

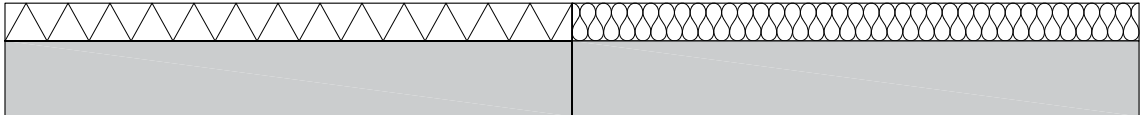
Entwicklung thermisch optimierter Wandelemente aus Massivholzplatten mit eingefrästen Lufteinschlüssen

- 1 Entwicklungsziele und Ansätze**
- 2 Relevante holztechnologische und bauphysikalische Eigenschaften**
- 3 Konstruktionstechnische Umsetzung**
- 4 Berechnungsverfahren zur Analyse des thermischen Verhaltens und deren Anwendung**
- 5 Labortechnische Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit**
- 6 Umsetzungsrelevante Aspekte**
- 7 Zusammenfassung und Aussicht**

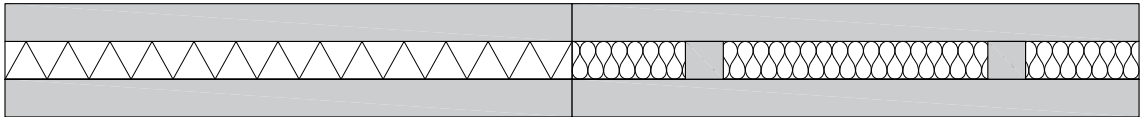
1 **Entwicklungsziele und Ansätze**

Methoden thermischer Optimierung von Massivholzbauteilen

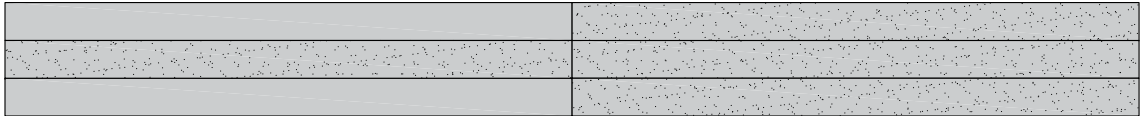
Außenliegende Dämmung



Innenliegende Dämmung (thermische Trennung)



Massivholz geringerer Dichte bzw. Wärmeleitfähigkeit



Lignatur
Kastenelement



Lignum-K
Holz-Holzfaser-Sandwich



Lignum-K
Holz-Holzfaser-Sandwich



Balsaplatte-
Lightwood

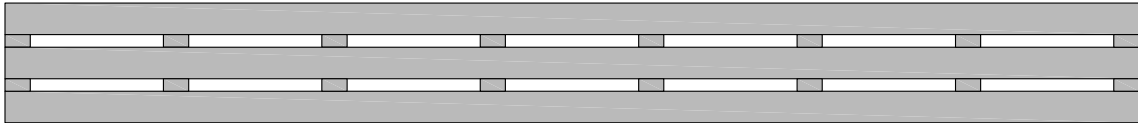


Pappel-
Brettschichtholzträger

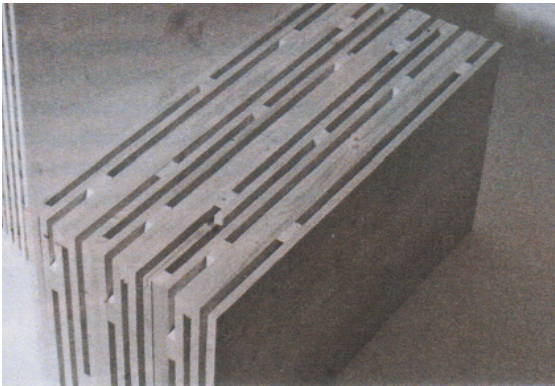


Methoden thermischer Optimierung von Massivholzbauteilen

Luftschichten zwischen den Lagen



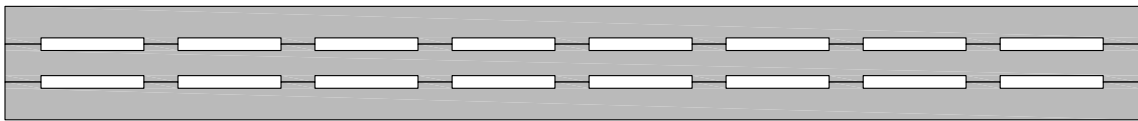
Einschichtplatten mit Distanzleisten



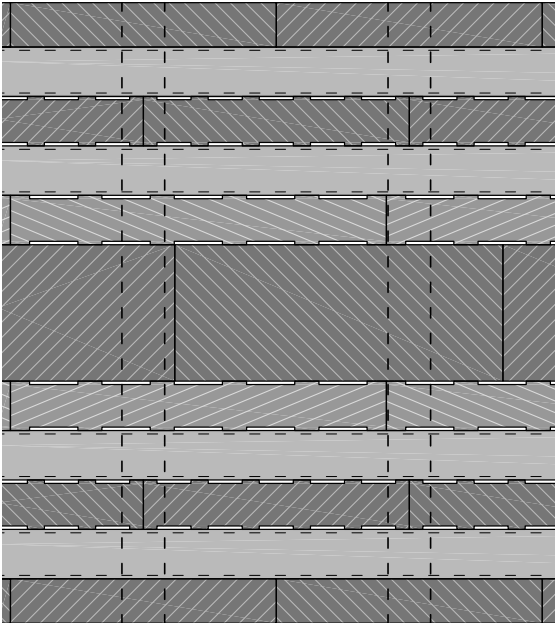
Appenzeller Brettsper Holz gedübelt



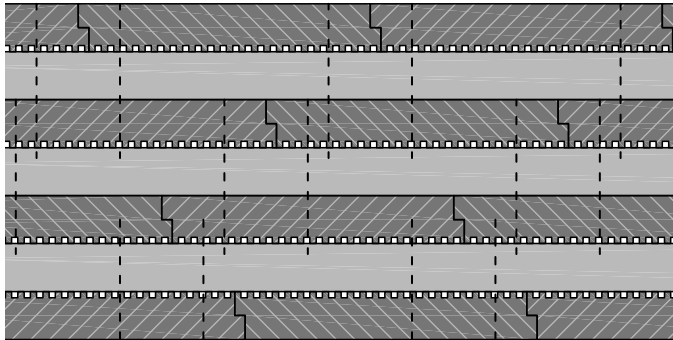
Luftschlüsse (an der Brettoberfläche)



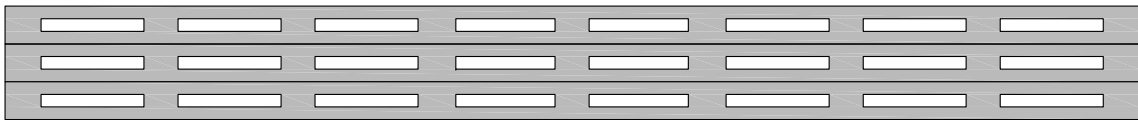
Thoma Holz100 Brettsper Holz gedübelt



Massivholzmauer Brettsper Holz genagelt



Luftschlüsse (innerhalb der Brettlage)



Nadelstreifholz (plus) Brettstapelholz gedübelt



Wirkungsweise von Lufteinschlüssen zur thermischen Optimierung

Holz

- geringe Wärmeleitfähigkeit $\sim 0,1 \text{ W/mK}$
- großer Luftporenanteil
- äqu. Wärmeleitfähigkeit der Luftporen $\geq 0,025 \text{ W/mK}$
nahe der Wärmeleitfähigkeit von trockener, ruhender Luft
- Wärmeleitfähigkeit Zellwandsubstanz $\sim 0,421 \text{ W/mK}$
- Wärmeleitfähigkeit Wasser $\sim 0,6 \text{ W/mK}$

Lufteinschlüsse (LE)

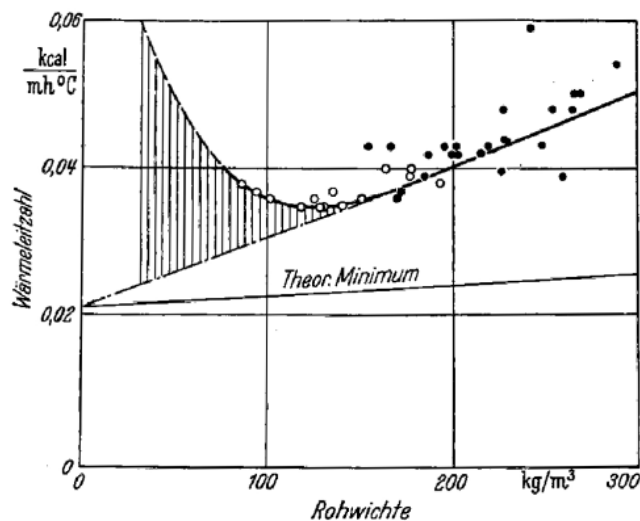
- je kleiner der Lufteinschluss, desto geringer die äqu. Wärmeleitfähigkeit, desto weniger Konvektion und Wärmestrahlung
- Geometrie und Abmessungen der Lufteinschlüsse

Holz + Lufteinschlüsse

- Wärmeleitfähigkeit des Holzes
- äqu. Wärmeleitfähigkeit der Lufteinschlüsse muss kleiner als Wärmeleitfähigkeit des Holzes sein
- Geometrie und Abmessungen der Lufteinschlüsse
- Anteil der Lufteinschlüsse

