möglichen Transportwege und Fertigungsmöglichkeiten analysiert werden, da diese einen Einfluss auf die Elementgrößen und den Montageablauf bzw. die Bauabwicklung haben.[63]

Der maximal erreichbare Vorfertigungsgrad hängt stark von der Planungsaufgabe ab. Raumzellen können bei Gebäuden mit wiederholenden Räume, wie Hotels, Wohnheime oder Bildungseinrichtungen, optimal eingesetzt werden.

Bei traditioneller Planung wird in der Vorentwurfsphase ein Raumkonzept entwickelt. In der Entwurfsphase wird dieses Konzept mit den anderen Fachdisziplinen weiter ausgearbeitet und in der Ausführungsplanung werden die Details geklärt.

Die Planung von Gebäuden mit vorgefertigten Elementen verlangt eine frühzeitige Untersuchung der möglichen Elementgrößen und Kenntnisse über die Fertigungsprozesse. In der Entwurfsphase werden die Elementgrößen unter Berücksichtigung der Aspekte der Herstellung, des Transports und der Montage definiert.

Für die Herstellung der Elemente und vor allem der Zimmermodule müssen Details schon im Vorfeld geklärt werden. Alle Pläne müssen praktisch vor Baubeginn vollständig vorliegen, da Änderungen oder Behebung von Planungsfehlern später in der Bauphase deutlich aufwändiger als bei konventionellen Bauten sind.[64]

(63) vgl. Kaufmann, Krötsch, Winter (2017), S.130
(64) vgl. Pech u.a. (2016), S.290f

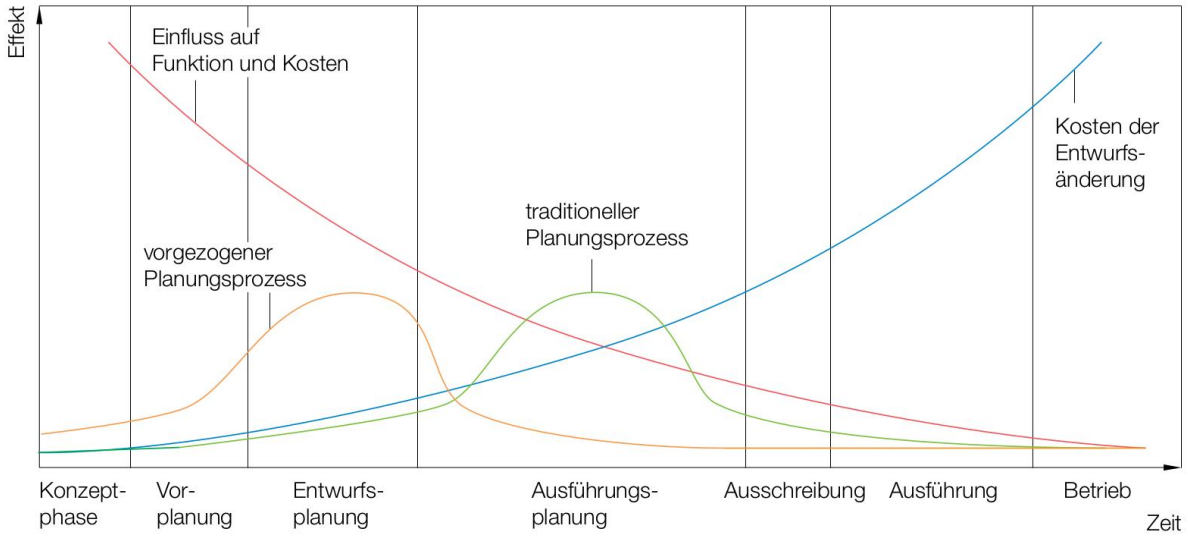


ABB 5.48: vorgezogene und traditionelle Planungsprozess

5_4_3_ Phasenverschiebung durch Vorfertigung

Die Verwendung von vorgefertigten Elementen oder Raumzellen beeinflusst nicht nur den Ablauf der Planungsphasen, sondern wirkt sich auf den Ablauf des gesamten Projektes aus. Wie die Abbildung zeigt, ändert sich die Dauer der einzelnen Phasen und auch ihr Verhältnis zueinander.

Die Dauer der Planungsphase ist unabhängig von der Vorfertigung, da bei beiden Baumethoden derselbe Planungsaufwand erforderlich ist. Die Planungsphase dauert bei hohem Vorfertigungsgrad nicht länger als bei konventionellem Bauen. Der Unterschied liegt nur in der für das Bauen erforderliche Planungstiefe. Bei der Raumzellenbauweise mit hohem Vorfertigungsgrad (Raumzellen mit Vollausbau) müssen alle Planungsdetails, wie die Lage der Steckdosen oder die Innenputzfarbe oder sogar die Einbaumöblierung, vor der Vorfertigung der Raumzellen geklärt werden. Beim traditionellen Bau erfolgt die genaue Planung der Innenausbau parallel mit der Bauphase, da diese Informationen für die Herstellung des Rohbaus irrelevant sind.

Die Bauzeit ist bei der Verwendung von vorgefertigten Elementen kürzer. Bei der Raumzellenbauweise laufen oft gleichzeitig mit der Vorfertigung der Raumzellen die Rohbauarbeiten des Kellers und der Erschließungskerne. Durch die Auslagerung von bestimmten Bautätigkeiten verringert sich die Anzahl der Gewerke, die auf der Baustelle anwesend sind. Dadurch wird die Gefahr an Störungen auf der Baustelle reduziert und die Koordination zwischen den am Bau anwesenden Personen vereinfacht.[64]

Wie viel Zeit durch die Vorfertigung der Elemente im Gesamtprojekt erspart wird, kann nur schwer beurteilt werden. Die längere Planungsphase steht der kürzeren Bauphase gegenüber. Bei der Raumzellenbauweise wird durch die gleichzeitige Vorfertigung und Bauen vor Ort, Zeit in der Bauphase eingespart. Eine weitere Zeitersparnis erfolgt durch die modularen Systeme, die die Planung und das Bauen beschleunigen. Diese sind jedoch nicht direkt der Vorfertigung zuzuordnen.

(64) vgl. Pech u.a. (2016), S.290f

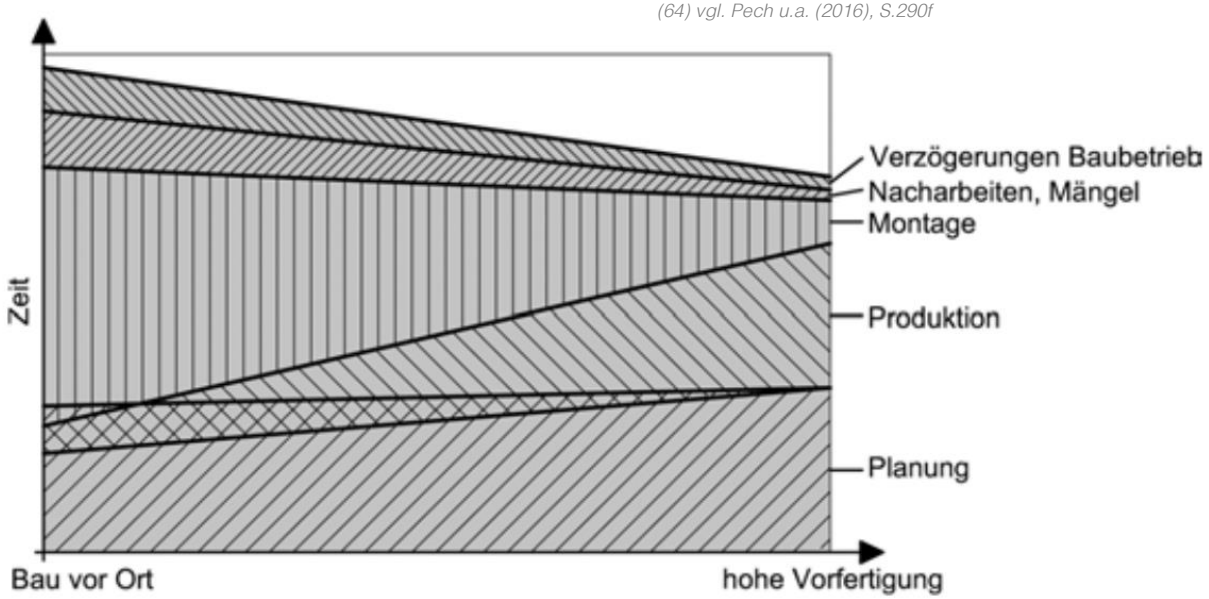


ABB 5.49: Zeitentwicklung Baustellenfertigung vs. Vorfertigung

5_4_4_ Produktionszeit

Die BSP-Herstellung ist ein hoch industrialisierter und sehr schneller Prozess, die eine genaue Planung voraussetzt. BSP-Elemente werden in Österreich nach Bestellung individuell produziert. Die Herstellung der Bauteile basiert auf einer fortgeschrittenen Planung, da eine Anpassung der Elemente auf der Baustelle kaum mehr möglich ist. Vor der Produktion müssen die Größen der Elemente, die Anschlüsse und die Manipulationsmethode definiert werden. BSP wird elementweise in der gewünschten Größe und mit den gewünschten Ausschnitten vorgefertigt.

BSP-Elemente werden vom Bauvorhaben abhängig, auf Bestellung produziert. Eine Produktion auf Lager gibt es üblicherweise nicht. In den letzten Jahren ist der Bedarf an Brettsperrholz so stark angestiegen, dass im Sommer 2016 die Lieferzeiten mehrere Monate betrugen. Diese wurde bei mehreren Herstellern durch maximale Produktion, Einführung von Drei- und Vierschichtbetrieben kurzfristig kompensiert. Langfristig wurde der Produktionsprozess weiter optimiert, die bestehenden Werke erweitert und neue Produktionsstandorte eröffnet.[(65)]

Die Brettsperrholzproduktion ist seit 1998 bis 2017 von Null auf ca. 700.000 m³ pro Jahr gewachsen. D.h. dass in der DACH-Region in 2017 ca. 2.800 m³ BSP pro Tag produziert wurde, die ca. die dreifache Menge ist, die für die 77 Raumzellen bei Sozialzentrum Pillerseetal verbaut wurde.

(65) vgl. www.holzkurier.com_(13.10.2018)

Eine Massenproduktion von BSP-Elementen wäre nur mit einem Bausystem möglich, das auf standardisierte Teile basiert. Eine variable Kombination von unterschiedlichen Standardelementen würde eine differenzierte Planung ermöglichen, die sich für Bauvorhaben mit unterschiedlichen Nutzungen gut eignet. Ein solches System gibt es aktuell am österreichischen Markt nicht.

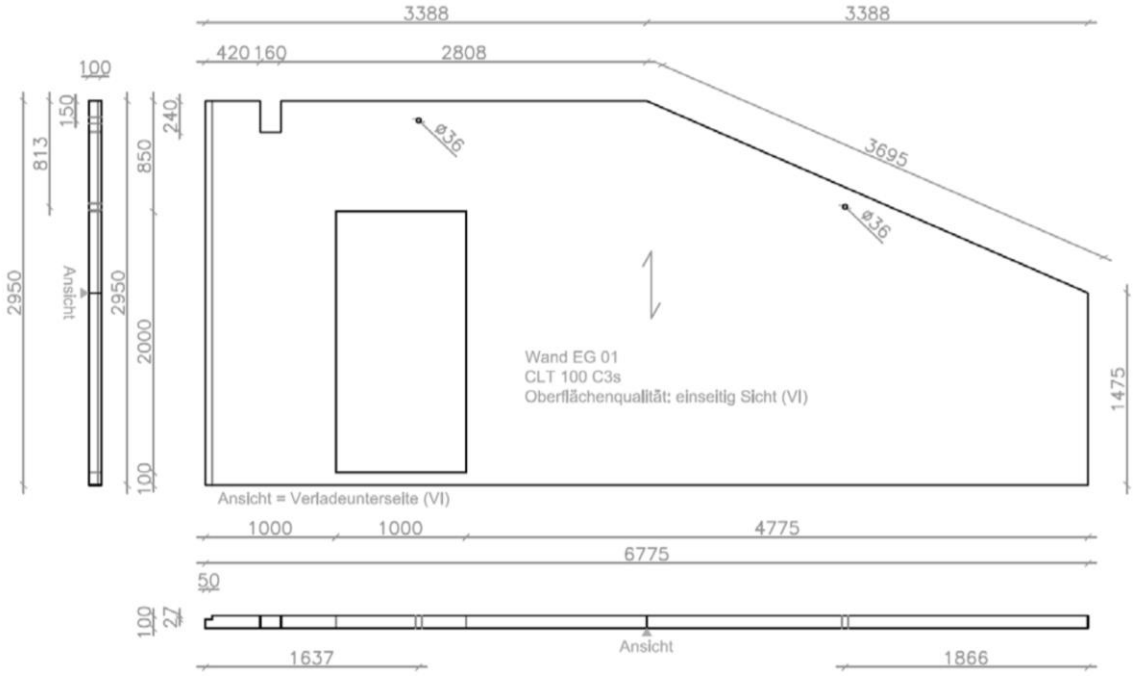


ABB 5.50: Werkpläne eines Brettsperrholzwandelements

Eine Serienproduktion im Holzbau konnte sich nur bei einzelnen Projekten, wie bei der Produktion von Raumzellen, durchsetzen. Die Raumzellenproduktion findet in einer witterungsgeschützten Halle statt, die ideale Randbedingungen für die Produktion und bessere Arbeitsbedingungen für die Arbeitskraft schafft. Raumzellen werden in Fließfertigung hergestellt, in der die Arbeitsabläufe in kleine, logische, aufeinanderfolgende Arbeitsschritte unterteilt werden. Das eingesetzte Personal übt grundsätzlich wiederholend dieselbe Tätigkeit an einer Station aus, wodurch sich die Fertigungszeit auf das Minimum sinken lässt.

Die Raumzellen, die beim Seniorenwohnhaus Hallein eingesetzt wurden, wurden in Kalwang produziert. Auf der Fertigungsstraße wurden zwanzig Stationen mit zugeordneten Lagerflächen eingerichtet. Die Anzahl der Stationen hängt natürlich von der Größe der Halle, aber weiters von der Prozesszeit und von der Menge der Produktion ab. Die Arbeitsvorgänge wurden in überschaubare Einzeltätigkeiten zerlegt und Stationen zugeordnet. Durch die Rationalisierung der Prozesse und die klare Trennung der Arbeitsbereiche der unterschiedlichen Gewerken wird der Fertigungsprozess beschleunigt und die Qualität gesteigert.

Beim Seniorenwohnhaus Hallein wurden 4 vollausgestattete Raumzellen pro Arbeitstag produziert. Die Arbeitskraft hat 10 Stunden am Tag gearbeitet. Die Raumzellen blieben nur 2 Stunden bei einer Station stehen und wurden dann zum nächsten Station auf der Fertigungsstraße gerollt. Innerhalb von ca. 85 Stunden wurde ein Raummodul fertiggestellt.[(66)] Um diese Produktionsgeschwindigkeit zu erreichen, ist eine sorgfältige Planung und Vorbereitung der Prozesse notwendig. Waren müssen rechtzeitig geliefert werden, damit es zum keinen Ausfall bei der Produktion kommt.

(66) zur Verfügung gestellte Information über die Referenzprojekte

ABB 5.51: Vorfertigungsstationen

5_4_5_ Montagezeit

Eine detaillierte Terminplanung ist im Holzbau erforderlich, um den Montageablauf optimal durchzuführen. BSP-Elemente können nicht direkt am Boden zwischengelagert werden, da Brettsperrholz vor Spritzwasser und aufsteigende Feuchte geschützt werden muss. Vorzugsweise werden die BSP-Bauteile und Raumzellen direkt vom LKW aus montiert. Wegen der großen Elemente kann ein Gebäude sehr schnell errichtet werden.

Bei Mineroom Leoben wurden zuerst die Außenwände direkt vom LKW auf Sockelaufleger montiert, im Lot eingerichtet und mit Montagestützen fixiert. Zunächst wurden die Innenwände und dann abschließend die Zwischendecken montiert. Nach der Montage aller Elemente des Geschosses erfolgten Verschraubungsarbeiten und diverse Verklebungen. Die Montage der einzelnen Wandelemente dauert ca. 15-20 Minuten und bei Deckenelemente ca. 8-10 Minuten. Pro Woche wurde ein Geschoss errichtet, wobei die Montage der BSP-Elemente bei diesem Projekt 3-4 Tage gedauert hat und die restliche Zeit für Verankerungsarbeiten genutzt wurde.[(67)]

Die Montagezeit der Elemente kann sich bei langen und weiten Kranwegen auf das drei- oder vierfache erhöhen. Bei der Tafelbauweise muss ein provisorischer Witterungsschutz nach der Montage aufgebracht werden. Üblicherweise wird die Zwischendecke mit einer Plane abgedeckt, damit die darunterliegenden Geschosse bei eventuellem Schlechtwetter geschützt sind.

Bei der Raumzellenbauweise können 10-15 Module am Tag montiert werden und die Verankerungsarbeiten sind weniger aufwendig. Die Raumzellen sind schon in der Produktion mit Witterungsschutz versehen und darum müssen keine zusätzlichen Maßnahmen auf der Baustelle erfolgen.

(67) zur Verfügung gestellte Information über die Referenzprojekte

ABB 5.52: Montage einer Raumzelle direkt vom LKW aus

5_4_6_ Zeitersparnis durch Vorfertigung

Ein großer Vorteil der Brettsperrholzbauweise gegenüber anderen Bauweisen, wie Ziegel- oder Stahlbetonbauweise, ist, dass es hier sich um eine trockene Bauweise handelt. Bei nicht trockener Bauweise müssen technologisch bedingte Austrocknungszeiten berücksichtigt werden, die den Fortschritt des Bauprojektes verzögern.

Durch eine hohe Vorfertigung verringert sich der Anzahl der Gewerke, die auf der Baustelle anwesend sein müssen. Dadurch wird die Gefahr an Störungen auf der Baustelle reduziert und die Koordination zwischen am Bau anwesenden Personen vereinfacht.[68]

Mit BSP-Elementen kann der Rohbau in kürzester Zeit errichtet werden und die Ausbauarbeiten unverzüglich nach der Fertigstellung einer geschlossenen Gebäudehülle witterungsunabhängig erfolgen.

(68) vgl. Eder (2014), S.143
(64) vgl. Pech u.a. (2016), S.290f

Die Vorfertigung der BSP-Raumzellen erfolgt üblicherweise gleichzeitig mit der Errichtung der Erschließungsflächen. Die Tatsache, dass mit der Raumzellenbauweise die Bauzeit sich verringert, ist unbestritten, aber wie viel Bauzeit durch den Einsatz von Raumzellen eingespart wird, kann nicht einfach definiert werden.

Beim Seniorenwohnhaus Hallein wurden die 136 Raumzellen in 2,5 Monaten, gleichzeitig mit den Rohbauarbeiten auf der Baustelle, vorgefertigt. Die Montage der Raumzellen ist ein sehr schneller Prozess, in dem eine Raumzelle pro Stunde montiert werden kann. Obwohl die Montage der einzelnen BSP-Elemente schneller ist, wird mehr Zeit wegen der Anzahl der Elemente und Verankerungsarbeiten benötigt.

Raumzellen werden in Taktfertigung produziert. Der Vorfertigungsprozess wird in kleinere Arbeitsschritte aufgeteilt. Das eingesetzte Personal übt immer dieselbe Tätigkeit an einem zentralisierten Arbeitsort unter kontrollierten Bedingungen effektiver aus, wodurch die Arbeit beschleunigt wird. Diese Tätigkeiten würden auf der Baustelle dezentral, in unterschiedlichen Konstellationen und Randbedingungen ausgeführt.