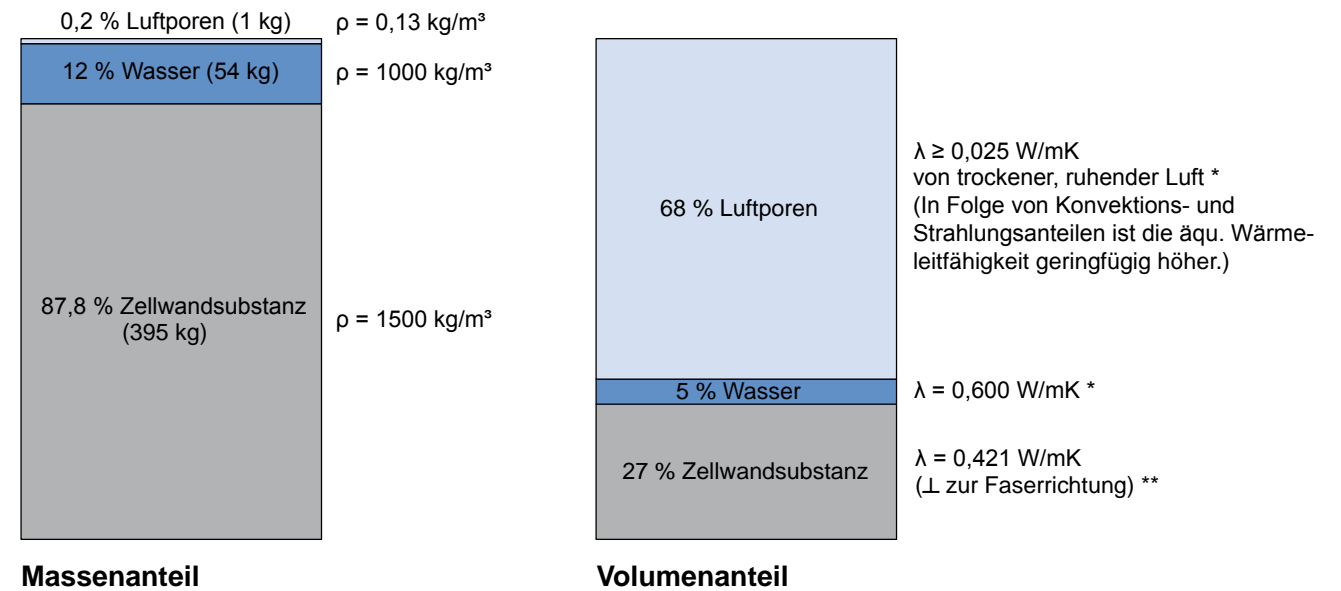
Beispiel Korkplatten

- Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit von der Rohdichte
- zu große Hohlräume vermindern die Wärmedämmung



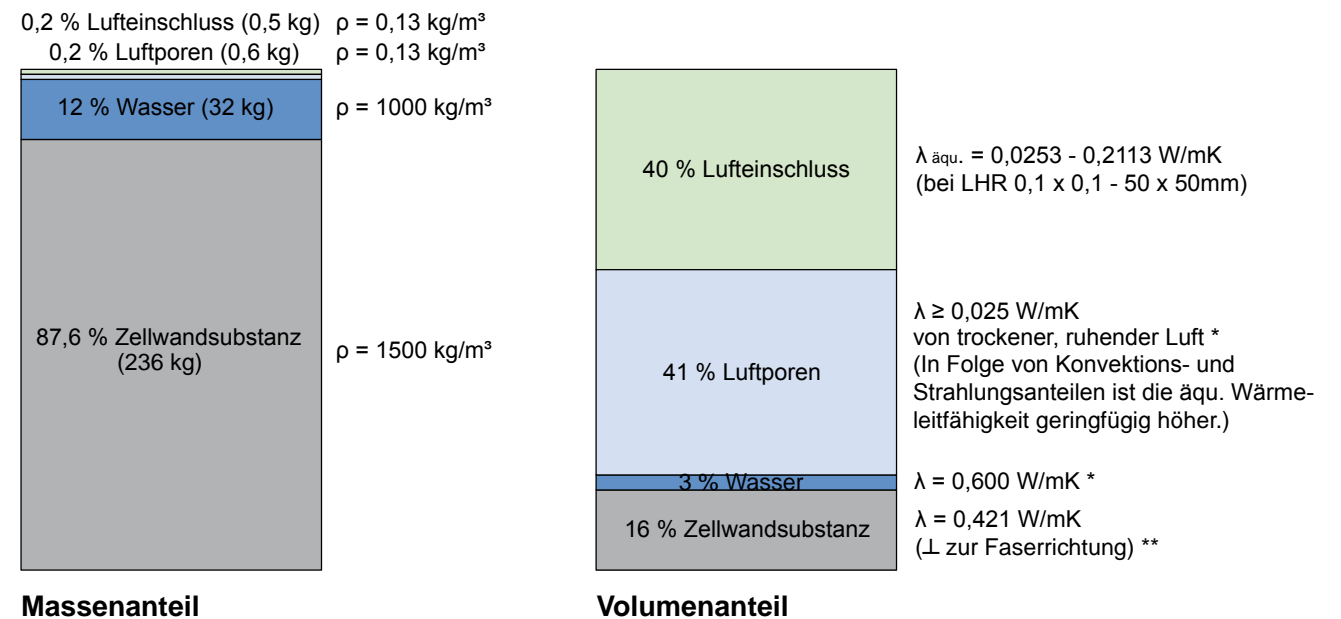
Massen- und Volumenanteile [%] von Fichtenholz

($\rho = 450 \text{ kg/m}^3$, $u = 12 \%$, $\lambda_g = 0,10 \text{ W/mK}$)



Massen- und Volumenanteile [%] von Fichtenholz mit 40 % LE-Anteil

($\rho = 270 \text{ kg/m}^3$, $u = 12 \%$, $\lambda_{H+LE} = \text{abhängig von den Abmessungen der LE}$)



* (Bauphysik-Kalender 2005)
** (Maku 1954 in Kollmann und Malmquist 1956)

Anforderungen an die Bauteilentwicklung

Bauphysik

Wärmeschutz
Wärmespeicherung
Luftdichtigkeit
Feuchteschutz
Schallschutz

Tragwerk

Tragverhalten
Festigkeit Verbindungsmittel
Materialeigenschaften
Brandschutz
Holzschutz

Herstellungsprozess

Herstellungsverfahren
Werkzeuge
Automatisierung
Vorfertigungsgrad
Transport
Montage

Anforderungen an die Entwicklung

- einer durch Lufteinschlüsse thermisch optimierten großformatigen Massivholzplatte

Konstruktion

Bauteilkonstruktion
Fügungstechnik
Elementgrößen
Anwendungsbereich
Holzbausystem
Bauteilanschlüsse
Gebrauchstauglichkeit

Betrieb

Entwicklungspotenzial
organisatorische Umsetzung
Ressourcen und Verfügbarkeit
technische Machbarkeit
wirtschaftliche Machbarkeit
zeitliche Umsetzung
rechtliche Umsetzung

Wirtschaftlichkeit

Lebenszykluskosten
Kosteneffizienz
Marktpositionierung
Ökologie
Ökobilanz (Lebenszyklus)
Ressourceneffizienz
Energieeffizienz

Grundlegende Fragestellungen

- Wie groß ist das Potenzial der Lufteinschlüsse zur Verbesserung der Wärmedämmfähigkeit?
- Welche Eigenschaften der Lufteinschlüsse sind effizient und technisch realisierbar?
- In welchen flächigen Holzbausystemen können Lufteinschlüsse integriert bzw. welche Bauteile können entwickelt werden?
- Wie groß ist der Mehrwert des steigenden Sägespäneanfalls?

Anforderungen an die Bauteilentwicklung

Weitere Fragestellungen (Auswahl)

Wärmeschutz

Wie groß ist das Potenzial zur Verbesserung der Wärmedämmfähigkeit?

Welche Geometrie, Abmessung, Anordnung und Anzahl der Lufteinschlüsse ist effizient (und technisch realisierbar)?

Wärmespeicherung

Wie wirkt sich die niedrigere Rohdichte der Massivholzplatten mit Lufteinschlüssen auf die wirksame Wärmekapazität aus?

Tragverhalten

Durch die Lufteinschlüsse erfolgt eine Schwächung des Bauteilquerschnittes.

Wie groß sind die Auswirkungen auf das Tragverhalten?

Welche Bauteilbeanspruchungen sind je nach Anwendung und Konstruktion relevant?

Herstellungsverfahren

Wie kann die Herstellung der Lufteinschlüsse in den gesamten Produktionsablauf eingegliedert werden und welche Herstellungsverfahren sind für unterschiedliche Konstruktionen möglich?

Werkzeuge

Welche Werkzeuge sind zur Herstellung der Lufteinschlüsse geeignet und effizient?

Bauteilkonstruktion

Welchen detaillierten Aufbau besitzen die Massivholzplatten mit Lufteinschlüssen?

Welchen Einfluss haben die Fräsungen auf die gesamte Konstruktion?

Holzbausystem

In welchen flächigen Holzbausystemen können Lufteinschlüsse integriert bzw. welche Systeme können entwickelt werden?

Kosteneffizienz

Können die Lufteinschlüsse kosteneffizient hergestellt werden?

Wie groß ist der Mehrwert des steigenden Sägespäneanfalls (Kuppelprodukt)?