Der Nachteil der „Fließbandfertigung“ der Raumzellen ist, dass die Kapazität der Gewerke an der Produktion angepasst werden muss. Die Anzahl der gleichzeitig einsetzbaren Arbeitskräfte ist durch den Vorfertigungsprozess eingeschränkt. Dadurch kann die maximal erreichbare Tagesleistung nicht ausgeschöpft werden.[64]

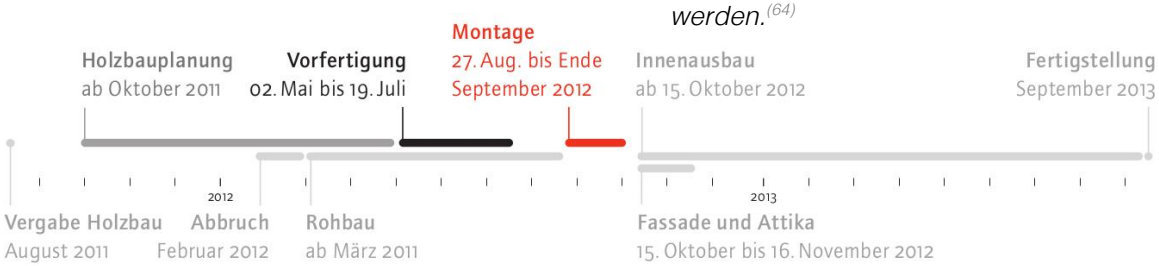


ABB 5.53: Terminplan - Seniorenwohnheim Hallein

5_5_ *KOSTEN*

5_5_1_ Kostenplanung

Die Kostenplanung wird während allen Projektphasen systematisch und immer detaillierter durchgeführt. Sie dient als Grundlage für die Kosten- und Finanzierungsvorgaben. Die Kosten werden im Bauwesen in Kostengruppen gegliedert.

Für Bauherren sind die Bauwerkskosten ein wesentliches Entscheidungskriterium bei der Auswahl eines Bausystems. Die Baukosten ohne Einrichtung ergeben üblicherweise ca. 60% der Gesamtkosten eines Projektes.(69) Die möglichen Bausysteme müssen schon in den früheren Projektphasen untersucht werden. Bei späterer Änderung der Bauweise können signifikante Umplanungen notwendig sein, was zu Mehrkosten und Terminverschiebungen führen können.

Die ausgewählte Bauweise hat einen großen Einfluss auf die Bauwerkkosten, vor allem beim Rohbau und da diese als Basis für diverse Honorarberechnungen herangezogen werden, auch auf die Kosten der Planungsleistungen. Die Vorfertigung kann zur Senkung der Bauwerkkosten beitragen.

(69) vgl. Grimscheid (2014), S.3f

			Entwicklungs-phase	Vorbereitungs-phase	Vorentwurfs-phase	Entwurfs-phase	Ausführungs-phase	Abschluss-phase
Qualität	**Qualität**	**Einbeziehung**	Qualitäts-ziel	Qualitäts-rahmen	Vorentwurfs-beschreibung	Entwurfs-beschreibung	Ausführungs-beschreibung	Qualitäts dokumentation
	Quantität		Quantitäts-ziel	Raum-programm	Vorentwurfs-planung	Entwurfs-planung	Ausführungs-planung	Planungs-dokumentation
Termine	**Termine**		Termin-ziel	Termin-rahmen	Grob-terminplan	genereller Ablaufplan	Ausführungs-terminplan	Termin-feststellung
	Ressourcen		Ressourcen-ziel	Ressourcen-rahmen	Ressourcenplan			
Kosten	**Kosten**	**Vorgabe**	Kosten-ziel	Kosten-rahmen	Kosten-schätzung	Kosten-berechnung	Kosten-anschlag	Kosten-feststellung
	Finanzierung		Finanzierungs-ziel	Finanzierungs-rahmen	Finanzierungsplan			

ABB 5.54: Kostenplanung nach der ÖNORM B 1801-1

KG	Baugliederung	Abk.	Bauwerks-kosten BWK	Bau-kosten BAK	Errichtungs-kosten ERK	Gesamt-kosten GEK
0	**Grund**	GRD				
1	**Aufschließung**	AUF				
2	**Bauwerk - Rohbau**	BWR				
3	**Bauwerk - Technik**	BWT				
4	**Bauwerk - Ausbau**	BWA				
5	**Einrichtung**	EIR				
6	**Außenanlagen**	AAN				
7	**Planungsleistungen**	PLL				
8	**Nebenleistungen**	NBL				
9	**Reserven**	RES				

ABB 5.55: Kostengruppierung nach der ÖNORM B 1801-1

5_5_2_ Materialkosten

Die ersten Produktionsstätten für BSP waren noch handwerklich geprägt und BSP wurde in kleinen Mengen produziert. Seitdem ist die Weltproduktion auf 700.000 m^3 pro Jahr gestiegen und die Nachfrage zeigt ein kontinuierliches Wachstum. Die BSP-Produktion ist heutzutage stark industrialisiert und ist nur wenig Arbeitskraft notwendig.

Durch die Industrialisierung, Standardisierung und Rationalisierung des Herstellungsprozesses und deren Arbeitsschritte sind die Einheitspreise vom BSP gesunken. Seit den letzten 10 Jahren stagniert der durchschnittliche Einheitspreis für BSP bei ca. 400-420 €/m^3 [(70)]

Der Preis der Brettsperrholzplatten hängt von dem Schichtaufbau, der Stärke und der Oberflächenqualität ab. Brettsperrholz wird nach Quadratmeter verrechnet. Es ist vom Hersteller abhängig, ob die BSP-Elemente nach tatsächlichen m^2 oder nach Rastermaß verrechnet werden. Der aktuelle Preis liegt zwischen ca. 40-140 €/m^2 netto für die auf gewünschte Größe geschnittenen BSP-Platten.[(71)]

Die Kosten für den Abbund sind projektbezogen und werden nach Aufwand verrechnet. Die Elementbearbeitung (Fenster- und Türausschnitte, etc.), Falzungen, Profilierungen, Einbau von Montagehilfsmittel, spezielle Abbundarbeiten werden in €/m^2 oder €/Stück zusätzlich verrechnet.

(70) vgl. Winter (2017), S.12
(71)zur Verfügung gestellte Informationen über die Referenzprojekte

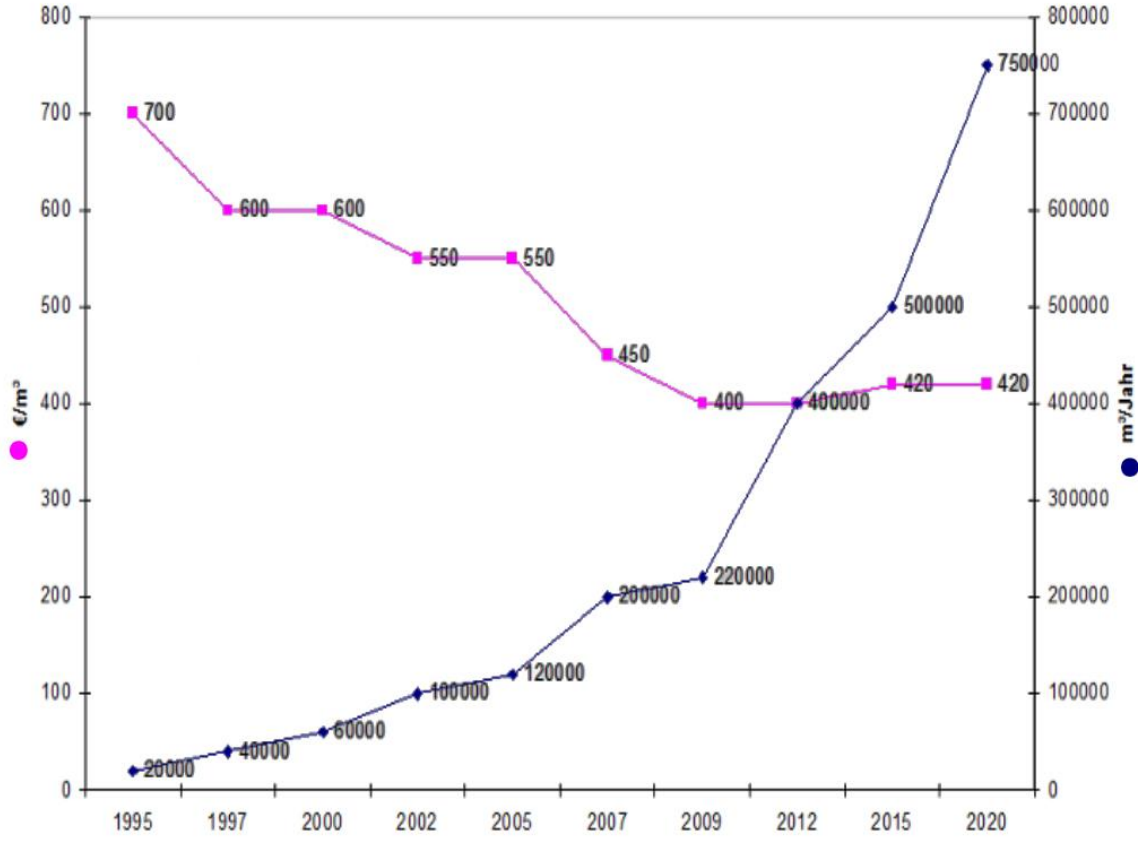


ABB 5.56: Produktionskapazitäten und Verkaufspreise vom BSP in Europa

5_5_3_ Vorfertigung

Bis die Lohnkosten im Vergleich zu Materialkosten niedrig waren, gab es in der Bauindustrie kein Bedarf für Vorfertigung. Heutzutage ergeben die Materialkosten nun ca. 50% der Baukosten in Österreich.

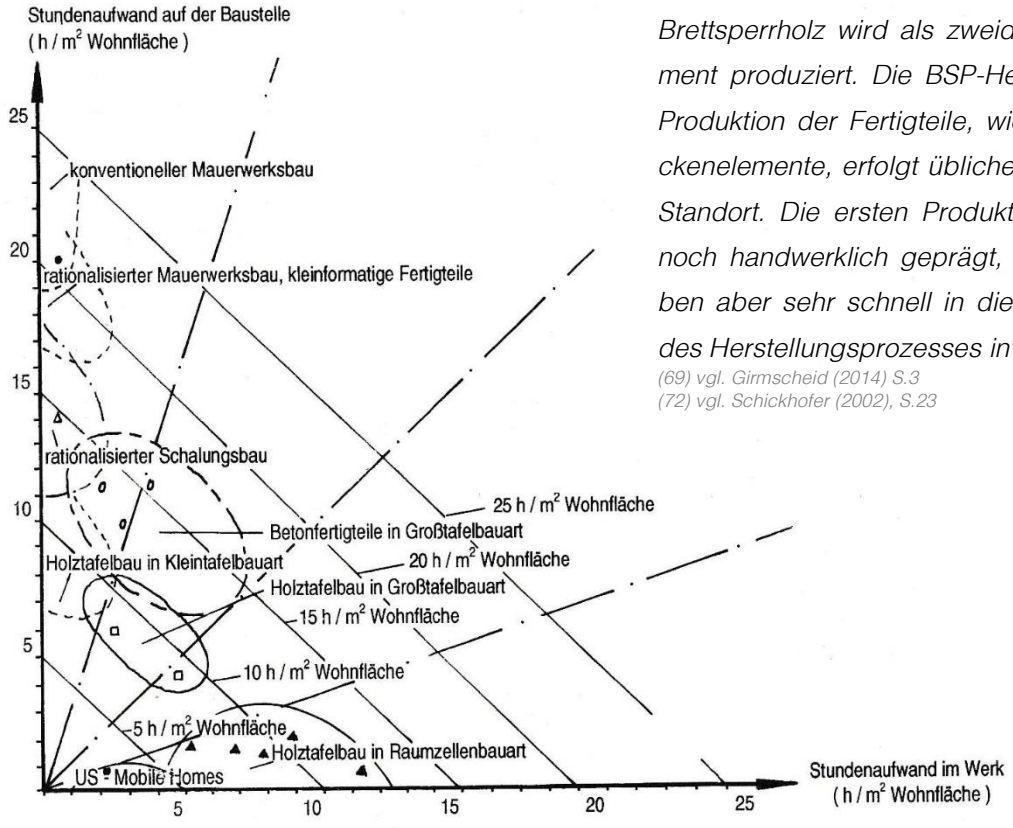


ABB 5.57: Wertschöpfung und Seriengrößen

Die dauernd steigenden Lohnkosten haben zu Rationalisierung und Industrialisierung im Holzbau geführt. Brettsperrholz ist auf Grund seiner Eigenschaften sehr gut für eine Vorfertigung geeignet.

Brettsperrholz wird als zweidimensionales Element produziert. Die BSP-Herstellung und die Produktion der Fertigteile, wie Wand- und Deckenelemente, erfolgt üblicherweise am selben Standort. Die ersten Produktionsstätten waren noch handwerklich geprägt, die Hersteller haben aber sehr schnell in die Industrialisierung des Herstellungsprozesses investiert.

(69) vgl. Girmscheid (2014) S.3
(72) vgl. Schickhofer (2002), S.23

In vielen Hinsichten ist die Baustelle kein optimaler Produktionsstandort und leidet häufig unter ungünstigen Witterungsbedingungen und Verzögerungen, die zu zusätzlichen Kosten führen. Weiters kann die Vorfertigung durch die Steigerung der Arbeitsproduktivität zur Senkung der Bauwerkskosten beitragen. Raumzellen werden in Taktfertigung produziert. Das eingesetzte Personal übt immer dieselbe Tätigkeit an einem zentralisierten Arbeitsort unter kontrollierten Bedingungen effektiver aus, wodurch die Arbeit beschleunigt wird. Durch die Vorfertigung werden die Schlechtwetterstunden eliminiert, die Materialsuchstunden reduziert und durch klare Workflowprozesse die Effizienz gesteigert.[(69)]

Vollausgestattete Raumzellen können bis zu 95% vorgefertigt werden. Die Größe des Kostenvorteils, der durch die Vorfertigung erzielt werden kann, hängt vom Bausystem und auch von der Planung ab. Laut Michael Kaufmann kann der Preisvorteil durch Vorfertigung maximal 20% betragen, „aber nur, wenn alles wie am Schnürchen läuft“.[(72)]

5_5_4_ Transportkosten

Die Raumzellenbauweise wird oft wegen des Transports kritisiert. Mit flächigen Wand- und Deckenelementen sind kompakte Fuhre möglich. Das mögliche Fuhrvolumen wird bei Raumzellen nur schlecht genutzt. Dies kann jedoch beim hohen Vorfertigungsgrad, wenn die Raumzellen mit allen Einbauten oder auch mit allen Einrichtungsgegenständen ausgestattet werden, besser genutzt werden.

Bei Holzbau sind die Transportmengen durch die Größen beschränkt. Das Gewicht spielt im Vergleich zu anderen Baustoffen hier keine maßgebliche Rolle. Im Vergleich zum Beton kann bei gleichbleibendem Gewicht die vierfache Menge an Brettsperrholz transportieren werden.

Raumzellen überschreiten oft die zulässigen Abmessungen des Transports. Deswegen müssen Ausnahmegenehmigungen für den Fuhr angesucht werden. Ob ein Sondertransport zwischen der Baustelle und dem Produktionsstandort der Raumzellen möglich ist, muss am Projektanfang geklärt werden.

Im Vergleich zu anderen Baumaterialien, wie Beton oder Ziegel, die ein dicht ausgebautes Netz von Baustoffherstellern vorweisen, sind die Produktionsstandorte für BSP in einem Kreis mit einem 100 km-Radius konzentriert. Dieser Umstand hat eine Auswirkung auf die Länge der Transportwege.

Die Transportkosten werden entweder nach km oder nach Leitgebiete berechnet. Diese werden pro Fuhre angegeben und laut eine Angebot aus 2016 liegen die Kosten für Transporte innerhalb Österreich zwischen ca. 400 € und 1.100 € netto inkl. Ladezeit. Sondertransporte werden immer extra angefragt. Bei Seniorenwohnhaus Hallein lagen die Frachtkosten für die Sondertransporte bei ca. 2.000 € netto. [(73)]

Obwohl die „hohe“ Transportkosten bei der Raumzellenbauweise fast immer als Kritik erwähnt werden, machen diese Kosten nur einen kleinen Teil der gesamten Baukosten aus. Bei Seniorenwohnhaus Hallein entsprachen die Frachtkosten nur ca. 1,5% der Baukosten.

(73) zur Verfügung gestellte Information über die Referenzprojekte

ABB 5.58: Transport von Raumzellen – Seniorenwohnhaus Hallein

5_5_5_ Baukosten

Eine Baustelle ist in vielen Hinsichten kein idealer Produktionsstandort. Durch die rationalisierte Vorfertigung steigt die Arbeitsproduktivität, die Qualität der Ausführung und verkürzt sich die Bauzeit.

Bei der Brettsperrholzbauweise handelt es sich um eine trockene Bauweise. Nach der Montage der BSP-Elemente können unverzüglich ohne Austrocknungszeit die Ausbauarbeiten erfolgen.

ABB 5.59: Baustelle – Sozialzentrum Pillerseetal

Bei der Raumzellenbauweise erfolgt das Bauen an zwei Standorten. Während das Kellergeschoss, die Erschließungskerne und -flächen vor Ort errichtet werden, können die Raumzellen in der Halle vorgefertigt werden. Durch gleichzeitiges Bauen und Vorfertigung kann an Bauzeit und somit die zeitgebundenen Baustelleneinrichtungskosten gespart werden

Die Transportkosten sind höher, als bei der Tafelbauweise, aber die Montage der Raumzellen erfolgt schneller, wodurch die Montagekosten reduziert werden.

Die Kosten der vollausstatteten Raumzellen mit fixer Möblierung (KG 2-4+ Teil der KG 5) inkl. Lieferung und Montage beträgt ca. 1.200 - 1.300 €/m² NF netto. Diese Quadratmeterpreise kann man nicht mit den Baukosten von anderen Gebäuden vergleichen, da in den Kosten der Raumzellen der Kostenanteil der Haustechnikzentralen, Dachflächen, Fundierung, etc., nicht berücksichtigt werden. Die Baukosten (KG 1-6) vom Seniorenwohnhaus Hallein betrugen ca. 1.615 €/m² BGF netto.[74]

(74) zur Verfügung gestellte Information über die Referenzprojekte

5_5_6_ Brettsperrholzbauweise

Die ausgewählte Bauweise hat eine große Auswirkung auf die Baukosten des Gebäudes und damit verbundenen, weiteren Kosten. Ein Kostenvergleich anhand bereits realisierte Projekte ist nur bedingt möglich, da bei der Kostenbildung viele Faktoren berücksichtigt werden müssen. Der Standort, die örtliche Gegebenheiten, die Rahmenbedingungen, das architektonische Konzept, die Nutzung und andere Faktoren haben eine Auswirkung auf die Kosten eines Gebäudes. Nur die Untersuchung verschiedener Bauweisen an selbem Bauprojekt kann Aussagen über die Wirtschaftlichkeit der Bauweisen liefern und lässt Investitionsentscheidungen anhand der Kostenunterschiede zu.

David Zügner hat in seiner Masterarbeit aus 2013 die relevanten Kostenunterschiede der Tafelbauweise (H - Brettsperholz) und mineralischen Bauweise (M - Stahlbeton und Ziegel) bei gleichen bauphysikalischen Anforderungen anhand von zwei Varianten eines Wohnturms (G3 - dreigeschossig oder G8 - achtgeschossig) analysiert.[(75)]

Bezeichnung	Kosten G8H [€/m²]	Kosten G8M [€/m²]	Kosten G3H [€/m²]	Kosten G3M [€/m²]
BAUSTELLENEINRICHTUNG				
Einrichten / Räumen	13,20	13,62	35,17	36,19
Vorhalten	33,02	45,57	33,39	67,05
Hebewerkzeug	19,40	59,55	30,59	64,39
Gerüst	14,76	17,98	13,72	19,53
Summe Baustelleneinrichtung	**80,38**	**136,71**	**112,87**	**187,16**
AUSBAUSTUFE 1 - Rohbau				
Erdarbeiten	2,14	2,77	3,66	3,76
Fundament	41,64	50,59	93,61	104,25
Rohbau	322,09	308,74	339,78	303,38
Summe Ausbaust. 1 - Rohbau	**365,87**	**362,10**	**437,05**	**411,39**
AUSBAUSTUFE 2 - Ausbau				
Verputzarbeiten	0,00	29,49	0,00	29,75
Trockenbau	130,44	30,93	130,53	30,15
WDVS	45,86	49,72	61,11	65,78
Summe Ausbaus. 2 - Ausbau	**176,30**	**110,14**	**191,64**	**125,68**
Summe (exkl. MwSt.)	**622,55**	**596,99**	**749,72**	**724,23**

ABB 5.60: Kostenvergleich zwischen unterschiedlichen Bauweisen

Die Ergebnisse seiner vereinfachten Kostenanalysen zeigen, dass die mineralische Bauweise 7-10% günstiger ist als die Brettsperrholzbauweise. Durch die kürzere Bau- und Montagezeit waren die Baustelleneinrichtungskosten im Holzbau geringer. Die Wand- und Deckenkonstruktionen aus BSP sind grundsätzlich teurer als bei der mineralischen Bauweise, jedoch kann durch die geringe Masse der Baukonstruktion bei der Dimensionierung und dadurch auch bei den Kosten der Fundamente und des Erdaushubs eingespart werden. Die Rohbaukosten waren insgesamt bei beiden Bauweisen in etwa gleich groß. Wegen den sehr strengen Brandschutzvorschriften ist im Holzbau der größte Kostenbetreiber der Ausbau. Wegen den kostenintensiven Verputz- und Trockenbauarbeiten, die einen sehr hohen Lohnkostenanteil auf der Baustelle haben, ist die Brettsperrholzbauweise über 50% teurer als die mineralische Bauweise.[(75)]

(75) vgl. Zügner (2013), S.114-227
(76) vgl. Huß (2017), S.143

Oft werden im Bauwesen Quadratmeterpreise von unterschiedlichen Konstruktionen direkt miteinander verglichen, ohne die daraus resultierenden Flächen- oder Kubaturunterschiede zu beachten. Durch reduzierte Konstruktionsstärken mit BSP kann bei gleichwertigem bauphysikalischen Eigenschaften und gleicher Bruttofläche mehr Nutzfläche geschafft werden. Die dadurch gewonnene Nutzfläche bringt einen höheren Erlös beim Verkauf oder höhere Mieteinnahmen im Falle einer Vermietung. Durch diesen finanziellen Vorteil der größeren Nutzfläche können die höheren Baukosten bei der Brettsperrholzbauweise kompensiert oder sogar übertroffen werden.[(75)]

Ein weiterer großer Vorteil der Brettsperrholzbauweise ist die kurze Montage- und Bauzeit. Die wirtschaftlichen Vorteile der Verkürzung der Bauzeit hängen vom Projekt ab. Durch die Verschiebung der Projektphasen müssen die Investitionskosten für die Ausführung relativ spät und für eine kurze Zeit getätigt und finanziert werden. Da während der frühen Planungsphase relativ geringe Kosten anfallen, kann die Zwischenfinanzierung in dieser Phase vernachlässigt werden. Durch die verkürzte Bauzeit können Gewinne im Form von Mieteinnahmen früher erwirtschaftet werden. Weiters können bei der Brettsperrholzbauweise die Bauarbeiten im laufenden Betrieb ohne Nutzungsausfall erfolgen.[(76)]

Über die Raumzellenbauweise mit BSP gibt es noch keine veröffentlichte, wirtschaftliche Vergleichsanalyse. Bei dieser Bauweise sind die Transportkosten im Vergleich zur Tafelbauweise höher, aber durch die Steigerung der Produktivität bei der Vorfertigung können die hohen Ausbaukosten reduziert werden. Das Sozialwohnhaus Hallein war ursprünglich in Stahlbetonbauweise und das Sozialzentrum Pillerseetal in Tafelbauweise geplant. Bei beiden Projekte wurden Kostenvergleiche gemacht und das Ergebnis sprach für die modulare Raumzellenbauweise.[(77)]

(77) vgl. Kaufmann (2012), S. 1-8

5_6_ *PROJEKTENTWICKLUNG*

5_6_1_ Gebäudehöhe

Veranlasst durch die vielen Brandkatastrophen in Städten wurden Holzbauten in Europa im 19. Jahrhundert durch neue Vorschriften verhindert oder eingeschränkt. Erst im 20. Jahrhundert wurde Holz wieder in Europa verbreitet verwendet. Die brandschutztechnischen Vorschriften sind in Österreich weiterhin streng geblieben und haben die Entwicklung von hohen Holzbauten aufgehalten.

In Österreich ist der Brandschutz auf Landesebene in der OIB Richtlinie 2 „Brandschutz“ geregelt. Der wichtigste Faktor bei dem konstruktiven Brandschutz sind die Feuerwiderstände von Bauteilen, die von der Gebäudeklasse abhängig sind. Hochbauten werden nach der Brutto-Grundfläche, der Anzahl der oberirdischen Geschossen und dem Fluchtniveau.

Gebäuden in Brettsperrholzbauweise können gemäß OIB Richtlinie 2015 mit sechs oberirdischen Geschossen und einem maximalen Fluchtniveau von 22 m realisiert werden. Bei der Gebäudeklasse 5 mit mehr als sechs Geschosse kann Brettsperrholz als tragendes Element nur im obersten Geschoss eingesetzt werden. Alle anderen Tragkonstruktionen müssen aus nicht brennbarem Material hergestellt werden und kann BSP aus diesem Grund nicht eingesetzt werden. Von den bestehenden Anforderungen sind Abweichungen möglich, wenn bestimmte Schutzziele eingehalten werden und diese mit Vorliegen eines Brandschutzkonzeptes nachgewiesen werden.[78][79]

(78) vgl. OIB Richtlinie 2 „Brandschutz“ (2015), S.1-19
(79) vgl. Treibinger (2015), S.1-18

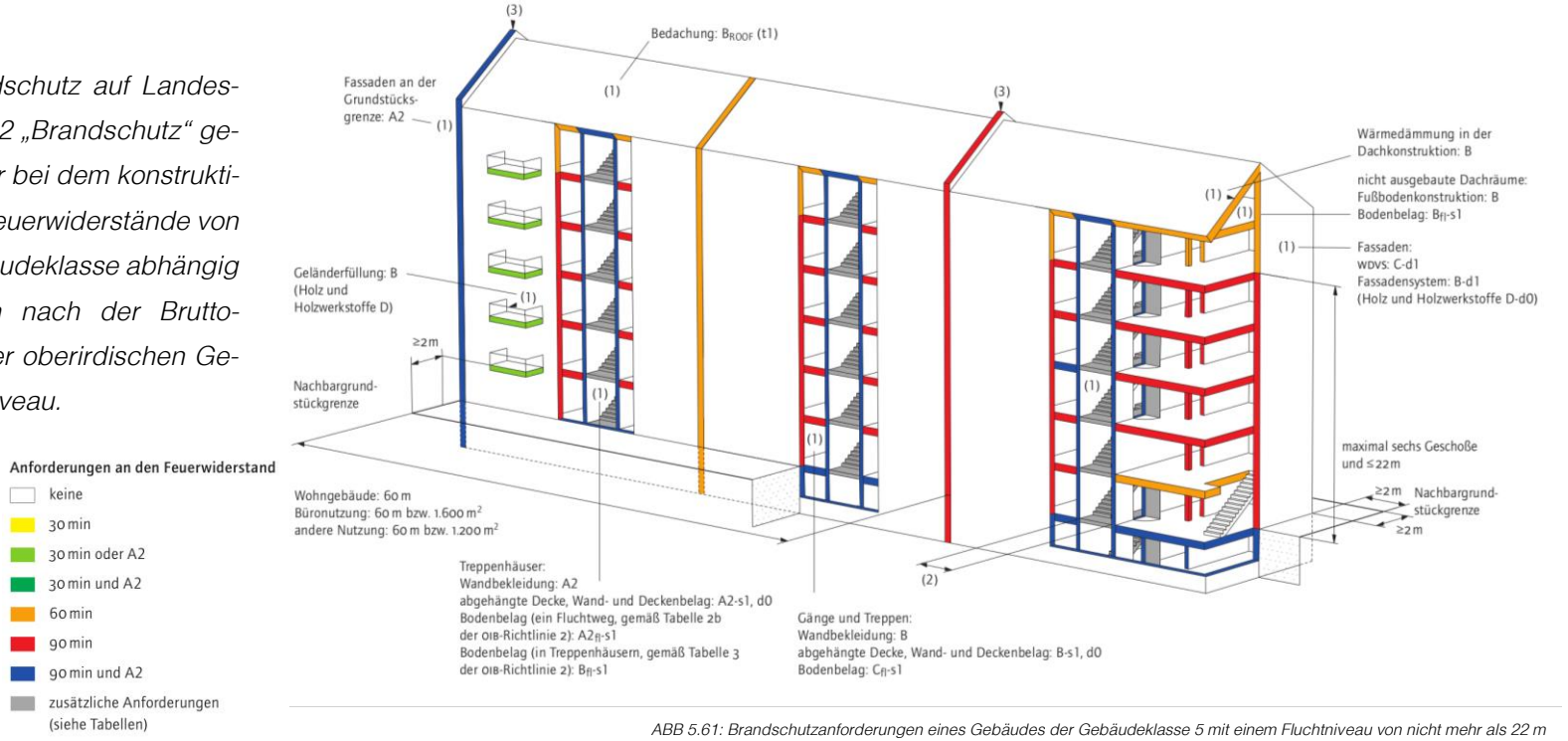


ABB 5.61: Brandschutzanforderungen eines Gebäudes der Gebäudeklasse 5 mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 22 m

5_6_2_ Planung

In den letzten 30 Jahren wurde Brettsperrholz bei vielen Projekten mit unterschiedlichen Nutzungen eingesetzt. Durch die kreuzweise Verleimung der Bretter können Brettsperrholzelemente je nach Belastungssituation als Platten oder Scheiben wirken und als Boden, Decke oder Wand eingesetzt werden. Weiters können Stiegenläufe, Balkonplatten und sogar stabförmige lastabtragende Bauteile wie Überlager, Unterzüge und Stützen aus BSP hergestellt werden.[80]

Die Elemente werden exakt und individuell nach Plan gefertigt und ermöglichen eine annähend freie und nichtmodulare Anwendung. Eine Produktion auf Lager ist für BSP untypisch, da keine Bausysteme mit standardisierten Elementen am österreichischen Markt existieren.

Ein großer Vorteil der Brettsperrholzbauweise gegenüber anderen Bausysteme ist, dass es sich hier um eine trockene Bauweise handelt. Der Rohbau kann in kürzester Zeit errichtet werden, wodurch die Belastung der Nachbarschaft während der Bauzeit reduziert wird.

Ein weiterer Vorteil ist der geringe Platzbedarf auf der Baustelle. Die Brettsperrholzelemente werden in der Regel just-in-time geliefert und die auf die Montagereihenfolge abgestimmte Verladung ermöglicht, dass die Elemente direkt vom LKW montiert werden. Dadurch kann man in den meisten Fällen auf eine Zwischenlagerung auf der Baustelle verzichten. Aus diesem Grund wird vor Ort geringe Montage- und Lagerfläche benötigt.

Raumzellen sind nicht für jede Bauaufgabe die optimale Lösung und bedingen eine gewisse Einschränkung in der Gestaltungsfreiheit. Der große Vorteil der Raumzellenbauweise ist der hohe Vorfertigungsgrad und die daraus resultierende kurze Bauzeit. Dadurch sind auch Maßnahmen, wie Zubau, im laufenden Betrieb möglich oder können Gebäuden außerhalb der Bauverbotszeiten in Tourismusregionen sehr schnell errichtet werden. Durch die kurze Bauzeit kann die Betriebsausfallszeit bei Umbauten auf das Minimum gesenkt werden.[81]

(80) vgl. Schickhofer (2002), S.23-25
(81) vgl. Pech (2016), S.288
(82) vgl. Isopp (2013), S.8f
(83)zur Verfügung gestellte Informationen über die Referenzprojekte

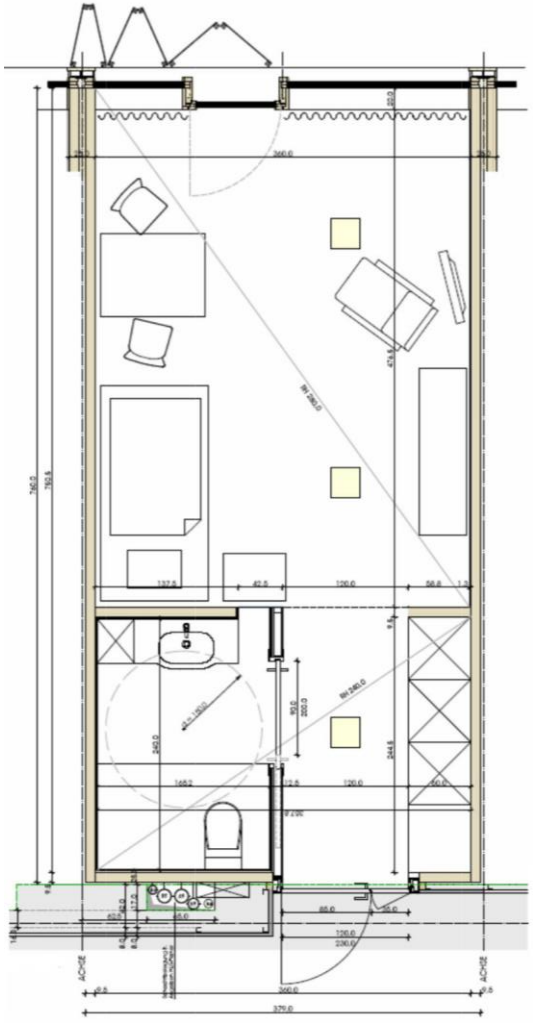


ABB 5.62: Raumzelle - Sozialzentrum Pillerseetal

Raumzellen bedingen eine modulare Planung und werden bei Gebäuden mit wiederholenden Räume, wie Hotels und Wohnheime eingesetzt. Bei einer Mischbauweise können die einheitlichen Raumzellen mit anderen Raumkonfigurationen kombiniert werden. Die Raumzellen werden im Werk vorgefertigt und bei höchstem Vorfertigungsgrad mit kompletter Innenausstattung bis hin zur festen Möblierung auf die Baustelle geliefert. Die Haustechnikinstallationen werden im Werk vormontiert und die Leitungen werden nach der Montage nur noch miteinander verbunden und an die Ver- und Entsorgungsleitungen angeschlossen. Aus diesem Grund eignet sich die Raumzellenbauweise auch für temporäre Einrichtungen.

Die Raumzellen werden oft projektspezifisch seriengefertigt. Laut Christian Kaufmann rechnet sich eine serielle Produktion erst ab etwa 30 bis 40 gleiche Raummodule.(82) Das Sozialzentrum Pillerseetal wurde mit 77 Raumzellen in 3 Varianten mit kleinen Abweichungen und das Seniorenwohnhaus Hallein mit 128 gleichen und 8 davon abweichenden Raumzellen realisiert.(83)

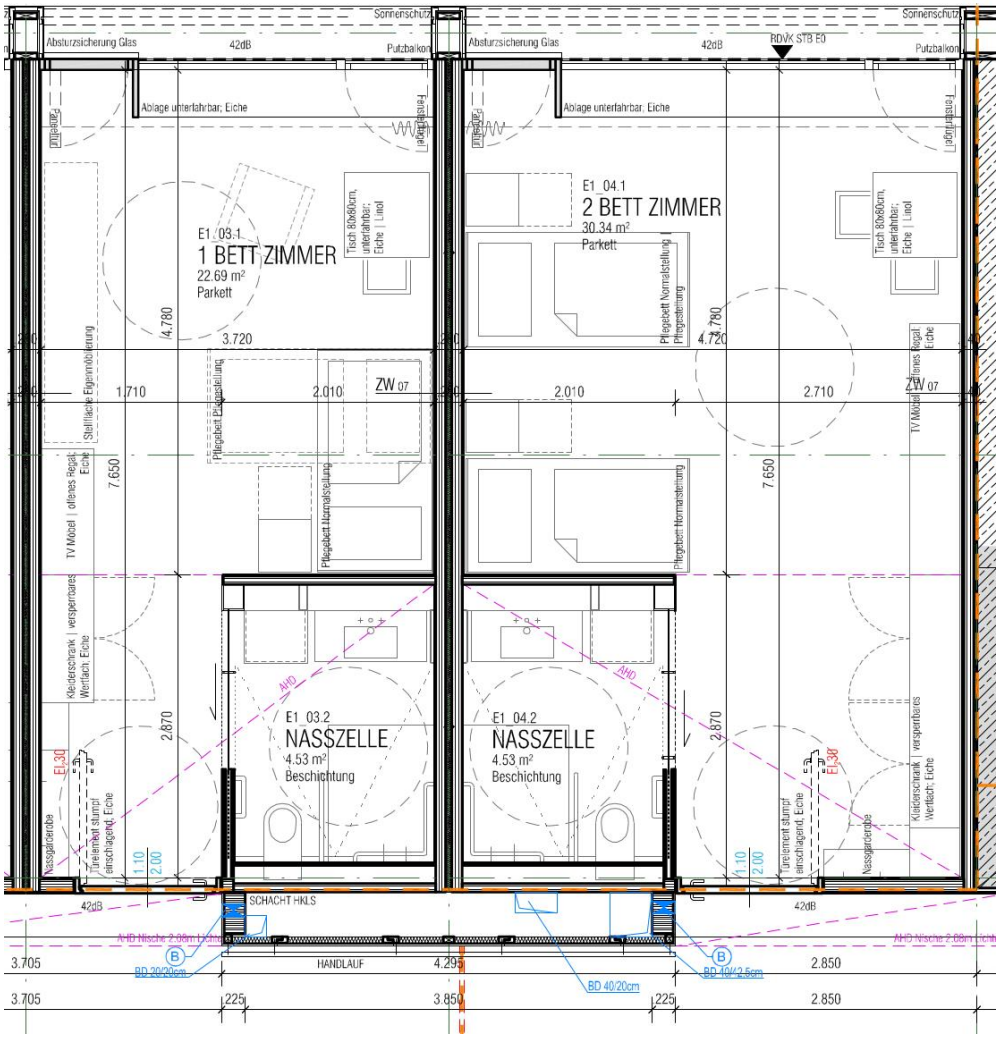


ABB 5.63: Raumzellen - Seniorenwohnhaus Hallein

5_6_3_ Flächen

Eines der wichtigsten Faktoren eines Gebäudes ist für Bauherrn die erzielbare Nutzfläche, da die späteren Miet- oder Kaufeinnahmen von diesem Wert abhängen. Die Stärke der Wandaufbauten hängt von der Statik, Bauphysik, Baustoff und die Bauweise ab. Mit Brettsperrholz kann durch die reduzierten Wandstärken im Vergleich zur mineralischen Bauweise bei gleichbleibenden bauphysikalischen Anforderungen mehr Nutzfläche bei gleich großen Fläche geschafft werden.