Ressourceneffizienz

Können durch das Fräsen der Hohlräume Ressourcen gespart werden?

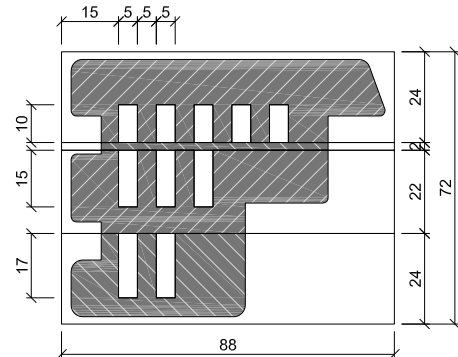
Wie verändert sich der Stofffluss durch den vermehrten Anfall von Sägespäne?

Produktübersicht von Massivholzbauteilen mit Lufteinschlüssen

Airotherm
Holz Schiller GmbH

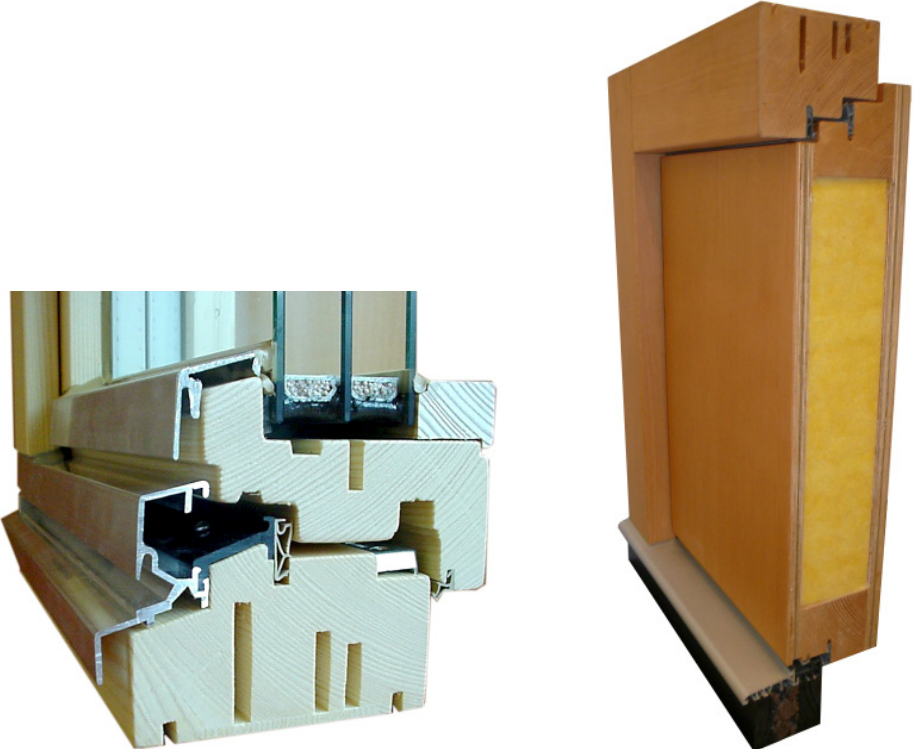


Airotherm-Fenster bzw. Airotherm-Kantel für Türfriese

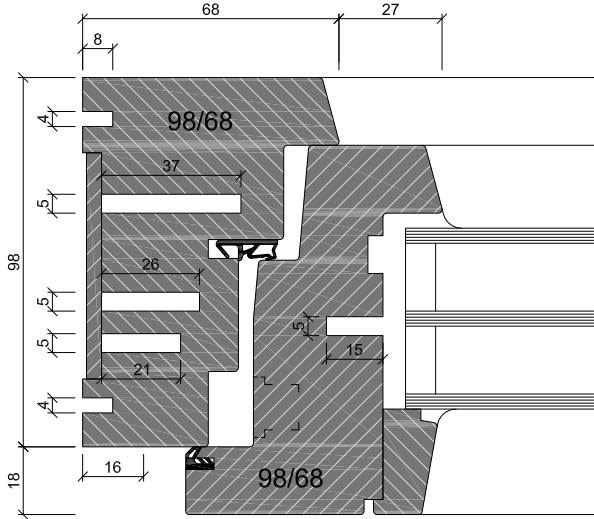


Airotherm-Fensterrahmen bzw. Fensterkantel (IV 68)
LHR-Anteil: ca. 16 %

PassivhausVenster
Die Venstermacher bzw. Sigg Ges.m.b.H. & Co KG



Fensterprofil mit 3-fach-Verglasung / Modell einer Außentüre



PassivhausVenster-Fensterrahmen
LHR-Anteil: ca. 10,7 % (nur Stock)

Produktübersicht von Massivholzbauteilen mit Lufteinschlüssen

Dendrolight



Geschlitzte Seitenbretter



45° gedreht, kreuzweise verleimt



„Mittellagen-Platte“ und abge-



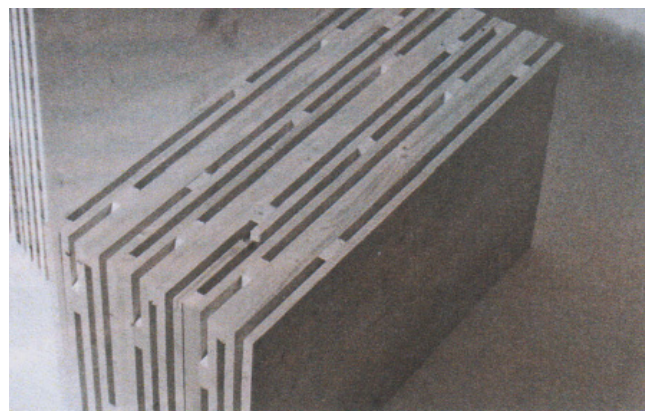
Dendrolight-Platte

Wandbauteil aus einschichtigen Massivholzplatten mit zwischenliegenden Luftschichten (Diplomarbeit Quehenberger FH-Kuchl)

Aufbau

- 1-schichtige Massivholzplatten (1cm)
- Papierwaben oder Distanzleisten (kreuzweise um 45° in Plattenebene gedreht)

mit Distanzleisten

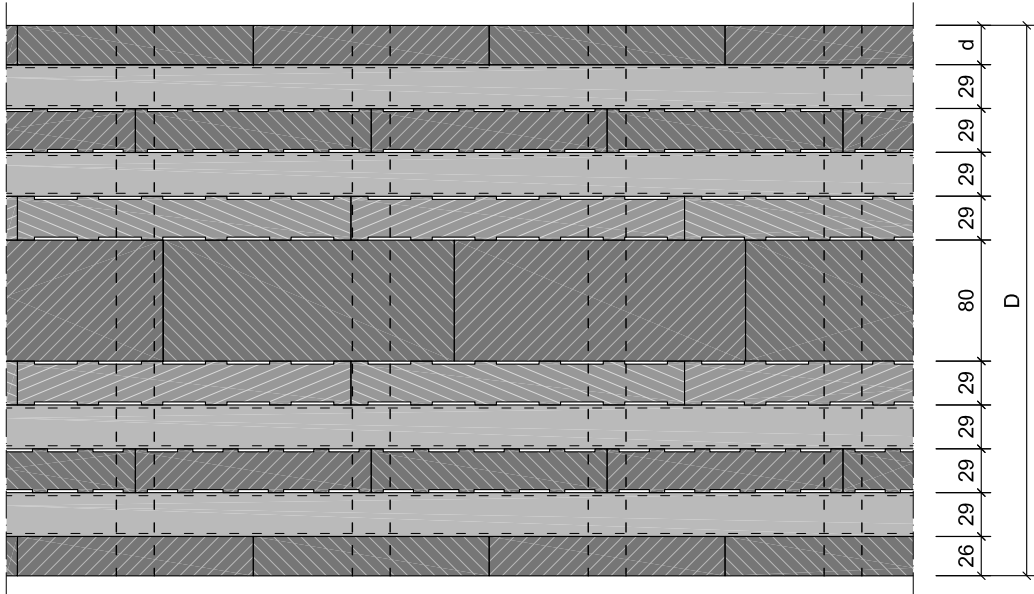


mit Papierwabeneinlage

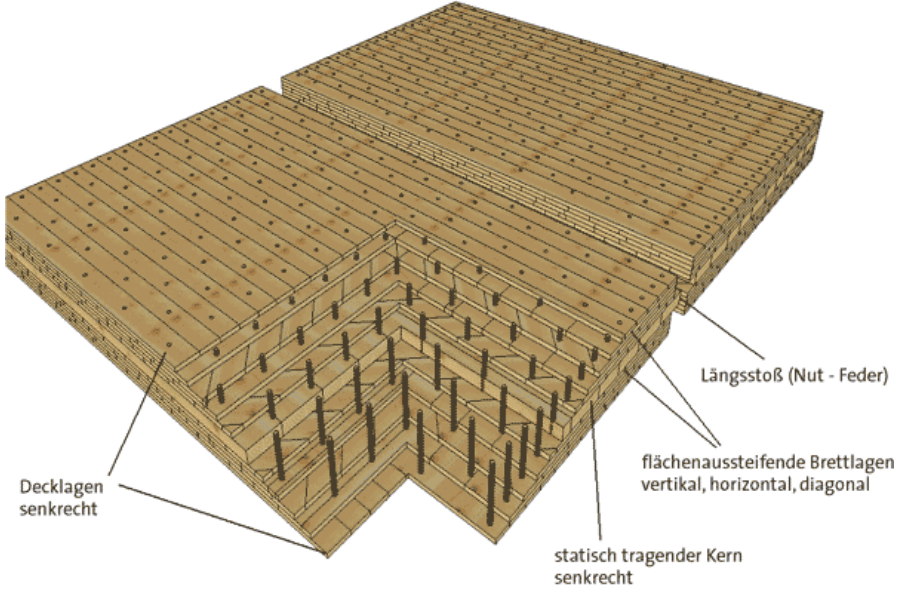


Produktübersicht von Massivholzbauteilen mit Lufteinschlüssen

Thoma Holz100 (Ing. Erwin Thoma Holz GmbH)