David Zügner hat in seiner Diplomarbeit ein Gebäude mit ca. 400 m² BGF und 4 Wohnungen pro Geschoss in Brettsperrholzbauweise und mineralische Bauweise analysiert. Die Vergleichsanalyse wurde für zwei Varianten (Gebäude mit 3 oder 8 Geschosse) durchgeführt.(84) Bei Brettsperrholzbau wurde eine schalltechnische Entkoppelung bei den Wohnungstrennwänden berücksichtigt, somit ist dieser Aufbau ähnlich wie der Wandaufbau bei der Raumzellenbauweise.

Durch die schlanken Aufbauten bei BSP wurde 3% mehr Nutzfläche als bei der mineralischen Bauweise geschafft. Dieser Wert wäre wahrscheinlich höher, wenn man ein Gebäude mit vielen, kleinen Wohneinheiten, wie bei einem Wohnheim, als Basis für die Analyse nehmen würde. Der Ausnutzungsgrad (Verhältnis NF zu BGF) bei der Brettsperrholzbauweise liegt bei diesem Projekt bei 0,75.(84)

(84) vgl. Zügner (2013), S.148-227

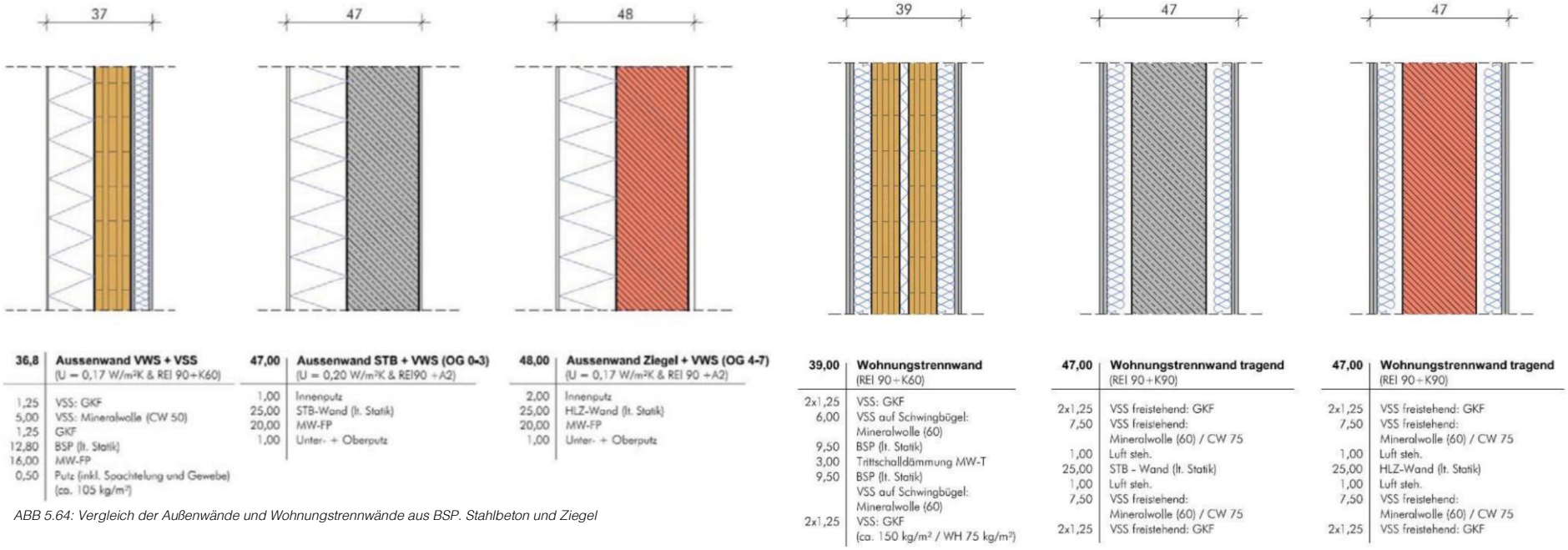


ABB 5.64: Vergleich der Außenwände und Wohnungstrennwände aus BSP. Stahlbeton und Ziegel

5_6_4_ Zeitmanagement

In welcher Bauweise ein Gebäude errichtet wird, hängt von vielen Faktoren ab und hat eine große Auswirkung auf das Projekt. Aus diesem Grund müssen die möglichen Bausysteme bereits am Projektanfang gründlich analysiert werden. Diese müssen bei der Rahmenterminplanung berücksichtigt werden und ausreichend Zeit für eine ausführliche Analyse vorgesehen werden. Die Entscheidung, welche Bauweise eingesetzt wird, muss spätestens am Ende der Vorentwurfsphase vorliegen.

Der Grad der Vorfertigung ist ein weiterer Faktor, der die zeitliche Abwicklung beeinflusst. Bei hohem Vorfertigungsgrad dauert die reine Planungsphase länger, da eine detailliertere Planung für die Vorfertigung notwendig ist. Die Bauarbeiten fangen dafür an einem späteren Zeitpunkt an. Besonders bei der Raumzellenbauweise muss der Bauherr bereit sein, Entscheidungen frühzeitig zu treffen, da nachträgliche Änderungen zu Terminverzögerungen und Mehrkosten führen können.

Anhand der analysierten Projekte kann man die Phasenverschiebung und vor allem die Zeiteinsparung durch die Anwendung von Raumzellen mit hohem Vorfertigungsgrad nicht feststellen, da bei beiden Projekten die Bauweise im Projektlauf geändert wurde. Bei Seniorenwohnhaus Hallein waren bereits die Einreichpläne für den Stahlbetonbau fertig, als die Brettsperrholzbauweise vorgeschlagen wurde.[82] Durch solche Änderungen kann die Planungsphase mehrere Monate länger dauern.

(82) vgl. Isopp (2013), S.8f

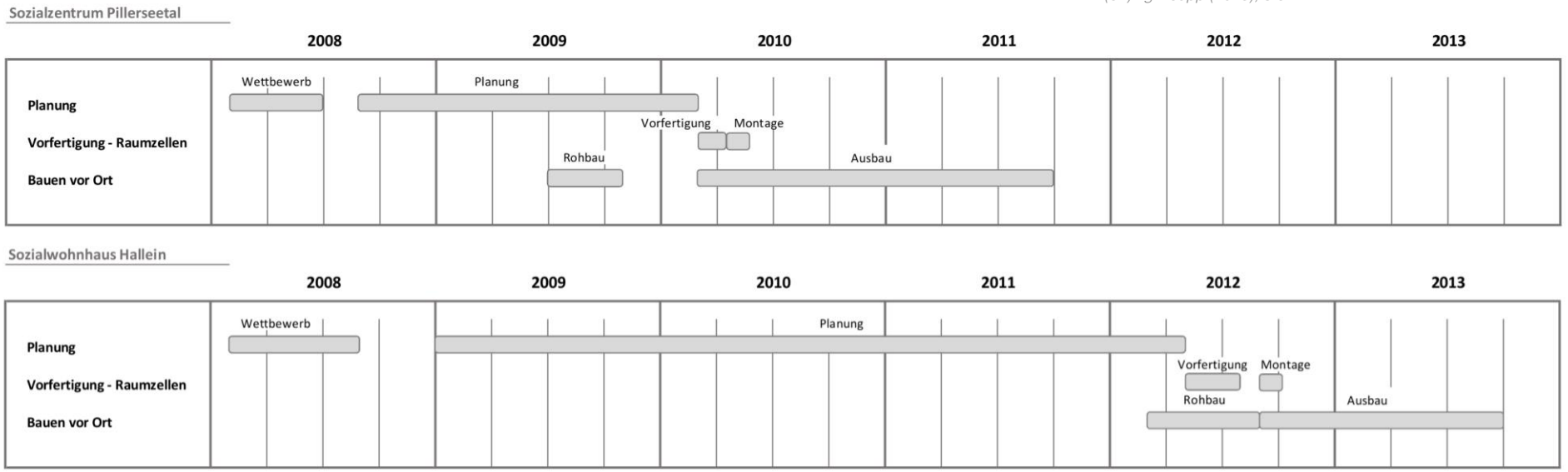


ABB 5.65: Zeitpläne – Sozialzentrum Pillerseetal, Seniorenwohnheim Hallein

5_6_5_ Kostenmanagement

Die am Projektanfang stattfindende Analyse der möglichen Bauweisen erzeugt nur wenige Kosten, da in dieser Phase fast ausschließlich Planungshonorare anfallen. Die Ergebnisse haben jedoch einen großen Einfluss auf die späteren Bauwerkskosten. Hierbei muss es berücksichtigt werden, dass die Höhe der Planungshonorare oft mit den Baukosten gekoppelt ist und bei einer klassischen Honorierung der Planer kein Interesse hat, die Baukosten zu reduzierten. Aus diesem Grund ist es empfehlenswert ein Bonussystem für die Unterschreitung des Budgets bei gleichbleibender Qualität zu vereinbaren.

Für einen hohen Vorfertigungsgrad ist es notwendig die Planung schon frühzeitig detailliert auszuarbeiten. Diese hat den Vorteil, dass die Kosten sehr genau geschätzt und wegen der ausführlichen Planung und Mengenermittlung Nachforderungen (Claims) reduziert werden können. Spätere Änderungen der vorgefertigten Elemente können zu signifikanten Mehrkosten führen und aus diesem Grund empfiehlt es sich Sonderwünsche generell zu vermeiden.

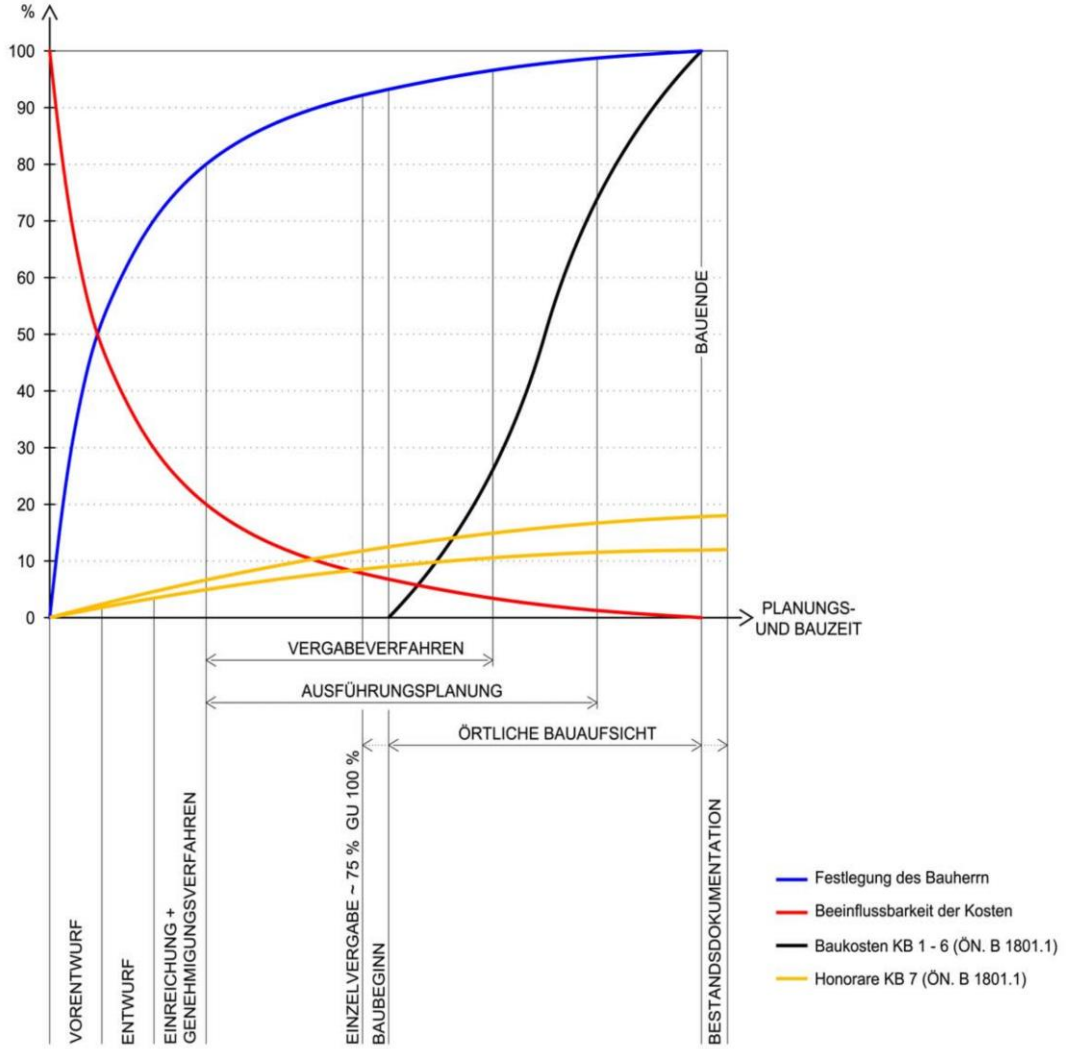


ABB 5.66: Kostenbeeinflussung

5_6_6_ Ausschreibung und Vergabe

Ein wichtiges Thema bei der Brettsperrholzbauweise ist der Mangel an bauwirtschaftlichen, kalkulatorischen Grundlagen und ein standardisiertes, firmenneutrales Leistungsverzeichnis. Die Brettsperrholzbauweise ist eine relativ neue Bauweise mit im Vergleich zu anderen Bauweisen relativ wenigen realisierten Projekten.

Die Brettsperrholzproduktion wird durch firmenspezifischen Zulassung geregelt. Die BSP-Produkte weichen stark u.a. in den Verleimungstechnik, Schichtaufbau und Stärke voneinander ab. Die Hersteller bieten normalerweise spezifischen Musterausschreibungstexte an, aber eine standardisierte und firmenneutrale gibt es noch nicht.

Viele Firmen haben ihr eigenes Bausystem mit BSP entwickelt. Diese Systeme sind oft patentrechtlich geschützt und werden aus diesem Grund nur von der jeweiligen Firma angeboten. Eine funktionale Ausschreibung bietet die ausführenden Firmen die Möglichkeit an, ihr eigenes Bausystem innerhalb definierter Grenzen einzusetzen.

Da die österreichische Holzbaubetriebe eher kleinere Firmen sind, besteht die Gefahr bei größeren Bauprojekten mit hohem Vorfertigungsgrad, dass nicht genügend Angebote vorliegen.

Die Holzbaufirmen werden bei Projekten in Raumzellenbauweise oft als Teilgeneralunternehmer beauftragt, wodurch die Gewährleistung klar definiert wird.

ABB 5.67: Brettsperrholzbau

6_ WEITERENTWICKLUNG

6_1_ *Brettsperrholz*

Seit den ersten Versuche vor ca. dreißig Jahren hat sich Brettsperrholz überraschend schnell entwickelt. Wie die steigenden Produktionsmengen und Anzahl der geplanten und realisierten Projekte zeigen, steigt das Interesse an BSP weiterhin.

Durch die vielen Produzenten und deren wesentlich unterschiedlichen Produkten sind die Brettsperrholzvarianten unübersichtlich geworden. Die in 2014 erschienene, erste, harmonisierte, österreichische Norm (ÖNORM B 1995-1-1) hat sehr viel geholfen um eine bessere Akzeptanz und ein höheres Vertrauen für BSP zu schaffen. Trotzdem gibt es bis heute kein einheitliches Produkt für Brettsperrholz und es werden firmenspezifisch sehr viele Varianten mit unterschiedlichen Aufbau und Schichtstärken produziert. Da nur wenige Architekten und Fachplaner Erfahrung mit BSP haben, ist es schwierig, sie über die Einsetzung von BSP-Elemente zu überzeugen, wenn die Produkte und ihre Eigenschaften nicht, wie bei anderen Baustoffen gewöhnt, standardisiert sind.

Um BSP und auch ihr Herstellungsprozess kontinuierlich zu verbessern und optimalisieren, wird weiterhin viel Geld in die Forschung und Versuche mit BSP-Elementen investiert. Die Forschung hilft nicht nur in der Weiterentwicklung von Brettsperrholzprodukten, sondern bestätigt mit diversen Versuchen die Qualität des Produktes. Dank der Imagekampagne für Holz und der Fachmagazine und Bücher über BSP, ist das Material bekannt geworden. Daher beschäftigen sich immer mehr Firmen mit dem Thema und setzten es in ihren Projekten ein.

ABB 6.1: Brettsperrholz

6_2_ *Brettsperrholzbauweise*

Brettsperrholz konnte sich in der letzten Zeit als Standardbaumaterial in ein- bis dreigeschossigen Wohnbau etablieren. Trotzdem werden nur wenige mehrgeschossige Projekte im Vergleich zu anderen Baustoffen realisiert. Das ist vor allem ein Resultat der bautechnischen Vorschriften, die im Holzbau nicht klar definiert waren.

Die brandschutztechnischen Anforderungen haben für eine lange Zeit die Entwicklungen der mehrgeschossigen Holzbauten in Österreich verhindert. Bis 2015 waren Holzbauten grundsätzlich nur bis zur Gebäudeklasse 4 möglich. Mit der neuen OIB-Richtlinie 2 aus 2015 wurden vor allem die Anforderungen in der Gebäudeklasse 5 bis maximal 22 m Fluchtniveau erleichtert, in dem die Nichtbrennbarkeitsanforderungen bei Gebäuden mit maximal 6 oberirdischen Geschossen teilweise entfallen sind.[1]

Diese neue Anforderung lässt mehr Möglichkeiten für Holzbauten bei mehrgeschossigen Gebäuden zu. Aber da die Brandschutzanforderungen gegen Holzbauten weiterhin sehr streng geblieben sind, führen die erforderlichen Maßnahmen bei Holzbauten in der Gebäudeklasse 5 zu viel Mehrkosten im Bereich Ausbau. Diese Kosten können jedoch bei einer langfristigen wirtschaftlichen Betrachtung mit den höheren Einnahmen durch die zusätzlich geschafften Nutzflächen kompensiert werden.[2]

(1) vgl. Treibinger (2015), S.1
(2) vgl. Zügner (2013), S.225

ABB 6.2: Bauhöheneinschränkungen bei Holzbau in 2009

Aufgrund der guten Brand- und Schalleigenschaften sowie der Tragfähigkeit des Materials und des hohen Vorfertigungsgrades und der trockenen Bauweise ist die Nachfrage nach Brettsperrholz in den letzten Jahren enorm gestiegen. Trotz der vielen Vorteile wird BSP nur bei wenigen mehrgeschossigen Gebäuden eingesetzt und von wenigen Bauherren genutzt, da bei den meisten Planungsbüros die Erfahrung mit der Brettsperrholzbauweise nicht vorhanden ist und diese zu einer Unsicherheit führt.[(3)]

Generell haben Planer mit Stahlbeton- oder Ziegelbauten innerhalb definierter Grenzen die Bieter die Möglichkeit und haben ihre Bürostandards bereits darauf aufgebaut. Obwohl die Anschlussdetails mit BSP im Vergleich zu anderen Holzbauweisen relativ einfach sind, ist durch die Vorfertigung eine andere Denkweise erforderlich. Neben den klassischen Planungsaspekten fließen bereits in den früheren Projektphasen Themen wie Vorfertigung, Transport oder Montage in die Planung ein. Die Planung bei einer Vorfertigung ist beispielsweise im Bezug auf nachträgliche Änderungen weniger flexibel.