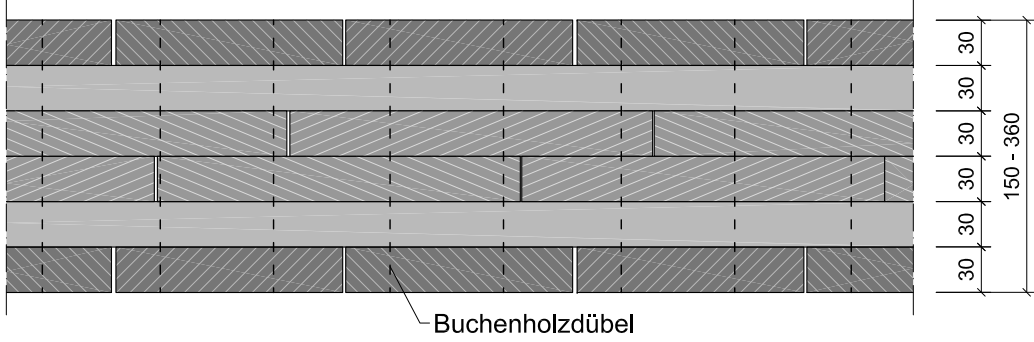


Querschnitt

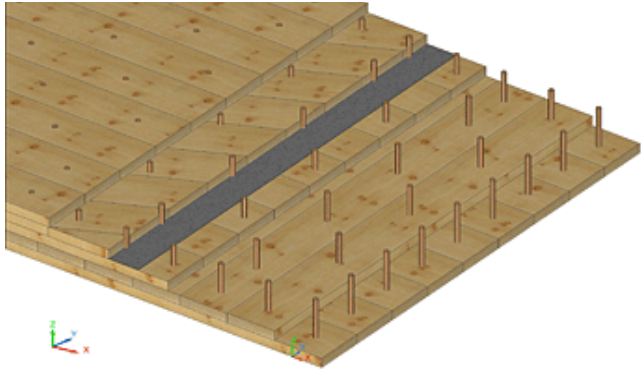


Aufbau des verdübelten Brettsperrholzes

Appenzellerholz (Nägeli AG)



Querschnitt

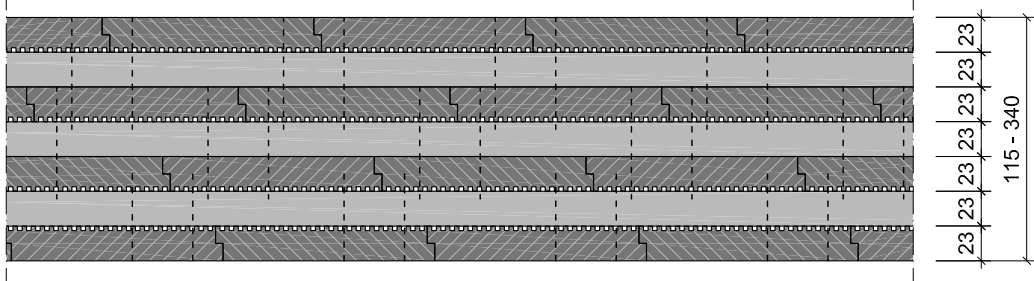


Aufbau des Brettsperrholzes



Seitenansicht des Bauteils

Massivholzmauer



Querschnitt

2 Relevante holztechnologische und bauphysikalische Eigenschaften

Wärmeleitfähigkeit von Holz und Massivholzplatten

grundlegende Einflüsse

- Rohdichte
- Faserrichtung
- Jahrringlage
- Feuchte
- Temperatur

weitere (mögliche) Einflüsse

- Einfluss der Dicke in Wärmestromrichtung
- Einfluss von Hohlräumen
- Einfluss von Wärmebehandlungen
- Wärmeleitfähigkeit von verdichtetem Holz
- Wärmeleitfähigkeit der Verbindungsmittel

Werte für Fichte

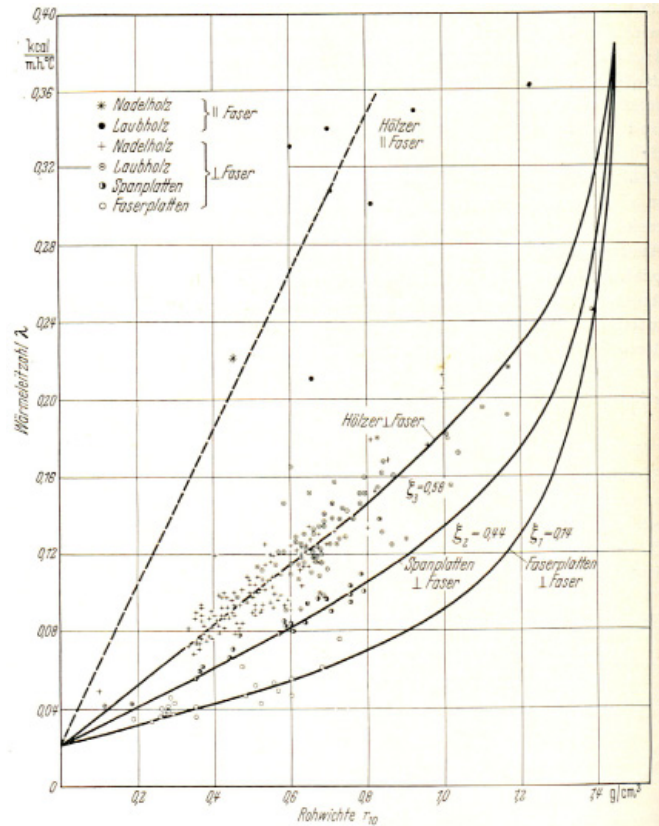
- Messungen: $\lambda = 0,09 - 0,12 \text{ W/mK}$
- Norm: $\lambda = 0,11 - 0,15 \text{ W/mK}$
- für Berechnungen: $\lambda = 0,10 \text{ W/mK}$

Wärmeleitfähigkeit von Fichte (und Bauholz) aus unterschiedlichen Literaturquellen

Holzart	Darrdichte	Rohdichte	Holzfeuchte	Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK]		Quelle
	ρ_0 [kg/m ³]	ρ [kg/m ³]	u [%]	Rechenwert	Messwert	
Fichte	300-430-640		0		0,077-0,090	Kollmann 1951
		330-470-680	12		0,088-0,105	Kollmann 1951
	400-430	430-470	15		0,110-0,120	Sell 1997
		330-441-680	12		0,110	ProHolz 2006
		457	12		0,100	Niemz 2007
		450		0,140		Gieck und Gieck 1995
		400		0,110		Öster. Normungsinst. 2001
		500		0,130		Öster. Normungsinst. 2001
		600		0,150		Öster. Normungsinst. 2001
		700		0,170		Öster. Normungsinst. 2001
		800		0,200		Öster. Normungsinst. 2001
		500	12	0,130		DIN EN 12524: 2000
		700	12	0,180		DIN EN 12524: 2000
		150		0,070		DIN 4108
		300		0,100		DIN 4108
		500		0,130		DIN 4108
		450		0,120		DIN 4108
	500		0,130		PH Bauteilkatalog 2008	

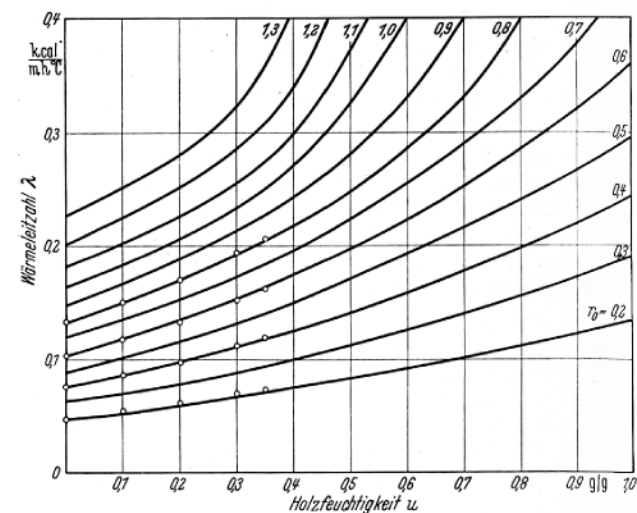
Wärmeleitfähigkeit von Holz und Massivholzplatten

Einfluss der Rohdichte und der Faserrichtung (Kollmann und Malmquist 1956)



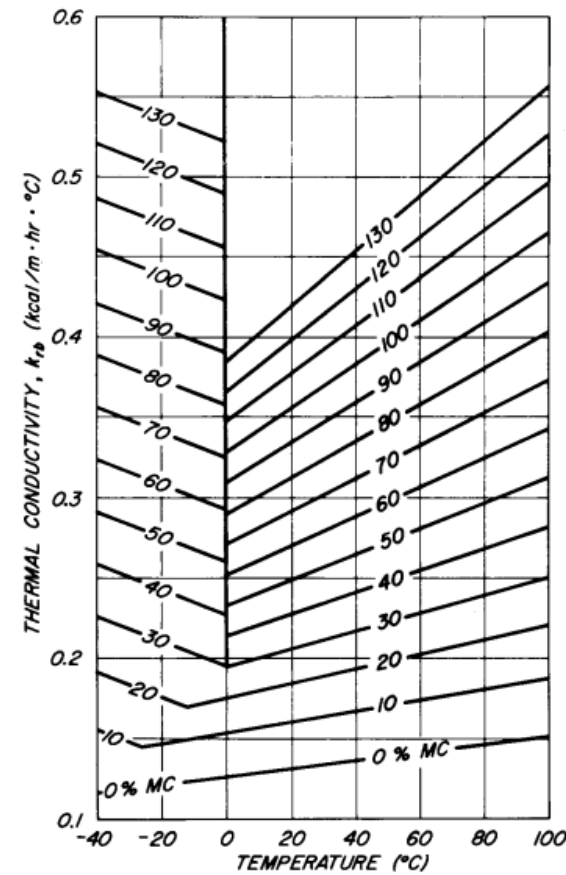
Anmerkung: 1 kcal/mh°C = 1,163 W/mK

Einfluss der Feuchte (Kollmann und Malmquist 1956)



Einfluss der Temperatur und Feuchte

Birkenholz in rad. Richtung in Abhängigkeit von Temperatur u. Holzfeuchte
(Kanter 1957 in Steinhagen 1977)



Anmerkung: 1 kcal/mh°C = 1,163 W/mK

Die Wärmeleitfähigkeit...

- ... steigt mit zunehmender Rohdichte
- ... beträgt in Faserrichtung ca. das Doppelte des Wertes quer zur Faser
- ... steigt mit zunehmender Holzfeuchte
- ... steigt mit zunehmender Temperatur (u = 0 %)

Spezifische Wärmespeicherkapazität von Holz

Spezifische Wärmespeicherkapazität [kJ/kgK]

Einflüsse

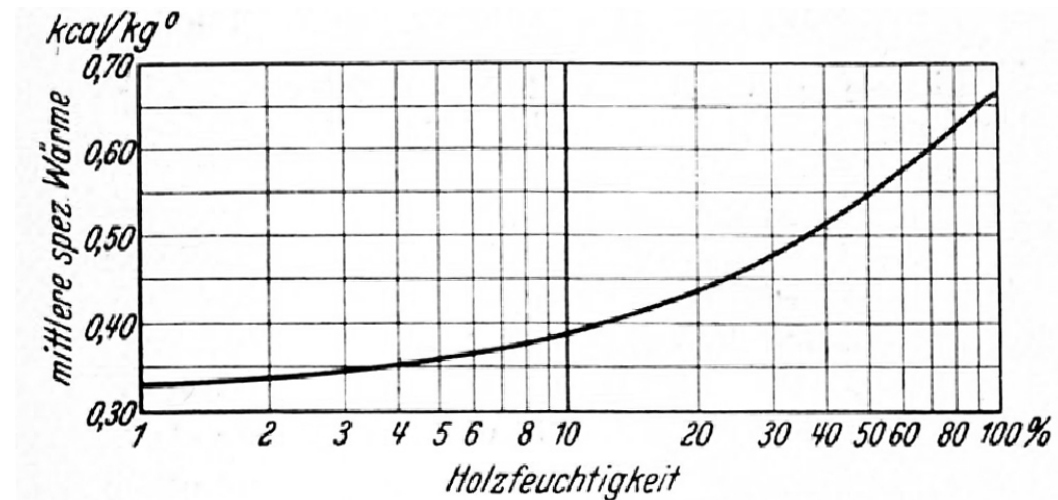
- Feuchtigkeitsgehalt
mit zunehmender Feuchte steigt die spez. Wärmekapazität
- Temperatur
mit zunehmender Temperatur steigt die spez. Wärmekapazität

Mathematische Beschreibung

- Dunlap (1912) in Kollmann (1951)
Deliiski (1977)
Simpson und TenWolde (1999)
Yang (2000)
- Mittelwert: $c = 1,7 \text{ kJ/kgK}$ (bei 17 °C , $u = 12 \%$)

Einfluss der Holzfeuchtigkeit

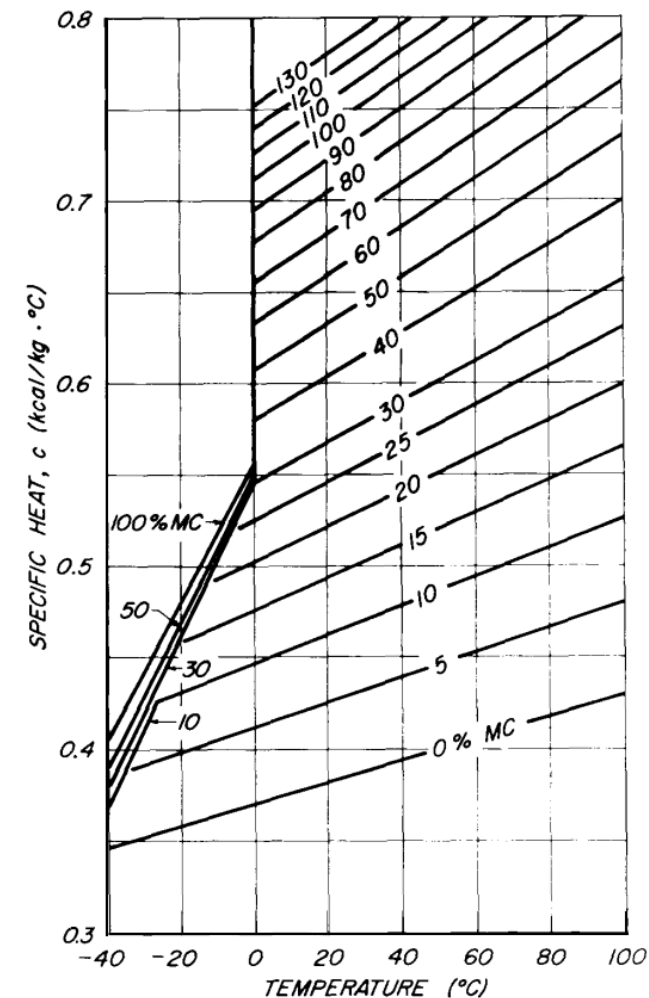
(Kollmann 1951)



Anmerkung: $1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} = 4,186 \text{ kJ/kgK}$

Einfluss der Temperatur und Holzfeuchtigkeit

(nach Kanter 1957 in Steinhagen 1977)



Anmerkung: $1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} = 4,186 \text{ kJ/kgK}$

Äquivalente Wärmeleitfähigkeit von Luftschichten und Lufthohlräumen

Berechnung laut: **ÖNORM EN ISO 6946: 2007**

Wärmetransportarten

- Wärmeleitung
- Wärmestrahlung (und Emissionsgrade der begr. Oberflächen)
- Wärmeströmung (Konvektion)

Geometrie der Lufteinschlüsse

- Orientierung des Hohlraumes (horizontal, **vertikal**, geneigt)
- Dicke in Wärmestromrichtung
- Länge und Breite

Äquivalente Wärmeleitfähigkeit

- je kleiner der Lufteinschluss, desto geringer die äqu. Wärmeleitfähigkeit, desto weniger Konvektion und Wärmestrahlung
- Luftschichten mit **18 mm Dicke** weisen ca. die gleiche Wärmeleitfähigkeit wie Vollholz auf (0,10 W/mK)