Auf der ausführenden Seite sind auch Änderungen für einen verbreiteten Einsatz der Brettsperrholzbauweise erforderlich. Es gibt nur wenige Firmen die sich mit mehrgeschossigem Holzbau beschäftigen. Die Generalunternehmer müssen sich langsam mit Holzbau auseinandersetzen, da der Bedarf ständig steigt. Wegen den wenigen Anbietern ist es immer zweifelhaft, ob ausreichende Angebote eingeholt werden können.

Ein weiterer Bereich, wo Entwicklungen erforderlich sind, um die Brettsperrholzbauweise häufiger anzuwenden, ist die Bauwirtschaft. Es müssen bauwirtschaftliche Grundlagen, wie Datengrundlagen und Bewertungssysteme erarbeitet werden. Beispielsweise muss ein firmenneutrales, standardisiertes Leistungsverzeichnis für BSP erstellt werden.

(3) vgl. proHolz (2016), S.33

ABB 6.3: Brettsperrholzbauweise

6_3_ *Raumzellenbauweise mit Brettsperrholz*

Die Raumzellenbauweise wurde bis jetzt nur bei wenigen Projekten eingesetzt, aber die Anzahl der Projekte zeigt eine stetige Steigerung. Die Raumzellen bedingen eine modulare Planung, die idealerweise konsequent vom Projektanfang durchgesetzt wird.

Der Vorteil dieser Bauweise liegt in dem hohen Vorfertigungsgrad. Durch die Verlagerung der Produktion in einer witterungsgeschützten Halle, können die Arbeiten ununterbrochen unter kontrollierten und besseren Arbeitsbedingungen effektiver und mit einer höheren Qualität durchgeführt werden.

Raumzellen werden üblicherweise projektspezifisch seriell produziert, die sich lt. Christian Kaufmann erst ab ca. 30 bis 40 gleiche Raummodule rechnen.(4) Die Kalkulation der Leistungen ist für Architekten schwierig, da es nur wenige Referenzprojekten gibt, die auch nicht unbedingt miteinander vergleichbar sind. Raumzellen werden nur von wenigen Firmen österreichweit produziert und es stellt ein Risiko dar, ob ausreichend Angebote eingeholt werden können.

(4) vgl. Isopp (2013), S.8f

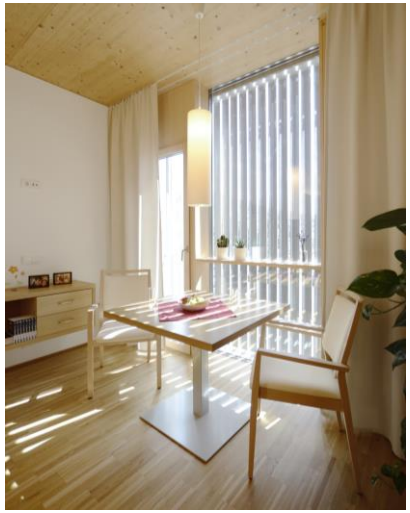


ABB 6.4: Raumzelle -Seniorenwohnhaus Hallein

Die modulare Planung eignet sich nicht für alle Planungsaufgaben, da die Gestaltungsfreiheit dadurch eingeschränkt wird. Raummodule werden bei Gebäuden mit wiederholenden Räumen, wie Hotels oder Wohnheime, eingesetzt. Solche Gebäude wurden im Rahmen dieser Arbeit analysiert.

Neben den klassischen Raumzellen, wo das Modul ein Raum oder ein Raum inkl. Nasszelle bildet, sind in der letzten Zeit viele Alterativen erschienen. Ein Modul kann sogar eine komplette, kleine Wohneinheit bilden. Diese ist aber selten der Fall, da die Größe des Moduls durch die Transportmöglichkeiten eingeschränkt ist und üblicherweise eher in kleinere Einheiten gegliedert wird.

Durch die Nebeneinanderreihung von seitlich offenen Modulen können größere Räume, wie Büros oder Klassenzimmer in Modulbauweise gebaut werden. In diesem Fall stimmt die Lage der Trennfuge mit der Raumtrennung nicht überein und kann nur ein niedriger Vorfertigungsgrad erreicht werden.[5]

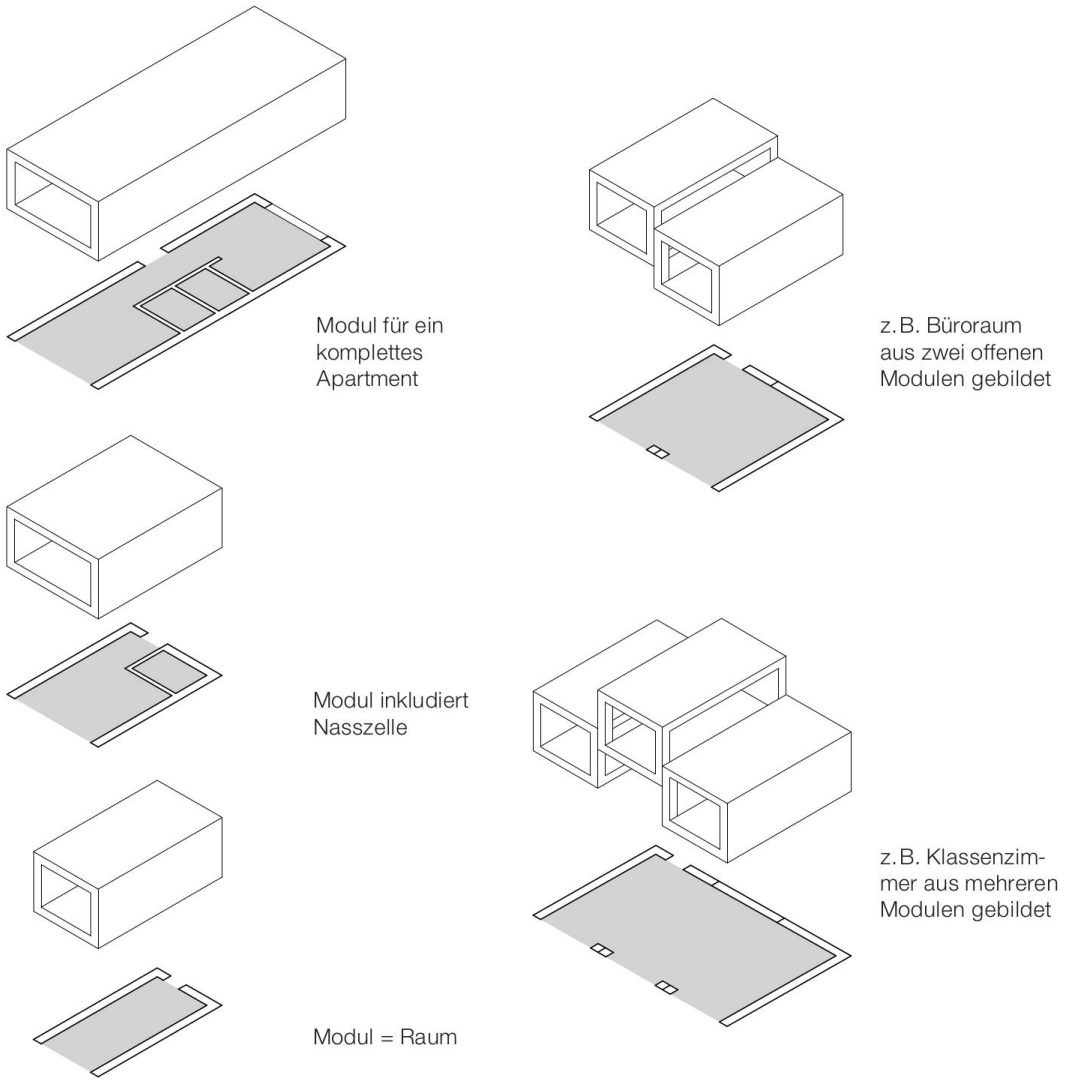
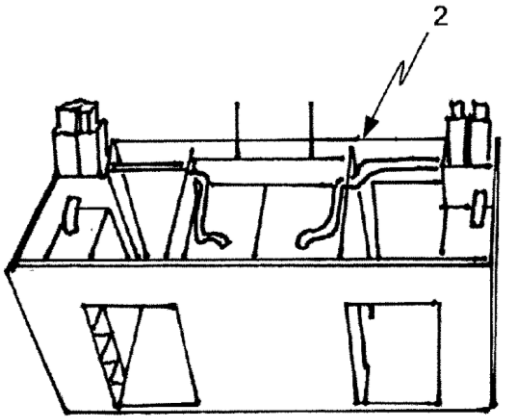


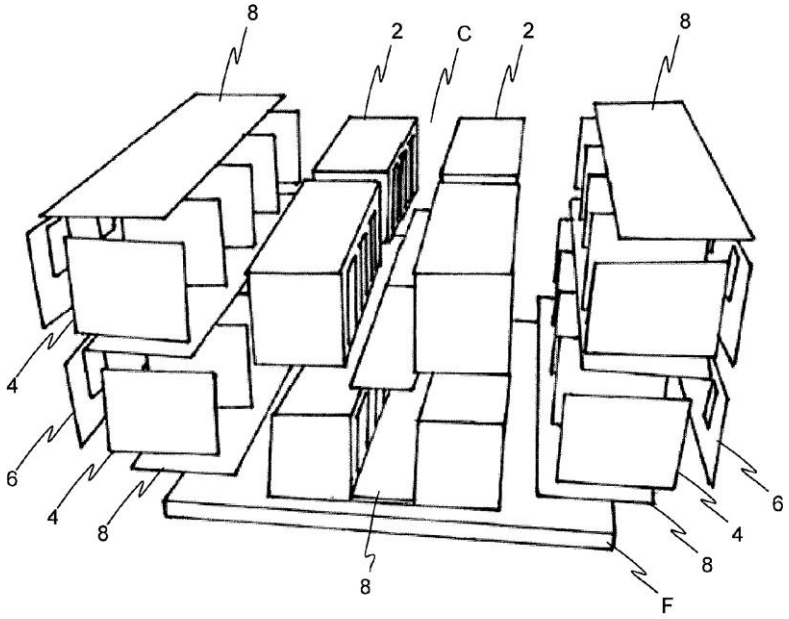
ABB 6.5: Modulvarianten

Vorgefertigte Nasszellen ermöglichen die Vorteile der vorgefertigten Module und die Gestaltungsfreiheit gleichzeitig zu genießen. Mit der Anwendung vorgefertigten Badezimmern können zeitintensive Ausbauarbeiten auf der Baustelle gespart und die Module als Normaltransporte auf die Baustelle geliefert werden. Die weiteren Räume können mit beliebiger Geometrie in Tafelbauweise vor Ort errichtet werden.

(5) vgl. Huß (2017), S.146
(6) vgl. Malakauskas u.a. (2013), S.1-45

Ein ähnliches, patentiertes Bausystem wurde bei Hotel Moxy in Wien und weiteren europäischen Hotels der Hotelkette Marriott eingesetzt. Das Gebäude wurde in Zonen gegliedert. Die Zonen Vorraum, Kochnische und Badezimmer inkl. Haustechnikschacht wurden als ein Modul für zwei Zimmer vorgefertigt und die restlichen Flächen, wie Hotelzimmer und Gangbereich in Tafelbauweise mit BSP errichtet. Dieses System hat eine kurze Bauzeit ermöglicht.[6]





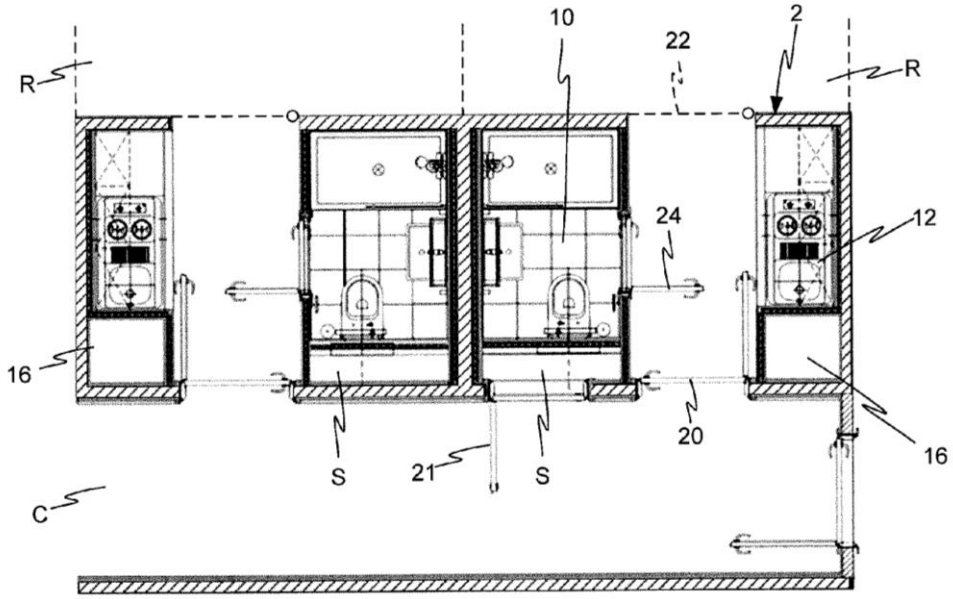
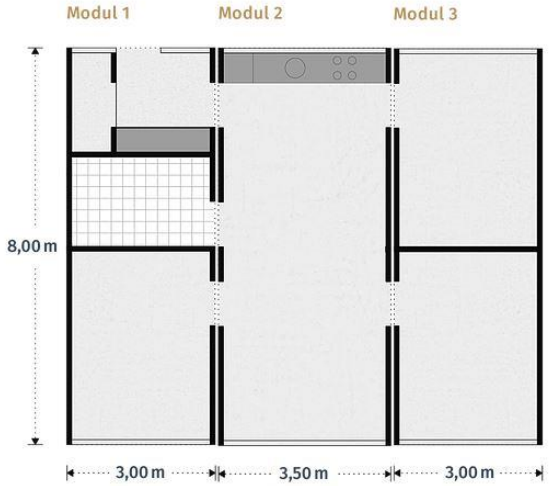


ABB 6.6: patentiertes Bausystem – Hotel Moxy

Obwohl die österreichische Fertighausindustrie sehr stark repräsentiert ist, gab es für eine lange Zeit keine standardisierten Bausysteme mit Brettsperrholz, wo dreidimensionale Module eingesetzt werden. Die Raumzellen wurden projektspezifisch geplant und in den gewünschten Mengen produziert. Die ersten Brettsperrholzbausysteme mit Einsatz von Raumzellen kommen erst jetzt auf den österreichischen Markt.

(7) vgl. www.holzbauaustria.at (27.10.2018)

Kaufmann Bausysteme hat in 2018 die Gesellschaft „purelivin" mit dem vorarlberger Immobilienentwickler ZIMA gegründet, die ein System für modulare, mehrgeschossige Wohnbauten anbietet. Durch die Kombination von drei Grundmodulen aus BSP können Gebäuden mit Zwei-, Drei- und Vierzimmerwohnungen geplant werden.(7) Eine andere Firma, die sich mit BSP beschäftigt, plant gerade ein Bausystem mit vorgefertigten Nasszellen und Technikmodulen für mehrgeschossige Wohnbauten.



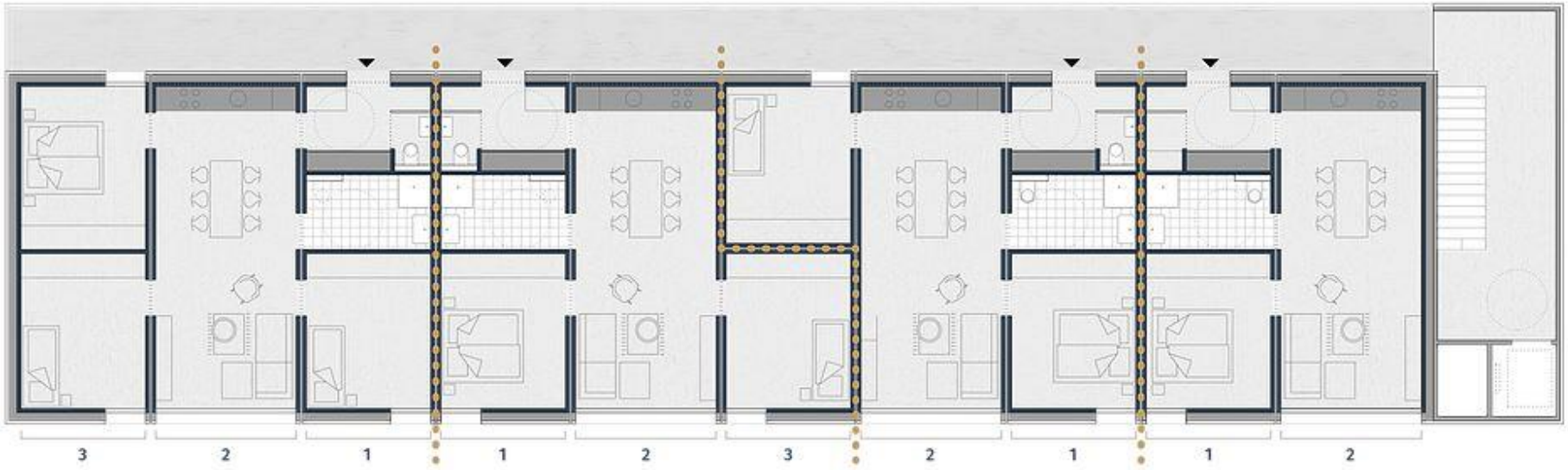


ABB 6.7: purelivin – modulares Bausystem für Wohnbauten

Die Größe der Module wird projektspezifisch im Laufe der Planung bestimmt. Der Ort der Vorfertigung hängt vom beauftragten Hersteller der Raumzellen und ihre Produktionsstandorte ab. Beispielsweise werden die erwähnten Module für die europäischer Moxy Hotels alle in Italien vorgefertigt und das obwohl die eingesetzten Brettsperrholzelemente aus Österreich stammen. Obwohl die Transportkosten auch bei größeren Distanzen nur einen kleinen Teil der Bauwerkkosten ergeben, können die Genehmigungen der Transportwege bei größeren Modulen problematisch werden.

Bei überdimensionierten Raumzellen, wo Sondertransporte erforderlich sind, findet idealerweise die Produktion in der Nähe der Baustelle statt, um die Transportwege möglichst kurz zu halten. Beim Seniorenwohnhaus Hallein hat Kaufmann Bausysteme, die in Reuthe, Vorarlberg sitzt, eine Halle in Kalwang, in der Nähe vom Brettsperrholzhersteller für die Produktionszeit angemietet. Somit müssten die BSP-Elemente nicht zuerst von der Steiermark nach Vorarlberg und dann die Raumzellen von Vorarlberg durch Deutschland nach Salzburg transportiert werden.[(8)]

Als Feldfabrik wird generell der Produktionsstandort von Betonfertigteile auf der Baustelle bezeichnet. Gleichfalls könnten die Elemente einer Raumzelle neben der Baustelle oder in einer nahliegenden angemieteten Halle mit eingerichteter Fertigungsstraße zusammengestellt werden. Durch solche Maßnahmen könnten in der Zukunft ferner liegende Raumzellenhersteller auch bei Großprojekten wettbewerbsfähig anbieten und die Konkurrenz erhöhen.