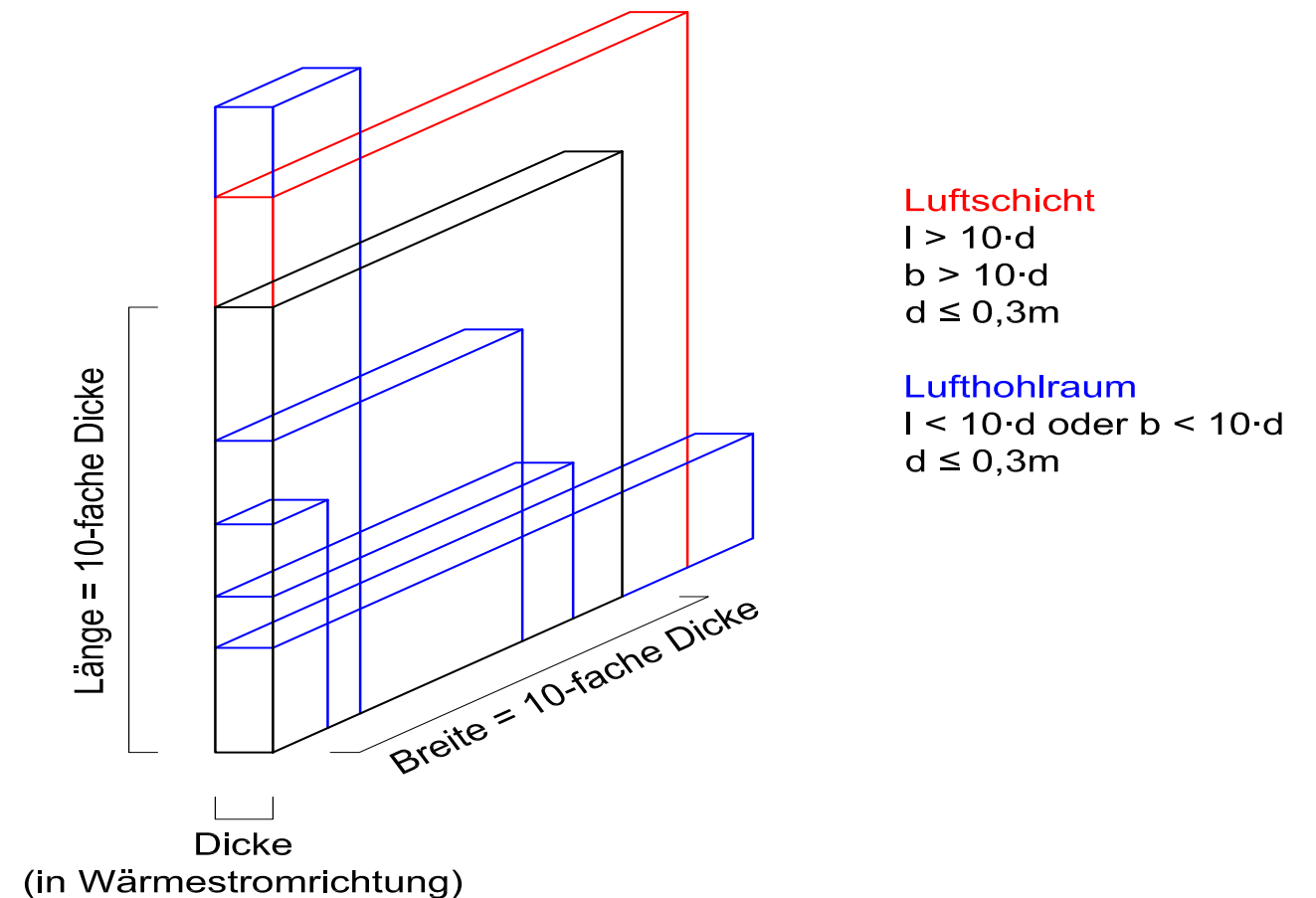
Definition

Luftschicht (LS)

Länge und Breite sind größer als das 10-fache der Dicke

Lufthohlraum (LHR)

Länge und/oder Breite sind kleiner als das 10-fache der Dicke



Äquivalente Wärmeleitfähigkeit von Luftschichten und Lufthohlräumen

Äqu. Wärmeleitfähigkeit von Luftschichten λ_{LS} und Lufthohlräumen λ_{LHR} [W/mK]

Dicke [mm]	Luftschicht	Lufthohlräum																			
		Breite [mm]																			
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1	0,0292	0,0288	0,0290																		
2	0,0334	0,0321	0,0327	0,0329	0,0330																
3	0,0376	0,0349	0,0360	0,0365	0,0368	0,0369	0,0370														
4	0,0419	0,0375	0,0391	0,0399	0,0403	0,0406	0,0408	0,0409	0,0410												
5	0,0461	0,0399	0,0420	0,0431	0,0438	0,0442	0,0445	0,0447	0,0448	0,0450	0,0451										
6	0,0503	0,0422	0,0448	0,0462	0,0470	0,0476	0,0480	0,0483	0,0485	0,0487	0,0488	0,0490	0,0491								
7	0,0545	0,0445	0,0474	0,0491	0,0502	0,0509	0,0514	0,0518	0,0521	0,0524	0,0526	0,0527	0,0529	0,0530	0,0531						
8	0,0587	0,0467	0,0499	0,0520	0,0533	0,0541	0,0548	0,0553	0,0557	0,0560	0,0562	0,0564	0,0566	0,0568	0,0569	0,0570	0,0571				
9	0,0629	0,0489	0,0524	0,0547	0,0562	0,0573	0,0581	0,0587	0,0591	0,0595	0,0598	0,0601	0,0603	0,0605	0,0606	0,0608	0,0609	0,0610	0,0611		
10	0,0671	0,0510	0,0548	0,0573	0,0591	0,0603	0,0612	0,0620	0,0625	0,0630	0,0633	0,0636	0,0639	0,0641	0,0643	0,0645	0,0647	0,0648	0,0649	0,0650	0,0651
11	0,0713	0,0532	0,0571	0,0599	0,0619	0,0633	0,0644	0,0652	0,0658	0,0664	0,0668	0,0672	0,0675	0,0677	0,0680	0,0682	0,0684	0,0685	0,0687	0,0688	0,0689
12	0,0756	0,0553	0,0594	0,0624	0,0646	0,0662	0,0674	0,0683	0,0691	0,0697	0,0702	0,0706	0,0710	0,0713	0,0716	0,0718	0,0720	0,0722	0,0724	0,0726	0,0727
13	0,0798	0,0575	0,0617	0,0649	0,0672	0,0690	0,0704	0,0714	0,0723	0,0730	0,0736	0,0740	0,0745	0,0748	0,0751	0,0754	0,0757	0,0759	0,0761	0,0763	0,0764
14	0,0840	0,0596	0,0639	0,0673	0,0698	0,0718	0,0733	0,0745	0,0754	0,0762	0,0769	0,0774	0,0779	0,0783	0,0787	0,0790	0,0793	0,0795	0,0797	0,0799	0,0801
15	0,0882	0,0617	0,0662	0,0697	0,0724	0,0745	0,0761	0,0774	0,0785	0,0794	0,0801	0,0807	0,0813	0,0817	0,0821	0,0825	0,0828	0,0831	0,0834	0,0836	0,0838
16	0,0924	0,0638	0,0684	0,0720	0,0749	0,0771	0,0789	0,0803	0,0815	0,0825	0,0833	0,0840	0,0846	0,0851	0,0856	0,0860	0,0863	0,0866	0,0869	0,0872	0,0874
17	0,0966	0,0660	0,0706	0,0743	0,0774	0,0798	0,0817	0,0832	0,0845	0,0856	0,0865	0,0872	0,0879	0,0885	0,0890	0,0894	0,0898	0,0902	0,0905	0,0908	0,0910
18	0,1008	0,0681	0,0727	0,0766	0,0798	0,0823	0,0844	0,0860	0,0874	0,0886	0,0896	0,0904	0,0911	0,0918	0,0923	0,0928	0,0932	0,0936	0,0940	0,0943	0,0946
19	0,1050	0,0702	0,0749	0,0789	0,0822	0,0849	0,0870	0,0888	0,0903	0,0916	0,0926	0,0935	0,0943	0,0950	0,0956	0,0962	0,0966	0,0971	0,0975	0,0978	0,0982
20	0,1093	0,0723	0,0771	0,0812	0,0846	0,0874	0,0897	0,0916	0,0932	0,0945	0,0956	0,0966	0,0975	0,0982	0,0989	0,0995	0,1000	0,1005	0,1009	0,1013	0,1017
21	0,1147	0,0757	0,0805	0,0847	0,0882	0,0911	0,0935	0,0955	0,0972	0,0987	0,0999	0,1009	0,1019	0,1027	0,1034	0,1040	0,1046	0,1051	0,1056	0,1060	0,1064
22	0,1202	0,0790	0,0839	0,0881	0,0918	0,0948	0,0973	0,0994	0,1012	0,1028	0,1041	0,1052	0,1062	0,1071	0,1078	0,1085	0,1092	0,1097	0,1102	0,1107	0,1111
23	0,1256	0,0824	0,0873	0,0916	0,0953	0,0985	0,1011	0,1033	0,1052	0,1068	0,1082	0,1094	0,1105	0,1114	0,1123	0,1130	0,1137	0,1143	0,1148	0,1153	0,1158
24	0,1311	0,0858	0,0907	0,0950	0,0989	0,1021	0,1048	0,1072	0,1092	0,1109	0,1124	0,1136	0,1148	0,1158	0,1167	0,1174	0,1182	0,1188	0,1194	0,1199	0,1204
25	0,1366	0,0891	0,0940	0,0985	0,1024	0,1057	0,1086	0,1110	0,1131	0,1149	0,1165	0,1178	0,1190	0,1201	0,1210	0,1219	0,1226	0,1233	0,1239	0,1245	0,1250
26	0,1420	0,0925	0,0974	0,1019	0,1059	0,1093	0,1123	0,1148	0,1170	0,1189	0,1205	0,1219	0,1232	0,1243	0,1253	0,1262	0,1270	0,1278	0,1284	0,1291	0,1296
27	0,1475	0,0958	0,1008	0,1054	0,1094	0,1129	0,1159	0,1186	0,1208	0,1228	0,1245	0,1261	0,1274	0,1286	0,1296	0,1306	0,1314	0,1322	0,1329	0,1336	0,1342
28	0,1530	0,0992	0,1042	0,1088	0,1129	0,1165	0,1196	0,1223	0,1247	0,1267	0,1285	0,1301	0,1315	0,1328	0,1339	0,1349	0,1358	0,1366	0,1374	0,1381	0,1387
29	0,1584	0,1026	0,1076	0,1122	0,1164	0,1200	0,1232	0,1260	0,1285	0,1306	0,1325	0,1342	0,1357	0,1370	0,1381	0,1392	0,1402	0,1410	0,1418	0,1425	0,1432
30	0,1639	0,1059	0,1109	0,1156	0,1198	0,1236	0,1269	0,1298	0,1323	0,1345	0,1365	0,1382	0,1397	0,1411	0,1424	0,1435	0,1445	0,1454	0,1462	0,1470	0,1477

Farbe	0,02 - 0,04		0,04 - 0,06		0,06 - 0,08		0,08 - 0,10		0,10 - 0,12		0,12 - 0,14		0,14 - 0,17	
[W/mK]														

Anmerkung: Berechnung laut ÖNORM EN ISO 6946: 2007 (Wärmestrom: horizontal; Wärmübergangskoeffizient $h_{r0} = 5,1$ [W/m²K]; Emissionsgrad $\epsilon_1 = \epsilon_2 = 0,9$ [-])

3 Konstruktionstechnische Umsetzung

Wandbildende Holzbausysteme

Brettsperrholz (verleimt, gedübelt, genagelt)

Brettstapelholz (genagelt)

Brettschichtholz (verleimt)

Parameter für Geometrie, Abmessung, Anordnung und Anzahl der Lufteinschlüsse

Äquivalente Wärmeleitfähigkeit von Luftschicht bzw. Lufthohlraum

– Geometrie der Lufteinschlüsse (Kreis vs. Rechteck)

Äquivalente Wärmeleitfähigkeit von Massivholz mit Lufteinschlüssen

– Anteil der Lufteinschlüsse

– Wärmebrückenwirkung

Tragfestigkeit (des verbleibenden Holzes)

– Abschätzung

Dicke des verbleibenden Holzes: min 5 mm

Anteil der Hohlräume max. ~ 40 %

Brettdicke / Dicke der Konstruktion

– je dicker das Brett, desto mehr Lufteinschlüsse gereiht

Fräswerkzeug (technische Realisierung)

– Grenzen der derzeitigen Technologien

Art der Fügung (Verleimung oder mechanische Verbindung)

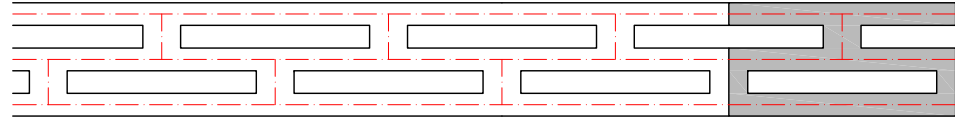
– Fräsung an der Brettoberfläche bedingt mechanische Verbindung

– Fräsung innerhalb der Brettlage ermöglicht Verleimung

Anordnung der Lufteinschlüsse bei Querfräsungen

Ansatz zur optimierten Wärmedämmung

Anordnung versetzt, Wärmebrücken minimiert

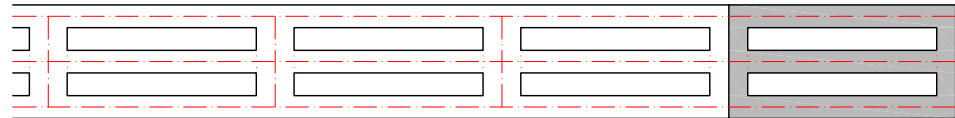


LHR-Anteil: ca. 33,3%

Ansätze zur höheren Festigkeit

„Vierendeel-Träger“

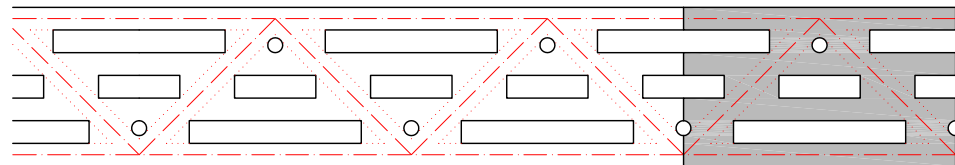
Anordnung ortogonal, gerade



LHR-Anteil: ca. 33,3%

„Fachwerk-Träger“ (45°)

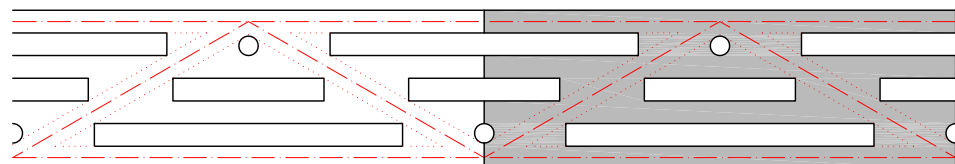
Anordnung dreiecksbildend



LHR-Anteil: ca. 27,4%

„Fachwerk-Träger“ (30°)

Anordnung dreiecksbildend

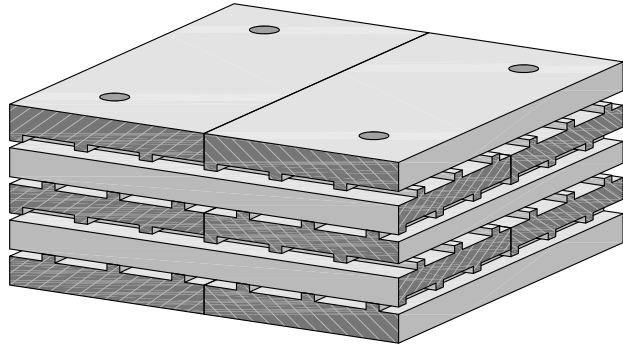


LHR-Anteil: ca. 28,6%

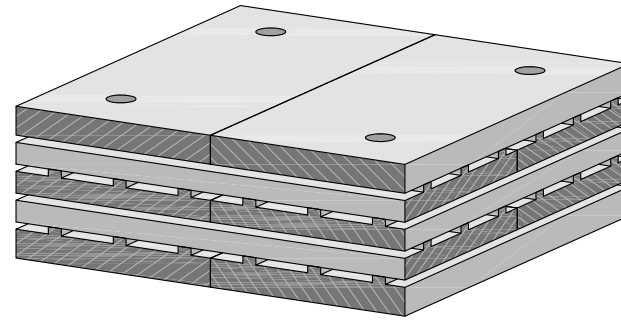
Konstruktionsarten

Längsfräsungen

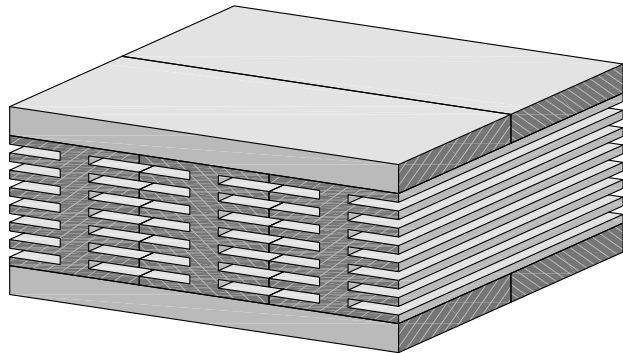
Brettsperrholz aus längsgefrästen Brettlagen (verdübelt)
beidseitige Fräsung



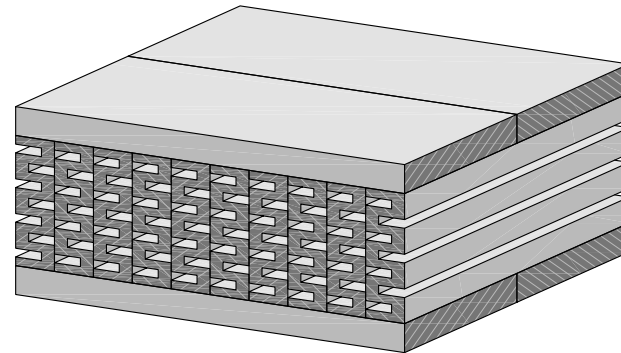
einseitige Fräsung



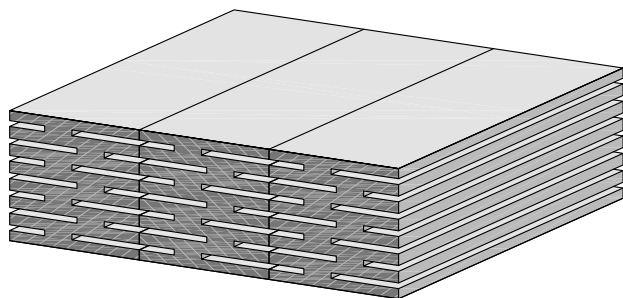
Brettsperrholz
längsgefräste Kanthölzer als Mittellage
Variante: gerade



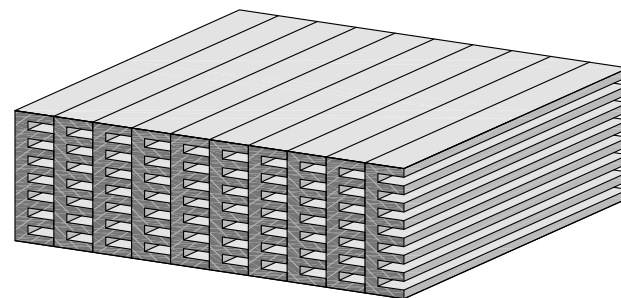
längsgefräste Hochkant-Bretter als Mittellage
Variante: versetzt