(8) zur Verfügung gestellte Informationen über die Referenzprojekte

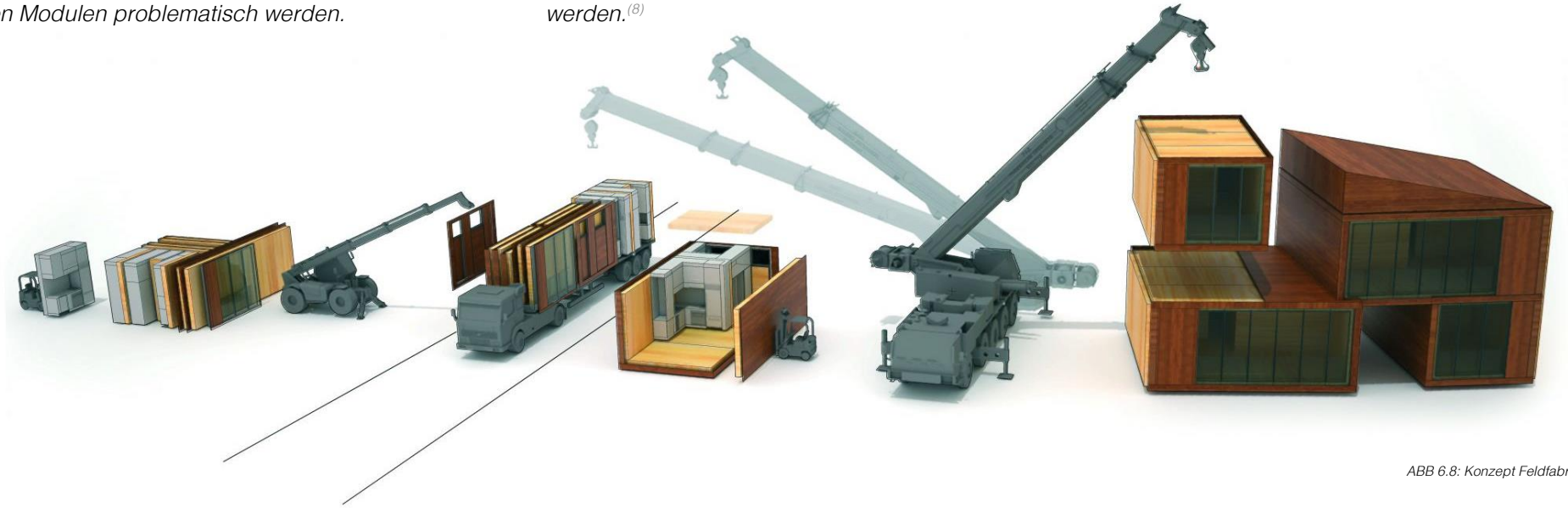


ABB 6.8: Konzept Feldfabrik

7_ VERZEICHNISSE

7_1_ *Literaturverzeichnis*

1_HOLZBAU IN ÖSTERREICH

1 *https://data.worldbank.org/indicor/AG.LND.FRST.ZS?end=2015&start=1990&view=chart (20.11.2017)*

2 *V. Sebauer: Wald in der EU, in: Zuschnitt, 51 (2013), S.15-17*

3 *M. Höbarth: Holzzahlen Vorrat, Verbreitung und Aufkommen von Baumarten in Österreich, in: Zuschnitt, 23 (2006), S.10-12*

4 *https://www.holzistgenial.at/blog/10-fakten-zum-wald-in-oesterreich/ (20.11.2017)*

5 *https://austria-forum.org/af/AEIOU/ Wald%2C_in_%C3%96sterreich (20.11.2017)*

6 *M. Höbarth: Holzzahlen Vorrat, Verbreitung und Aufkommen von Baumarten in Österreich, in: Zuschnitt, 23 (2006), S.10-12*

7 *https://www.holzistgenial.at/blog/10-fakten-zum-wald-in-oesterreich/ (20.11.2017)*

8 *http://bfw.ac.at/050/pdf/Oesterreichs-Wald-BFW-120416.pdf (20.11.2017)*

9 *WKO; Fachverband der Holzindustrie Österreichs: Branchenbericht: Auf Holz klopfen, 2017, S.20, https://www.wko.at/branchen/industrie/holzindustrie/branchenbericht-2016-2017.pdf (20.01.2018)*

10 *https://www.wko.at/branchen/industrie/holzindustrie/Zahlen_Fakten.html (20.01.2018)*

11 *http://www.proholz.at/wald-holz/wald-in-zahlen/ (22.01.2018)*

12 *https://www.holzistgenial.at/blog/fichte-tanne-buche-co/ (22.01.2018)*

13 *M. Höbarth: Holzzahlen Vorrat, Verbreitung und Aufkommen von Baumarten in Österreich, in: Zuschnitt, 23 (2006), S.10-12*

14 *WKO; Fachverband der Holzindustrie Österreichs: Branchenbericht: Auf Holz klopfen, 2017, S. 30, https://www.wko.at/branchen/industrie/holzindustrie/branchenbericht-2016-2017.pdf (20.01.2018)*

15 *http://www.austria-export.biz/branchen/holz-industrie-343572 (22.01.2018)*

2_ BRETTSPERRHOLZ

1 ÖNORM B 1995-1-1:2014 Anhang K

2 DI Dr. M. Wallner-Novak; DI J. Koppelhuber; DI K. Pock: Brettsperrholzbemessung, Grundlagen für Statik und Konstruktion nach Eurocode, in: proHolz Austria (Hrsg.), 2013, S.10

3 A. Neumüller: Harmonisierte Norm für Brettsperrholz, in: 16. Internationales Holzbau-Forum 10 (2010), S.1ff

4 A. Isopp: „Die heutigen Dimensionen im Geschosswohnbau haben wir damals nicht einmal zu denken gewagt" Gerhard Schickhofer, Wegbereiter des Brettsperrholzes, im Gespräch, in: Zuschnitt, 60 (2015), S.18f

5 A. Isopp: „Die heutigen Dimensionen im Geschosswohnbau haben wir damals nicht einmal zu denken gewagt" Gerhard Schickhofer, Wegbereiter des Brettsperrholzes, im Gespräch, in: Zuschnitt, 60 (2015), S.18f

6 G. Schickhofer: Produktportrait, Die Holzmassivbauweise am Beispiel von Brettsperrholz, in: Zuschnitt, 6 (2002), S.23

7 E. Guttmann: Editorial, in: Zuschnitt, 31 (2008), S.3

8 A. Neumüller: Harmonisierte Norm für Brettsperrholz, in: 16. Internationales Holzbau-Forum 10 (2010), S.1-7

9 http://www.klh.at/download/permission/ (05.02.2018)

10 o.V: Herstellerverzeichnis, (2018), S.7, https://www.brettsperrholz.org/publish/binarydata/pdfs/2018/stghb_bs-holz-herstellerverzeichnis_2018-04_ihb_print_180830.pdf (05.02.2018)

11 o.V: Brettsperrholz-Merkblatt, in: Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. (Hrsg.), 2016, S. 1-6, https://www.brettsperrholz.org/publish/binary-data/pdfs/2016.12_neuauflagen/merkblaetter/stghb_bsp-holz-merkblatt_2016_ihb_print_161109.pdf (05.02.2018)

12 E. Guttmann: Brettsperrholz, Ein Produktporträt, in: Zuschnitt, 31 (2018), S.13

13 A. Neumüller: Harmonisierte Norm für Brettsperrholz, in: 16. Internationales Holzbau-Forum 10 (2010), S.1-7

14 G. Schickhofer: Produktportrait, Die Holzmassivbauweise am Beispiel von Brettsperrholz, in: Zuschnitt, 6 (2002), S.23

15 http://www.brettsperrholz.org/brettsperrholz-bsp-x-lam/herstellung/mn_45176 (06.02.2018)

16 A. Borosnyai; A. Balmus: Produktion von CLT Elementen der Firma Obermayr -Vom Baumstamm zum Endprodukt, 2015, S.1-11

17 E. Guttmann: Brettsperrholz, Ein Produktporträt, in: Zuschnitt, 31 (2018), S.13

18 A. Neumüller: Harmonisierte Norm für Brettsperrholz, in: 16. Internationales Holzbau-Forum 10 (2010), S.1-7

19 *https://www.tugraz.at/forschung/fields-of-expertise/sustainable-systems/holz-im-hochbau-natur-trifft-hightech/ (07.02.2018)*

20 *P. Mestek; N. Werther; S. Winter: Bauen mit Brettsperrholz, Tragende Massivholzelemente für Wand, Decke und Dach; in: Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., 2010, S.3*

21 *W. Zschokkeln: Nachgebohrt, Brettsperrholz aus Sicht der Planer, in: Zuschnitt, 31 (2008), S.18-19*

22 *https://www.holzkurier.com/holzprodukte/2017/11/siegeszug-von-bsp-setzt-sich-fort.html (07.02.2018)*

23 *http://www.holzbauaustria.at/index.php?id=111&tx_ttnews%5Btt_news%5D=6909&cHash=95f0f90c3d775bfbfd7b1fb9d512a1c1 (07.02.2018)*

24 *S. Krötsch; L. Müller: Entwicklung des mehrgeschossigen Holzbaus, in: H. Kaufmann; S. Krötsch; S. Winter: Atlas mehrgeschossiger Holzbau, 1. Auflage, Detail Business Information GmbH, München, 2017, S.13*

3_BAUWEISEN

1 *U. Dangel: Nachhaltige Architektur in Vorarlberg, Energiekonzepte und Konstruktionen, Birkhäuser Verlag, Basel, 2010, S.76*

2 *http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/faepites-faepites/ch03s02.html (13.02.2018)*

3 *U. Dangel: Nachhaltige Architektur in Vorarlberg, Energiekonzepte und Konstruktionen, Birkhäuser Verlag, Basel, 2010, S.84*

4 *S. Winter; F. Lattke: Historische Entwicklung der Holzwand, in: Zuschnitt, 43 (2011), S.14-15*

5 *L. Macha: Historische Entwicklung und Systeme des Holzbaus, in: Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V. (Hrsg.), Moderner Holzhausbau in Fertigbauweise, Bad Honnef, 2001, S.40*

6 *U. Knaack; S. Chung-Klatte; R. Hasselbach: Systembau, Prinzipen der Konstruktion, 2012, S.15-17*

7 *U. Dangel: Nachhaltige Architektur in Vorarlberg, Energiekonzepte und Konstruktionen, Birkhäuser Verlag, Basel, 2010, S.77*

8 *S. Winter; F. Lattke: Historische Entwicklung der Holzwand, in: Zuschnitt, 43 (2011), S.14-15*

9 *C. Affentranger: Essay, Vom Blockbau zur Vorfabrikation –Entdeckung der Fläche im Holzbau, in: Zuschnitt, 3 (2001), S.7*

10 *U. Dangel: Nachhaltige Architektur in Vorarlberg, Energiekonzepte und Konstruktionen, Birkhäuser Verlag, Basel, 2010, S. 76-78; 84-89; 120-122*

11 *U. Dangel: Nachhaltige Architektur in Vorarlberg, Energiekonzepte und Konstruktionen, Birkhäuser Verlag, Basel, 2010, S. 76-78; 84-89; 120-122*

12 *S. Winter; F. Lattke: Historische Entwicklung der Holzwand, in: Zuschnitt, 43 (2011), S.14-15*

13 *L. Macha: Historische Entwicklung und Systeme des Holzbaus, in: Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V. (Hrsg.), Moderner Holzhausbau in Fertigbauweise, Bad Honnef, 2001, S.41*

14 *H.Priebernig: Hochbau 1 – Konstruktionen, Grafisches Zentrum HTU, Wien, 2006, S08.25*

15 *Josef Kolb: Holzbau mit System, Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile, Zürich, München, 2007, S.41-45*

16 *H. Landsberg; S. Pinkau: Holzsysteme für den Hochbau; Grundlagen, Systeme, Beispiele; W. Kohlhammer, Stuttgart, 1999, S.20*

17 *G. Schickhofer: Produktportrait, Die Holzmassivbauweise am Beispiel von Brettsperrholz, Zuschnitt, 6 (2002), S.23*

18 *A. Pech u.a.:, Holz im Hochbau, Theorie und Praxis, Birkhäuser Verlag GmbH, Basel, 2016, S.134*

19 *L. Macha: Historische Entwicklung und Systeme des Holzbaus, in: Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V. (Hrsg.), Moderner Holzhausbau in Fertigbauweise, Bad Honnef, 2001, S.32-61*

20 *U. Dangel: Wendepunkt im Holzbau, Birkhäuser, Austin, Texas, 2016, S84-89*

21 *L. Macha: Historische Entwicklung und Systeme des Holzbaus, in: Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V. (Hrsg.), Moderner Holzhausbau in Fertigbauweise, Bad Honnef, 2001, S.32-61*

22 *U. Dangel: Wendepunkt im Holzbau, Birkhäuser, Austin, Texas, 2016, S84-89*

23 *W. Winter; Lehrstuhl für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau: Bausysteme Holzbau für Architekten, Stand: Mai 2007, TU Wien, Wien, 2007, S.158*

24 *L. Macha: Historische Entwicklung und Systeme des Holzbaus, in: Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V. (Hrsg.), Moderner Holzhausbau in Fertigbauweise, Bad Honnef, 2001, S.32-61*

25 *A. Pech u.a.: Holz im Hochbau, Theorie und Praxis, Birkhäuser Verlag GmbH, Basel, 2016, S.134*

26 *L. Macha: Historische Entwicklung und Systeme des Holzbaus, in: Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V. (Hrsg.), Moderner Holzhausbau in Fertigbauweise, Bad Honnef, 2001, S.32-61*

27 *Josef Kolb: Holzbau mit System, Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile, Zürich, München, 2007, S.122-123*

28 *G. Schickhofer: Produktportrait, Die Holzmassivbauweise am Beispiel von Brettsperrholz, in: Zuschnitt, 6 (2002), S.22-25*

29 *U. Dangel: Wendepunkt im Holzbau, Birkhäuser, Austin, Texas, 2016, S.84-89*

30 *o.V.: Freier Raum – aus Flächen aufgespannt; Einfamilienhaus Johannhöhe, Graz; in: Zuschnitt, 6 (2002), S.20*

31 *http://exparch-www.uibk.ac.at/index.php/Datei:Holzbauweisen.jpg (22.02.2018)*

32 *A. Pech u.a.:, Holz im Hochbau, Theorie und Praxis, Birkhäuser Verlag GmbH, Basel, 2016, S.133-134*

33 *H. Landsberg; S. Pinkau: Holzsysteme für den Hochbau; Grundlagen, Systeme, Beispiele; W. Kohlhammer, Stuttgart, 1999, S.10*

34 H. Kaufmann: Essay, Der andere Bauprozess, in: Zuschnitt 50 (2013), S.4-5

35 U. Dangel: Wendepunkt im Holzbau, Birkhäuser, Austin, Texas, 2016, S.115

4_REFERENZPROJEKTE

1 o.V.: Projektmappe Mineroom Leoben, Weissenseer, Greifenburg, 2017, S. 8

2 https://www.nextroom.at/buiding.php?id=38429&sid=42574 (08.04.2018)

3 http://www.architekturwettbewerb.at/data/media/med_binary/original/1217399041.pdf (08.04.2018)

4 A.Borosnyai: Projektanalyse Sozialzentrum Pillerseetal, TU Wien Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau, 2014, S. 20-25

5 http://www.hallein.gv.at/Seniorenwohnhaus_Hallein (10.04.2018)

5_TAFEL- UND RAUMZELLENBAUWEISE MIT BRETTSPERRHOLZ

1 S. Winter; F. Lattke: Historische Entwicklung der Holzwand, in: Zuschnitt 43 (2011), S.14

2 P. Mestek; N. Werther; S. Winter: Bauen mit Brettsperrholz, Tragende Massivholzelemente für Wand, Decke und Dach; in: Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., 2010, S.3

3 G. Schickhofer: Produktportrait, Die Holzmassivbauweise am Beispiel von Brettsperrholz, in: Zuschnitt, 6 (2002), S.23ff

4 I. Dederich; J.Koch: Informationsdienst Holz, Holzkonstruktionen in Mischbauweisen, Reihe 1, Teil 1, Folge 5, Holzabsatzfonds, Bonn, 2006, S.14-17

5 U. Dangel: Wendepunkt im Holzbau, Birkhäuser, Austin, Texas, 2016, S.88

5_1_VORFERTIGUNG

6 C. Affentranger: Essay, Vom Blockbau zur Vorfabrikation –Entdeckung der Fläche im Holzbau, in: Zuschnitt, 3 (2001), S.7

7 C. Gunßer: Essay, Schnelles Haus – schönes Haus? Vorfertigung und Akzeptanz, in: Zuschnitt, 6 (2002), S.5-7

8 U. Knaack; S. Chung-Klatte; R. Hasselbach: Systembau, Prinzipen der Konstruktion, 2012, S.85

9 K. Albers u.a.: Moderner Holzhausbau in Fertigbauweise, 1. Auflage, WEKA MEDIA, Kissing, 2001, S.62f

10 H. Landsberg; S. Pinkau: Holzsysteme für den Hochbau; Grundlagen, Systeme, Beispiele; W. Kohlhammer, Stuttgart, 1999, S.16

11 *U. Dangel: Wendepunkt im Holzbau, Birkhäuser, Austin, Texas, 2016, S.114ff*

12 *A. Isopp: Nachgefragt, Welches Potenzial steckt in der Vorfertigung?, in: Zuschnitt, 50 (2013), S.16f*

13 *W. Huß: Vorfertigung, in: H. Kaufmann; S. Krötsch; S. Winter: Atlas mehrgeschossiger Holzbau, 1. Auflage, Detail Business Information GmbH, München, 2017, S.142ff*

14 *U. Knaack; S. Chung-Klatte; R. Hasselbach: Systembau, Prinzipen der Konstruktion, 2012, S.46*

15 *J. Kolb: Holzbau mit System, Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile, Zürich, München, 2007, S.49*

16 *H. Landsberg; S. Pinkau: Holzsysteme für den Hochbau; Grundlagen, Systeme, Beispiele; W. Kohlhammer, Stuttgart, 1999, S.20*

17 *U. Dangel: Wendepunkt im Holzbau, Birkhäuser, Austin, Texas, 2016, S.115*

18 *U. Knaack; S. Chung-Klatte; R. Hasselbach: Systembau, Prinzipen der Konstruktion, 2012, S.85-87*

19 *J. Kolb: Holzbau mit System, Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile, Zürich, München, 2007, S. 45-49*

20 *A. Pech u.a.: Holz im Hochbau, Theorie und Praxis, Birkhäuser Verlag GmbH, Basel, 2016, S.279*

21 *W. Winter u.a.: Holzbauweisen für den verdichteten Wohnbau, Grundlagenstudie, Endbericht, in: Nachhaltig Wirtschaften konkret, Wien, 2001, S.10*

22 *o.V.: Stora Enso Building and Living, Building Solutions, Stora Enso, 2012 S. 305-311, http://forumholzbau.com/pfd_down_docs/Stora_Enso_Building_solutions_CLT_04_2012_low.pdf (07.02.2018)*

23 *A. Pech u.a.:, Holz im Hochbau, Theorie und Praxis, Birkhäuser Verlag GmbH, Basel, 2016, S.283*

24 *U. Knaack; S. Chung-Klatte; R. Hasselbach: Systembau, Prinzipen der Konstruktion, 2012, S.48*

25 *W. Huß: Vorfertigung, in: H. Kaufmann; S. Krötsch; S. Winter: Atlas mehrgeschossiger Holzbau, 1. Auflage, Detail Business Information GmbH, München, 2017, S.146f*

26 *A. Isopp: Wohnen in Massivholzboxen, Seniorenwohnhaus in Hallein, in: Zuschnitt, 50 (2013), S.8f*

27 *Die Quellen dieser Daten werden aus datenschutzrechtlichen Gründen an dieser Stelle nicht veröffentlicht. Dem Verfasser dieser Arbeit liegen diese schriftlich vor.*

28 *K. Albers u.a.: Moderner Holzhausbau in Fertigbauweise, 1. Auflage, WEKA MEDIA, Kissing, 2001, S.59*

29 *Die Quellen dieser Daten werden aus datenschutzrechtlichen Gründen an dieser Stelle nicht veröffentlicht. Dem Verfasser dieser Arbeit liegen diese schriftlich vor.*

30 G. Wegener; B. Zimmer: Bauen mit Holz ist zukunftsfähiges Bauen, in: T. Herzog u.a.: Holzbau Atlas, vierte Auflage, Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, München, 2003, S.47

31 A. Hafner; H. König: Lebenszyklusanalyse, in: H. Kaufmann; S. Krötsch; S. Winter: Atlas mehrgeschossiger Holzbau, 1. Auflage, Detail Business Information GmbH, München, 2017, S.24

32 D. Walberg u.a.: Massiv- und Holzbau bei Wohngebäuden, Vergleich von massiven Bauweisen mit Holzfertigbauten aus kostenseitiger, bautechnischer und nachhaltiger Sicht, Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. (Hrgb.), Kiel, 2015, S.12

33 o.V.: Massiv. Innovativ. Geprüft., Handbuch Massivholzbau, 1. Auflage, Binderholz & Saint-Gobain RIGIPS Austria GmbH, 2010, S.15, https://www.binderholz.com/fileadmin/PDF/Services_Kontakt/Videos_Download/Prospekte/MHP-web-D.pdf (06.05.2018)

34 U. Dangel: Wendepunkt im Holzbau, Birkhäuser, Austin, Texas, 2016, S.50

35 https://www.holzistgenial.at/blog/10-fakten-zum-wald-in-oesterreich/ (06.05.2018)

36 https://www.ibp.fraunhofer.de/de/Kompetenzen/ganzheitliche-bilanzierung/Angewandte-Methoden/Oekobilanzierung.html (03.06.2018)

37 http://www.baubook.at/m/Daten/Bilder/Infos/k4_OI3_Einfuehrung.pdf (10.06.2018)

38 C. Armbruster u.a.: Bauen mit Holz in Oberösterreich, 1. Auflage, proHolz Oberösterreich, Linz, 2011, S.49

39 N. Becker: Ressourceneffizienz der Tragwerke, 2. Auflage, VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH, Berlin, 2014, S.7-11

40 https://www.holzistgenial.at/blog/kreislaufwerkstoff-warum-holz-in-der-oekobilanz-ueberzeugt/ (26.08.2018)

41 https://www.holzistgenial.at/blog/im-wald-waechst-unser-rohstoff-nummer-1/ (26.08.2018)

42 WKO: Branchenbericht: Auf Holz klopfen, 2017, S. 20, https://www.wko.at/branchen/industrie/holzindustrie/branchenbericht-2016-2017.pdf (20.01.2018)

43 U. Dangel: Wendepunkt im Holzbau, Birkhäuser, Austin, Texas, 2016, S.54

44 A. Isopp: „Die heutigen Dimensionen im Geschosswohnbau haben wir damals nicht einmal zu denken gewagt“ Gerhard Schickhofer, Wegbereiter des Brettsperrholzes, im Gespräch, in: Zuschnitt, 60 (2015), S.18

45 https://www.holzkurier.com/holzprodukte/2017/11/siegeszug-von-bsp-setzt-sich-fort.htm (28.08.2018)

46 https://www.holzkurier.com/holzprodukte/2017/07/brettsperrholz-produktion-100-km-radius---2016-2020.html (28.08.2018)

47 *o.V.: Massiv. Innovativ. Geprüft., Handbuch Massivholzbau, 1. Auflage, Binderholz & Saint-Gobain RIGIPS Austria GmbH, 2010, S.16, https://www.binderholz.com/fileadmin/PDF/Services_Kontakt/Videos_Download/Prospekte/MHP-web-D.pdf (06.05.2018)*

48 *A. Teischinger; u.a.: Erhebung der Holzbauanteils aller österreichischen Bauvorhaben, proHolz Austria, 2015, S. 1-17, http://www.proholz.at/fileadmin/proholz/media/presse/150924_PK_Vortrag_Teischinger_14Folien.pdf (28.08.2018*

49 *A. Hafner; H. König: Lebenszyklusanalyse, in: H. Kaufmann; S. Krötsch; S. Winter: Atlas mehrgeschossiger Holzbau, 1. Auflage, Detail Business Information GmbH, München, 2017, S.27*

50 *U. Dangel: Wendepunkt im Holzbau, Birkhäuser, Austin, Texas, 2016, S.58*

51 *https://www.kleinezeitung.at/zuhause/architektur/5103268/NEUEROeFFNUNG_Ein-neues-Passivhaus-aus-Holz-fuer-Studenten?fbclid=IwAR0r83OAOoqBrXajuf79eCrwPMTUEkBfAAeKMScItF0i4QMJ-yAnPKQI0AI (31.08.2018)*

5_3_TRANSPORT

52 *U. Dangel: Wendepunkt im Holzbau, Birkhäuser, Austin, Texas, 2016, S.76*

53 *WKO: Branchenbericht: Auf Holz klopfen, 2017, S. 20, https://www.wko.at/branchen/industrie/holzindustrie/branchenbericht-2016-2017.pdf (Gelesen am: 20.01.2018)*

54 *https://www.holzkurier.com/holzprodukte/2017/07/brettsperrholz-produktion-100-km-radius---2016-2020.html (01.09.2018)*

55 *https://www.holzkurier.com/holzbau/2016/10/_ja_in_drei_monaten.html (01.09.2018)*

56 *C. Armbruster u.a.: Bauen mit Holz in Oberösterreich, 1. Auflage, proHolz Oberösterreich , Linz, 2011, S.10F*

57 *Kraftfahrgesetz 1967; https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10011384 (30.08.2018)*

58 *o.V.: Stora Enso Building and Living, Building Solutions, Stora Enso, 2012, S. 296-297, http://forumholzbau.com/pfd_down_docs/Stora_Enso_Building_solutions_CLT_04_2012_low.pdf (07.02.2018)*

59 *o.V.: Novatop Solid, Technische Dokumentation, Novatop, o.J., S. 22, http://forumholzbau.com/pfd_down_docs/Novatop_SOLID.pdf (30.08.2018)*

60 *A. Pech u.a.:, Holz im Hochbau, Theorie und Praxis, Birkhäuser Verlag GmbH, Basel, 2016, S.287f*

61 *M. Novotny: Studentenwohnen auf Zeit Schnell einsetzbare Module aus Holz, in: Zuschnitt, 62 (2016), S.19*

62 *o.V.: MM crosslam, Brettsperrholz (BSP), Mayr Melnhof Holz, 2016, S. 13, http://www.mm-holz.com/fileadmin/user_upload/Downloads/Folder/Neu_2016/MM-crosslam_2015_Nichttechniker_7b_WEB.pdf (22.09.2018)*

5_4_TERMINE

63 H. Kaufmann; S. Krötsch; S. Winter: Atlas mehrgeschossiger Holzbau, 1. Auflage, Detail Business Information GmbH, München, 2017, S.130

64 A. Pech u.a.:, Holz im Hochbau, Theorie und Praxis, Birkhäuser Verlag GmbH, Basel, 2016, S.290f

65 https://www.holzkurier.com/holzprodukte/2017/11/siegeszug-von-bsp-setzt-sich-fort.html (13.10.2018)

66 Die Quellen dieser Daten werden aus datenschutzrechtlichen Gründen an dieser Stelle nicht veröffentlicht. Dem Verfasser dieser Arbeit liegen diese schriftlich vor.

67 Die Quellen dieser Daten werden aus datenschutzrechtlichen Gründen an dieser Stelle nicht veröffentlicht. Dem Verfasser dieser Arbeit liegen diese schriftlich vor.

68 W. Eder: Bauablaufanalyse von großvolumigen Holzwohnbauten mit speziellem Fokus auf Aufwands- und Leistungswertermittlung, Graz, Technische Universität, Masterarbeit, 2014, S143

5_5_KOSTEN

69 G. Girmscheid: Bauunternehmermanagement- prozessorientiert Band 2, Operative Leistungserstellungs- und Supportprozesse, 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2014, S.3f

70 W. Winter: Mehrgeschossiger Holzbau, TU Wien Institut für Architekturwissenschaften Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau, Symposium Wirtschaftsforum Waldviertel, 2017, S. 12, https://www.forstholzpapier.at/images/aktuelles/2017/120117_PPP_Winter.pdf

71 Die Quellen dieser Daten werden aus datenschutzrechtlichen Gründen an dieser Stelle nicht veröffentlicht. Dem Verfasser dieser Arbeit liegen diese schriftlich vor.

72 G. Schickhofer: Produktportrait, Die Holzmassivbauweise am Beispiel von Brettsperrholz, in: Zuschnitt, 6 (2002), S.23

73 Die Quellen dieser Daten werden aus datenschutzrechtlichen Gründen an dieser Stelle nicht veröffentlicht. Dem Verfasser dieser Arbeit liegen diese schriftlich vor.

74 Die Quellen dieser Daten werden aus datenschutzrechtlichen Gründen an dieser Stelle nicht veröffentlicht. Dem Verfasser dieser Arbeit liegen diese schriftlich vor.

75 D. Zügner: Die Holz-Massivbauweise im mehrgeschossigen Wohnbau, Ein kalkulatorischer Vergleich zur mineralischen Massivbauweise, Masterarbeit, Technische Universität Graz, 2013, S.114-227

76 W. Huß: Vorfertigung, in: H. Kaufmann; S. Krötsch; S. Winter: Atlas mehrgeschossiger Holzbau, 1. Auflage, Detail Business Information GmbH, München, 2017, S.143

77 C. Kaufmann: Bauen in 3D, Modulares Bauen in neuen Ansätzen und Massstäben, in: 18. Internationales Holzbau-Forum, 2012, S. 1-8

5_6_PROJEKTENTWICKLUNG

78 OIB Richtlinie 2 „Brandschutz“, Österreichische Institut für Bautechnik, 2015, S. 1-19

79 M. Treibinger: Brandschutzvorschriften in Österreich, Anforderungen nach OIB-Richtlinie 2, in: Zuschnitt Attachment – Sonderthemen im Bereich Holz, Holzwerkstoff und Holzbau, proHolz Austria, 3. veränderte Auflage, 2015, S.1-18

80 G. Schickhofer: Produktportrait, Die Holzmassivbauweise am Beispiel von Brettsperrholz, in: Zuschnitt, 6 (2002), S.23-25

81 A. Pech u.a.: Holz im Hochbau, Theorie und Praxis, Birkhäuser Verlag GmbH, Basel, 2016, S.288

82 A. Isopp: Wohnen in Massivholzboxen, Seniorenwohnhaus in Hallein, in: Zuschnitt, 50 (2013), S.8f

83 Die Quellen dieser Daten werden aus datenschutzrechtlichen Gründen an dieser Stelle nicht veröffentlicht. Dem Verfasser dieser Arbeit liegen diese schriftlich vor.

84 D. Zügner: Die Holz-Massivbauweise im mehrgeschossigen Wohnbau, Ein kalkulatorischer Vergleich zur mineralischen Massivbauweise, Masterarbeit, Technische Universität Graz, 2013, S.148-227

1 M. Treibinger: Brandschutzvorschriften in Österreich, Anforderungen nach OIB-Richtlinie 2, in: Zuschnitt Attachment – Sonderthemen im Bereich Holz, Holzwerkstoff und Holzbau, proHolz Austria, 3. veränderte Auflage, 2015, S.1

2 D. Zügner: Die Holz-Massivbauweise im mehrgeschossigen Wohnbau, Ein kalkulatorischer Vergleich zur mineralischen Massivbauweise, Masterarbeit, Technische Universität Graz, 2013, S.225

3 o.V.: Desk Research, „Mehrgeschossiger Wohnbau mit Holz“, proHolz Autria, 2016, S.33, http://www.proholz.at/fileadmin/proholz/media/161020_proHolz_Wohnbau_final.pdf

4 A. Isopp: Wohnen in Massivholzboxen, Seniorenwohnhaus in Hallein, in: Zuschnitt, 50 (2013), S.8f

5 W. Huß: Vorfertigung, in: H. Kaufmann; S. Krötsch; S. Winter: Atlas mehrgeschossiger Holzbau, 1. Auflage, Detail Business Information GmbH, München, 2017, S.146

6 G. Malakauskas; M. Baltramiejunas; H.D. Müller; E.R. Andersson; T. Hattig; S.T. Sodemann; P. Müller: Method and system for construction of a building, EP2617911A1, Europäisches Patentamt, 2013, S.1-45 https://patents.google.com/patent/EP2617911A1/de (31.08.2017)

7 https://www.holzbauaustria.at/index.php?id=357&tx_ttnews%5Btt_news%5D=7547&cHash=972027f679efb20d2e66b8de786e00e4 (27.10.2018)

8 Die Quellen dieser Daten werden aus datenschutzrechtlichen Gründen an dieser Stelle nicht veröffentlicht. Dem Verfasser dieser Arbeit liegen diese schriftlich vor.

7_2_ Abbildungsverzeichnis

1_HOLZBAU IN ÖSTERREICH

ABB 1.1	Wald in der EU	V. Sebauer: Wald in der EU, in: Zuschnitt, 51 (2013), S.15
ABB 1.2	Wald in Österreich	V. Sebauer: Wald in der EU, in: Zuschnitt, 51 (2013), S.16-17
ABB 1.3	Fachverband der Holzindustrie Österreichs, Holzforschung Austria, proHolz	http://www.proholz.at/ (20.01.2018) http://www.holzforschung.at/ (20.01.2018) https://www.wko.at/branchen/industrie/holzindustrie/start.html (20.01.2018)
ABB 1.4	Baumartenverteilung in Österreich	V. Sebauer: Wald in der EU, in: Zuschnitt, 51 (2013), S.16
ABB 1.5	Entwicklung der Waldflächen in Österreich	o.V.: Leistungsbericht, Wertschöpfungskette Holz, Forst Holz Papier, Wien, 2016, S.21

2_ BRETTSPERRHOLZ

ABB 2.1	Bezeichnung von Teilen und Bereichen von Brettsperrholz	DI Dr. M. Wallner-Novak; DI J. Koppelhuber; DI K. Pock: Brettsperrholzbemessung, Grundlagen für Statik und Konstruktion nach Eurocode, in: proHolz Austria (Hrsg.), (2013), S.10
ABB 2.2	Unterschied zwischen Brettsperrholz und Brettstapel/Brettschichtholz	o.V.: Holzdecken, Eine Systemübersicht, in: Zuschnitt, 54 (2014), S.6
ABB 2.3	Brettsperrholzproduzenten mit Zulassung in Österreich 2002	G. Schickhofer: Produktportrait, Die Holzmassivbauweise am Beispiel von Brettsperrholz, in: Zuschnitt, 6 (2002), S.25
ABB 2.4	Brettsperrholzproduzenten mit Zulassung in Österreich 2008	E. Guttmann: Brettsperrholz, Ein Produktporträt, in: Zuschnitt, 31 (2018), S.14-15
ABB 2.5	European Organisation for Technical Assessment	www.eota.eu (05.02.2018)
ABB 2.6	Brettsperrholzproduzenten im Q1 2018	o.V: Herstellerverzeichnis, (2018), S.7, https://www.brettsperrholz.org/publish/binarydata/pdfs/2018/stghb_bs-holz-herstellerverzeichnis_2018-04_ihb_print_180830.pdf (Gelesen am: 05.02.2018)
ABB 2.7	Aufbau einer fünfschichtigen Brettsperrholzplatte	o.V.: Stora Enso Building and Living, Building Solutions, Stora Enso, 2012, S. 6, http://forumholzbau.com/pfd_down_docs/Stora_Enso_Building_solutions_CLT_04_2012_low.pdf (07.02.2018)

ABB 2.8	Brettsperrholzherstellung – Zuschnitt, Trocknung, Sortierung, Keilverzinkung	P. Mestek; N. Werther; S. Winter: Bauen mit Brettsperrholz, Tragende Massivholzelemente für Wand, Decke und Dach; in: Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., 2010, S.6
ABB 2.9	Brettsperrholzherstellung – Flächenklebung, Pressedruck, Abbund und weitere Arbeiten	P. Mestek; N. Werther; S. Winter: Bauen mit Brettsperrholz, Tragende Massivholzelemente für Wand, Decke und Dach; in: Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., 2010, S.7
ABB 2.10	Produktionsmengen von Brettsperrholz in Europa	https://www.holzkurier.com/holzprodukte/2017/11/siegeszug-von-bsp-setzt-sich-fort.html (07.02.2018)
ABB 2.11	Bezeichnung von Teilen und Bereichen von Brettsperrholz	DI Dr. M. Wallner-Novak; DI J. Koppelhuber; DI K. Pock: Brettsperrholzbemessung, Grundlagen für Statik und Konstruktion nach Eurocode, in: proHolz Austria (Hrsg.), (2013), S.10

3_BAUWEISEN

ABB 3.1	indianische Tipi	http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/faepites-faepites/ch03s02.html (13.02.2018)
ABB 3.2	Blockbau	http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/faepites-faepites/ch03s03.html (13.02.2018)
ABB 3.3	Fachwerkbau	http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/faepites-faepites/ch03s05.html (13.02.2018)
ABB 3.4	Entwicklung der Bauweisen	S. Winter; F. Lattke: Historische Entwicklung der Holzwand, in: Zuschnitt, 43 (2011), S. 15
ABB 3.5	Vergleich der Marktanteile von Holz, Stein, Stahl und Beton bei Tragkonstruktionen im Holzbau	http://informationsdienst-holz.de/urbaner-holzbau/kapitel-1-der-neue-holzbau/ (18.02.2018)
ABB 3.6	Platform-Frame-Konstruktion	http://brooklynrocksteady.com/picture-frame-construction/picture-frame-making-hardware-design-and-construction-platform-frame-construction-agricultural-mechanics-transparencies-diy-picture-frame-construction-diy-picture-frame-plans/ (19.02.2018)
ABB 3.7	Holzbauweisen – Betrachtung unter den Blickwinkeln Vorfertigungsgrad bzw. Gestaltungsfreiheit	W. Winter; Lehrstuhl für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau: Bausysteme Holzbau für Architekten, Stand: Mai 2007, TU Wien, Wien, 2007, S.153
ABB 3.8	Holzbauweisen	eigene Darstellung

ABB 3.9	*Fachwerkbau*	*L. Macha: Historische Entwicklung und Systeme des Holzbaus, in: Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V. (Hrsg.), Moderner Holzhausbau in Fertigbauweise, Bad Honnef, 2001, S. 32*
ABB 3.10	*Skelettbauweise*	*L. Macha: Historische Entwicklung und Systeme des Holzbaus, in: Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V. (Hrsg.), Moderner Holzhausbau in Fertigbauweise, Bad Honnef, 2001, S.32*
ABB 3.11	*Rippenbauweise*	*L. Macha: Historische Entwicklung und Systeme des Holzbaus, in: Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V. (Hrsg.), Moderner Holzhausbau in Fertigbauweise, Bad Honnef, 2001, S.32*
ABB 3.12	*Kleintafelbau*	*L. Macha: Historische Entwicklung und Systeme des Holzbaus, in: Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V. (Hrsg.), Moderner Holzhausbau in Fertigbauweise, Bad Honnef, 2001, S.54*
ABB 3.13	*Großtafelbau*	*L. Macha: Historische Entwicklung und Systeme des Holzbaus, in: Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V. (Hrsg.), Moderner Holzhausbau in Fertigbauweise, Bad Honnef, 2001, S.54*
ABB 3.14	*Blockbauweise*	*L. Macha: Historische Entwicklung und Systeme des Holzbaus, in: Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V. (Hrsg.), Moderner Holzhausbau in Fertigbauweise, Bad Honnef, 2001, S.32*
ABB 3.15	*Brettstapelbauweise*	*L. Macha: Historische Entwicklung und Systeme des Holzbaus, in: Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V. (Hrsg.), Moderner Holzhausbau in Fertigbauweise, Bad Honnef, 2001, S.53*
ABB 3.16	*Brettsperrholzbauweise – Wand- und Deckenanschluss*	*L. Macha: Historische Entwicklung und Systeme des Holzbaus, in: Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V. (Hrsg.), Moderner Holzhausbau in Fertigbauweise, Bad Honnef, 2001, S.53*
ABB 3.17	*Brettsperrholzbauweise*	*L. Macha: Historische Entwicklung und Systeme des Holzbaus, in: Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V. (Hrsg.), Moderner Holzhausbau in Fertigbauweise, Bad Honnef, 2001, S.53*
ABB 3.18	*Tragstrukturkombinationen*	*A. Pech u.a.:, Holz im Hochbau, Theorie und Praxis, Birkhäuser Verlag GmbH, Basel, 2016, S.133*
ABB 3.19	*Logik der Vorfertigung*	*A. Isopp: Die Logik der Vorfertigung, Eine Systemübersicht, in: Zuschnitt, 50 (2013), S.12*

4_REFERENZPROJEKTE

ABB 4.1	Fotos über Mineroom Leoben	zur Verfügung gestellt von aap.architekten
ABB 4.2	Pläne von Mineroom Leoben	Zur Verfügung gestellt von Weissenseer
ABB 4.3	Fotos über Sozialzentrum Pillerseetal	zur Verfügung gestellt von sitka.kaserer.architekten
ABB 4.4	Pläne von Sozialzentrum Pillerseetal	zur Verfügung gestellt von sitka.kaserer.architekten
ABB 4.5	Fotos über Seniorenwohnhaus Hallein	http://www.kaufmannbausysteme.at/image/phelps3710.jpg/view/de/ (10.04.2018)
ABB 4.6	Pläne von Seniorenwohnhaus Hallein	zur Verfügung gestellt von sps-architekten

5_TAFEL- UND RAUMZELLENBAUWEISE MIT BRETTPERRHOLZ

ABB 5.1	Brettsperrholzwände und-decken	o.V.: Projektmappe Mineroom Leoben, Weissenseer, Greifenburg, 2017, S. 24
ABB 5.2	Formen der Mischbauweise	I. Dederich; J.Koch: Informationsdienst Holz, Holzkonstruktionen in Mischbauweisen, Reihe 1, Teil 1, Folge 5, Holzabsatzfonds, Bonn, (2006) S14-17

5_1_VORFERTIGUNG

ABB 5.3	Platform-Frame-Bauweise	http://mjobrien.com/Papers/OBrien_article_hybrids_on_the_way_to_the_western_platform_frame.pdf (27.02.2018)
ABB 5.4	Produktion von Raumzellen – Seniorenwohnhaus Hallein	A. Isopp: Wohnen in Massivholzboxen, Seniorenwohnhaus in Hallein, in: Zuschnitt, 50 (2013), S. 8f
ABB 5.5	Kosten- und Zielmanagement	U. Knaack; S. Chung-Klatte; R. Hasselbach: Systembau, Prinzipen der Konstruktion, (2012) S.85
ABB 5.6	Vorfertigung von linearen / flächigen / raumhaltigen Elementen	W. Huß: Vorfertigung, in: H. Kaufmann; S. Krötsch; S. Winter: Atlas mehrgeschossiger Holzbau, 1. Auflage, Detail Business Information GmbH, München, 2017, S.143
ABB 5.7	Fließbandproduktion	http://www.zeit.de/2011/46/Historie-Arbeitnehmer (25.03.2018)

ABB 5.8	*Plattenbauweise aus Stahbeton*	*G. Schickhofer; t.Bogensperger; t. Moosbrugger u.a.: BSPhandbuch, Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz,1.Auflage, Verlag der Technischen Universität Graz, Graz, 2009, S. 12*
ABB 5.9	*Vorfertigungsgrad*	*J. Kolb: Holzbau mit System, Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile, Zürich, München, 2007, S.46*
ABB 5.10	*Brettsperrholzelement – Mineroom Leoben*	*zur Verfügung gestellt von Weissenseer*
ABB 5.11	*Raumzelle – Sozialzentrum Pillerseetal*	*zur Verfügung gestellt von sitka.kaserer.architekten*
ABB 5.12	*Zimmermodul - Sozialzentrum Pillerseetal*	*zur Verfügung gestellt von sitka.kaserer.architekten*
ABB 5.13	*Produktion von Raumzellen – Seniorenwohnhaus Hallein*	*http://www.kaufmannzimmerei.at/holzmodulbau (14.04.2018)*
ABB 5.14	*Gleisanlage in der Produktionshalle in Kalwang*	*zur Verfügung gestellt von Kaufmann Bausysteme*
ABB 5.15	*Einrichtung der Produktionshalle in Kalwang*	*zur Verfügung gestellt von Kaufmann Bausysteme*
ABB 5.16	*Lageplan der Produktionshalle in Kalwang*	*zur Verfügung gestellt von Kaufmann Bausysteme*
ABB 5.17	*Lageplan der Produktionshalle bei der Tischlerei Kaufmann*	*zur Verfügung gestellt von Kaufmann Bausysteme*
ABB 5.18	*Vorfertigung einer Raumzelle – Seniorenwohnhaus Hallein*	*zur Verfügung gestellt von Kaufmann Bausysteme*
ABB 5.19	*fertigte Raumzelle – Seniorenwohnhaus Hallein*	*http://www.kaufmannbausysteme.at/de/Seniorenwohnhaus-Hallein/ (15.04.2018)*
ABB 5.20	*Vorfertigung der Raumzellen – Produktionshalle Kalwang – Seniorenwohnhaus Hallein*	*zur Verfügung gestellt von Kaufmann Bausysteme*

5_2_ÖKOLOGIE

ABB 5.21	*Beitrag von Wald und Holz zu einer nachhaltigen Entwicklung*	*G. Wegener; B. Zimmer: Bauen mit Holz ist zukunftsfähiges Bauen, in: T. Herzog u.a.: Holzbau Atlas, vierte Auflage, Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, München, 2003, S.47*
ABB 5.22	*Kohlenstoffspeicherung durch Holzprodukte*	*U. Dangel: Wendepunkt im Holzbau, Birkhäuser, Austin, Texas, 2016, S.52*
ABB 5.23	*Substitutionspotenzial von Holzprodukten*	*U. Dangel: Wendepunkt im Holzbau, Birkhäuser, Austin, Texas, 2016, S.52*
ABB 5.24	*Lebenszyklus von Holz*	*https://www.ibp.fraunhofer.de/de/Kompetenzen/ganzheitliche-bilanzierung/Angewandte-Methoden/Oekobilanzierung.html*

ABB 5.25	*Gewichtung der Bewertungskriterien*	*https://www.energieinstitut.at/unternehmen/bauen-und-sanieren-fuer-profis/oekologie-und-ressourceneffizienz/gebaeudelabels/vorstellung-von-8-gebaeudelabels/ (10.06.2018)*
ABB 5.26	*Ökoindexvergleich von verschiedenen Wandaufbauten mit ähnlichen Wärmedurchgangskoeffizient*	*C. Armbruster u.a.: Bauen mit Holz in Oberösterreich, 1. Auflage, proHolz Oberösterreich, Linz, 2011, S.49*
ABB 5.27	*Lebenszyklus von Bauprodukten*	*U. Dangel: Wendepunkt im Holzbau, Birkhäuser, Austin, Texas, 2016, S.65*
ABB 5.28	*Verwertung von geerntetem Holz durch die amerikanische Holzverarbeitungsindustrie*	*U. Dangel: Wendepunkt im Holzbau, Birkhäuser, Austin, Texas, 2016, S.56*
ABB 5.29	*BSP-Produktionen und -Projekte innerhalb 100 km-Radius um den fiktiven Mittelpunkt Obertauern*	*https://www.holzkurier.com/holzprodukte/2017/07/brettsperrholz-produktion-100-km-radius---2016-2020.html (28.08.2018)*
ABB 5.30	*Holzbauanteil in Österreich*	*G. Schickhofer: Produktportrait, Die Holzmassivbauweise am Beispiel von Brettsperrholz, in: Zuschnitt, 6 (2002), S.24*
ABB 5.31	*Holzbauanteil in Österreich (2013)*	*A. Teischinger; u.a.: Erhebung der Holzbauanteils aller österreichischen Bauvorhaben, proHolz Austria, 2015, S. 10, http://www.proholz.at/fileadmin/proholz/media/presse/150924_PK_Vortrag_Teischinger_14Folien.pdf (28.08.2018)*
ABB 5.32	*Materialbedarf von unterschiedlichen Holzdeckenkonstruktionen*	*S. Krötsch; W. Huß: Bauteile und Bauelemente, in: H. Kaufmann; S. Krötsch; S. Winter: Atlas mehrgeschossiger Holzbau, 1. Auflage, Detail Business Information GmbH, München, 2017, S.67*
ABB 5.33	*statisches Detail - Seniorenwohnhaus Hallein*	*C. Kaufmann: Bauen in 3D, modulares Bauen in neuen Ansätzen und Massstäben, in: 18. Internationales Holzbau-Forum, 2012, S. 5*
ABB 5.34	*Vorbemessungsdiagramme für ein- und zweifeldträger Decken*	*o.V.: MM crosslam, Brettsperrholz (BSP) Technische Daten, Mayr Melnhof Holz, 2016, S. 15ff, http://www.mm-holz.com/fileadmin/user_upload/Pressemitteilungen/Newsletter_Architekten/MM_crosslam_Technische_Daten.pdf (30.08.2018)*
ABB 5.35	*Verwertung von Holz*	*http://www.bauenmitholz.berlin/html_subpages/WaldundHolz.html (31.08.2018)*

5_3_TRANSPORT

ABB 5.36	Zimmermannshandwerk	https://publikationsserver.tu-braunschweig.de/receive/dbbs_mods_00000286 (01.09.2018)
ABB 5.37	Transport einer Raumzelle	C. Affentranger: Essay, Vom Blockbau zur Vorfabrikation –Entdeckung der Fläche im Holzbau, in: Zuschnitt, 3 (2001), S.8
ABB 5.38	Nadelholzsägewerke in Österreich (2017)	https://www.holzkurier.com/schnittholz/2017/01/stabile_einschnittmengeinoesterreich.html (01.09.2018)
ABB 5.39	Brettsperrholzwerk in Ybbs (Stora Enso)	http://www.holzbauaustria.at/index.php?id=355&cHash=51780c0bf861ac5e2869827bedfe4177&tx_ttnews%5Btt_news%5D=6698 (02.09.2018)
ABB 5.40	Containertransport	https://www.holzkurier.com/content/holz/holzkurier/de/holzprodukte/2008/12/logistikdienstleistungen/_jcr_content/rtePar/richtext2.fitIn.agrarverlag_rteimage_lightbox.jpg/1490609693159/1228919766.jpg (09.09.2018)
ABB 5.41	Hubschraubertransport	https://www.holzkurier.com/holzbau/2010/01/brettsperrholz_immittelpunkt.html (09.09.2018)
ABB 5.42	Rahmenbedingung für den Transport von Raummodulen	M. Bächtiger; A. Isopp: Bauen mit Raumzellen, in: Zuschnitt, 66 (2018), S. 6
ABB 5.43	Transport von flächigen Brettsperrholzelemente	o.V.: MM crosslam, Brettsperrholz (BSP) Technische Daten, Mayr Melnhof Holz, 2016, S. 12, http://www.mm-holz.com/fileadmin/user_upload/Pressemitteilungen/Newsletter_Architekten/MM_crosslam_Technische_Daten.pdf (30.08.2018)
ABB 5.44	Transport von Raumzellen -Sozialzentrum Pillerseetal	zur Verfügung gestellt von sitka.kaserer.architekten
ABB 5.45	Anschlagpunkte	o.V.: Verarbeitungsrichtlinie binderholz Brettsperrholz BBS, Binderholz Bausysteme, S. 8f, https://www.binderholz.com/fileadmin/PDF/Services_Kontakt/Videos_Download/Prospekte/BBS%20Verarbeitungsrichtlinie%20D%20FIN.pdf (22.09.2018)
ABB 5.46	Abstand und zulässige Last bei einem Fahrzeugkran	http://www.prangl.com/media/portals/1/Datenblatter/PFK45_Liebherr_LTF_1045-45T.pdf (23.09.2018)

5_4_TERMINE

ABB 5.47	Planungsphasen	W. Huß; S. Geier; Frank Lattke; M. Stieglmeier: Planung, in: H. Kaufmann; S. Krötsch; S. Winter: Atlas mehrgeschossiger Holzbau, 1. Auflage, Detail Business Information GmbH, München, 2017, S. 131
ABB 5.48	vorgezogene und traditionelle Planungsprozess	W. Huß; S. Geier; Frank Lattke; M. Stieglmeier: Planung, in: H. Kaufmann; S. Krötsch; S. Winter: Atlas mehrgeschossiger Holzbau, 1. Auflage, Detail Business Information GmbH, München, 2017, S. 135
ABB 5.49	Zeitentwicklung Baustellenfertigung vs. Vorfertigung	A. Pech u.a.:, Holz im Hochbau, Theorie und Praxis, Birkhäuser Verlag GmbH, Basel, 2016, S.291
ABB 5.50	Werkpläne eines Brettsperrholzwandelements	o.V.: Stora Enso Building and Living, Building Solutions, Stora Enso, 2012 S. 293, http://forumholzbau.com/pfd_down_docs/Stora_Enso_Building_solutions_CLT_04_2012_low.pdf (13.10.2018)
ABB 5.51	Vorfertigungsstationen	http://www.kaufmannzimmerei.at/holzmodulbau/system (27.09.2018)
ABB 5.52	Montage einer Raumzelle direkt vom LKW aus	http://www.kaufmannzimmerei.at/holzmodulbau/system (27.09.2018)
ABB 5.53	Terminplan - Seniorenwohnheim Hallein	A. Isopp: Wohnen in Massivholzboxen, Seniorenwohnhaus in Hallein, in: Zuschnitt, 50 (2013), S.8f

5_5_KOSTEN

ABB 5.54	Kostenplanung nach der ÖNORM B 1801-1	eigene Darstellung
ABB 5.55	Kostengruppierung nach der ÖNORM B 1801-1	eigene Darstellung
ABB 5.56	Produktionskapazitäten und Verkaufspreise vom BSP in Europa	eigene Darstellung nach W. Winter: Mehrgeschossiger Holzbau, TU Wien Institut für Architekturwissenschaften Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau, Symposium Wirtschaftsforum Waldviertel, 2017, S. 6, https://www.forstholzpapier.at/images/aktuelles/2017/120117_PPP_Winter.pdf
ABB 5.57	Wertschöpfung und Seriengrößen	G. Girmscheid: Bauunternehmermanagement- prozessorientiert Band 2, Operative Leistungserstellungs- und Supportprozesse, 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2014, S.16
ABB 5.58	Transport von Raumzellen – Seniorenwohnhaus Hallein	http://www.proholz.at/zuschnitt/50/wohnen-in-massivholzboxen/ (18.10.2018)

ABB 5.59	*Baustelle – Sozialzentrum Pillerseetal*	*zur Verfügung gestellt von sitka.kaserer.architekten*
ABB 5.60	*Kostenvergleich zwischen unterschiedlichen Bauweisen*	*D. Zügner: Die Holz-Massivbauweise im mehrgeschossigen Wohnbau, Ein kalkulatorischer Vergleich zur mineralischen Massivbauweise, Masterarbeit, Technische Universität Graz, 2013, S.217*

5_6_PROJEKTENTWICKLUNG

ABB 5.61	*Brandschutzanforderungen eines Gebäudes der Gebäudeklasse 5 mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 22 m*	*M. Treibinger: Brandschutzvorschriften in Österreich, Anforderungen nach OIB-Richtlinie 2, in: Zuschnitt Attachment – Sonderthemen im Bereich Holz, Holzwerkstoff und Holzbau, proHolz Austria, 3. veränderte Auflage, 2015, S.9+18*
ABB 5.62	*Raumzelle - Sozialzentrum Pillerseetal*	*https://kaufmannbausysteme.at/file/de/modulbau-2016.pdf (21.10.2018)*
ABB 5.63	*Raumzellen - Seniorenwohnhaus Hallein*	*zur Verfügung gestellt von sps-architekten*
ABB 5.64	*Vergleich der Außenwände und Wohnungstrennwände aus BSP. Stahlbeton und Ziegel*	*D. Zügner: Die Holz-Massivbauweise im mehrgeschossigen Wohnbau, Ein kalkulatorischer Vergleich zur mineralischen Massivbauweise, Masterarbeit, Technische Universität Graz, 2013, S.167f*
ABB 5.65	*Zeitpläne – Sozialzentrum Pillerseetal, Seniorenwohnheim Hallein*	*eigene Darstellung nach zur Verfügung gestellten Unterlagen*
ABB 5.66	*Kostenbeeinflussung*	*H. Priebernig: Kostenmanagement, Technische Universität Wien, Institut Architektur 253.4, 2009, S. 7, http://zeus.h1arch.tuwien.ac.at/TISS_img/Priebernig/Kostenplanung_Kostensteuerung_091113.pdf*
ABB 5.67	*Brettsperrholzbau*	*https://www.bauforum.at/dach-wand/der-wettlauf-um-die-stockwerke-20996 (24.10.2018)*

ABB 6.1	Brettsperrholz	o.V: Brettsperrholz-Merkblatt, in: Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. (Hrsg.), 2016, S. 1-6, https://www.brettsperrholz.org/publish/binary-data/pdfs/2016.12_neuauflagen/merkblaetter/stghb_bsp-holz-merk-blatt_2016_ihb_print_161109.pdf (05.02.2018)
ABB 6.2	Bauhöheneinschränkungen bei Holzbau in 2009 – Zuschnitt33 S20	A. Isopp: Im Ländervergleich, So hoch darf man mit Holz bauen, in: Zuschnitt, 33 (2009), S.20
ABB 6.3	Brettsperrholzbauweise	https://www.binderholz.com/bauloesungen/wohnbau/dalston-lane-london-grossbritannien/ (27.10.2018)
ABB 6.4	Raumzelle -Seniorenwohnhaus Hallein	zur Verfügung gestellt von sps-architekten
ABB 6.5	Modulvarianten	W. Huß: Vorfertigung, in: H. Kaufmann; S. Krötsch; S. Winter: Atlas mehrge-schossiger Holzbau, 1. Auflage, Detail Business Information GmbH, München, 2017, S.146
ABB 6.6	patentiertes Bausystem – Hotel Moxy	https://patents.google.com/patent/EP2617911A1/de (31.08.2017)
ABB 6.7	purelivin – modulares Bausystem für Wohnbauten	https://www.purelivin.net/module (27.10.2018)
ABB 6.8	Konzept Feldfabrik	https://www.constructioncanada.net/showcasing-engineered-woods-potential-for-modular-design/ (27.10.2018)