Brettschichtholz oder Brettstapelholz
aus längsgefrästen Kanthölzern
Variante: versetzt



aus längsgefrästen Hochkant-Brettern
Variante: gerade, einseitig

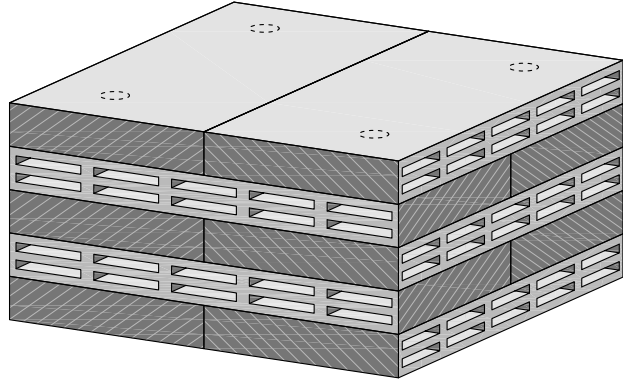


Konstruktionsarten

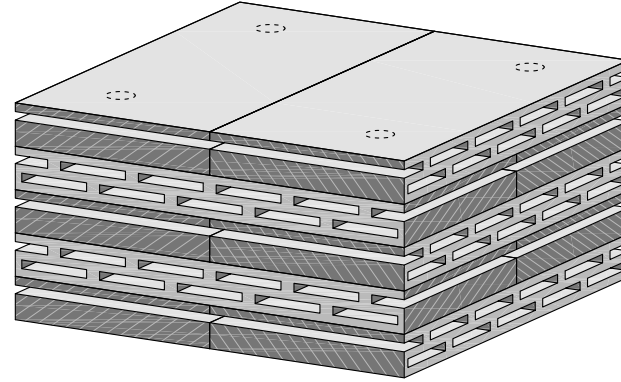
Querfräsungen

Brettersperrholz aus quergefrästen Brettlagen (verleimt oder verdübelt)

gerade



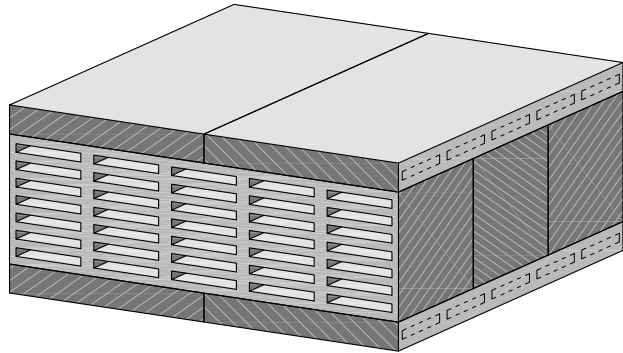
versetzt



Brettsperrholz

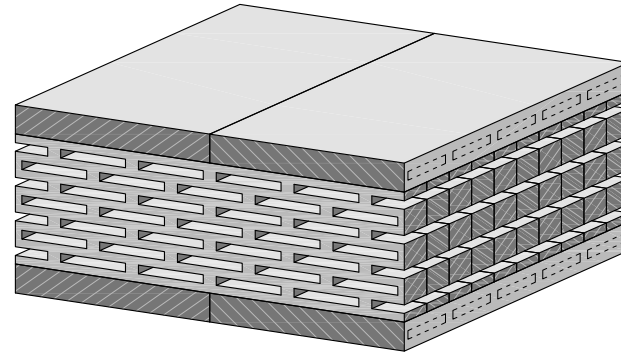
quergefräste Kanthölzer als Mittellage

Variante: gerade



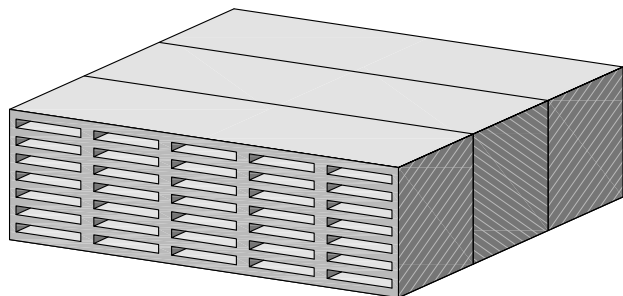
quergefräste Hochkant-Bretter als Mittellage

Variante: versetzt



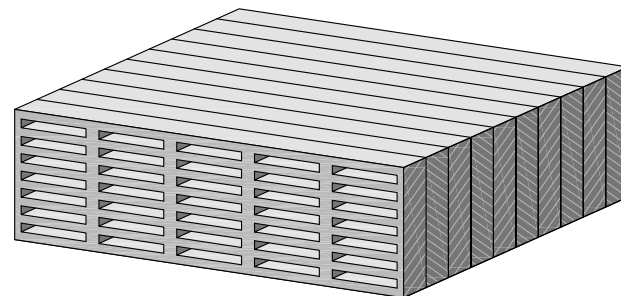
Brettschichtholz oder Brettstapelholz
aus quergefrästen Kanthölzern

Variante: gerade



aus quergefrästen Hochkant-Brettern

Variante: gerade



Herstellungsprozess der Lufteinschlüsse

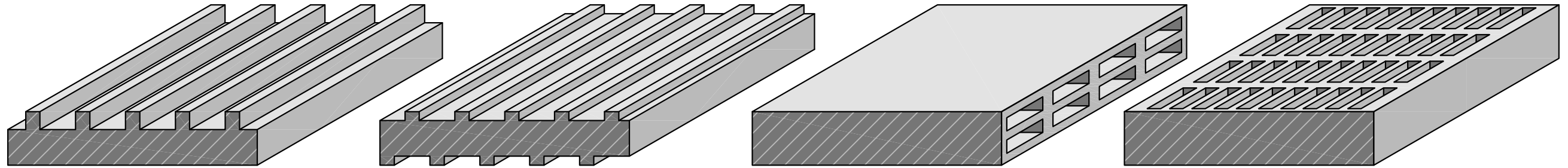
Fräsrichtung

Längs zur Faser

– ein- oder beidseitig an den Brettoberflächen

Quer zur Faser

– normal zur bzw. an der Brettseite oder Brettoberfläche, Brettoberflächen oder Brettseiten bleiben erhalten



- Fräsrichtung **längs** zur Faser
- an der Brettoberfläche
- einseitig

- Fräsrichtung **längs** zur Faser
- an der Brettoberfläche
- beidseitig

- Fräsrichtung **quer** zur Faser
- an der Brettseite

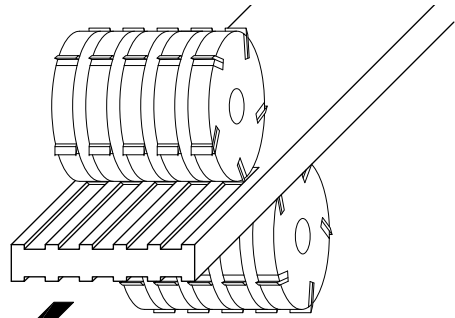
- Fräsrichtung **quer** zur Faser
- an der Brettoberfläche

Herstellungsprozess der Lufteinschlüsse

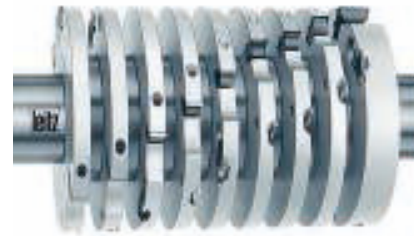
Werkzeuge für die Längsbearbeitung

Hobelmesserkopf mit Profileinsatz in Vier-Seiten Hobelmaschine oder Nutmesserkopf in Profilfräsmaschine

- für wenig tiefe, breite Schlitz
- für Einbau in Vierseitenhobelmaschine (Profilieren und Hobeln in einem Arbeitsgang)
- für Einbau in Profilfräsmaschine



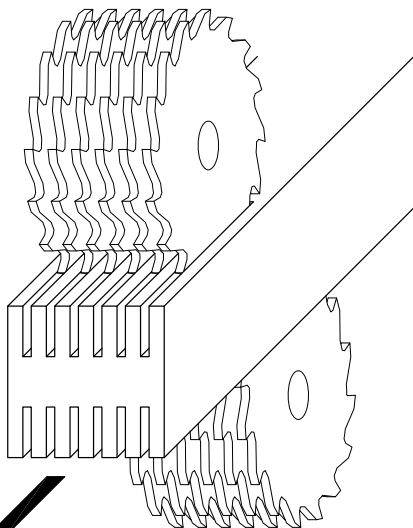
Hobelmesserkopf mit Profileinsatz



Nutmesserkopf

Mehrblatt-Kreissägemaschine (ein- oder zweiwellig)

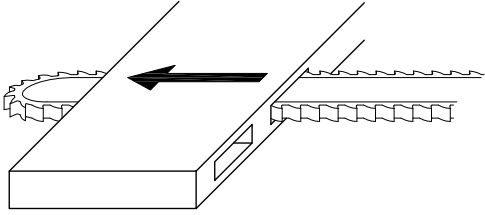
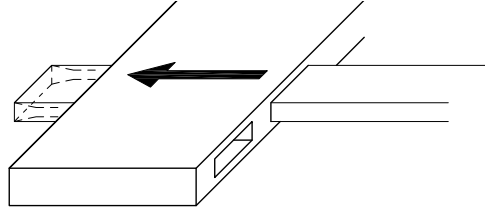
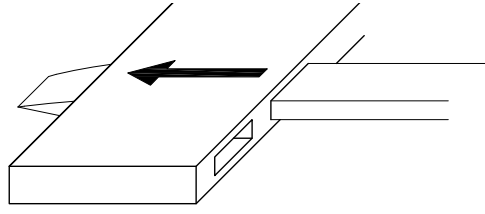
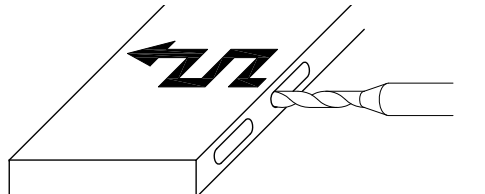
- für tiefe, dünne Schlitz
- Schnittbreite 1,2 - 6 mm (Längsschnittkreissägeblatt - Dünnschnittkreissägeblatt)
- für Einbau in Mehrblatt-Kreissägemaschine



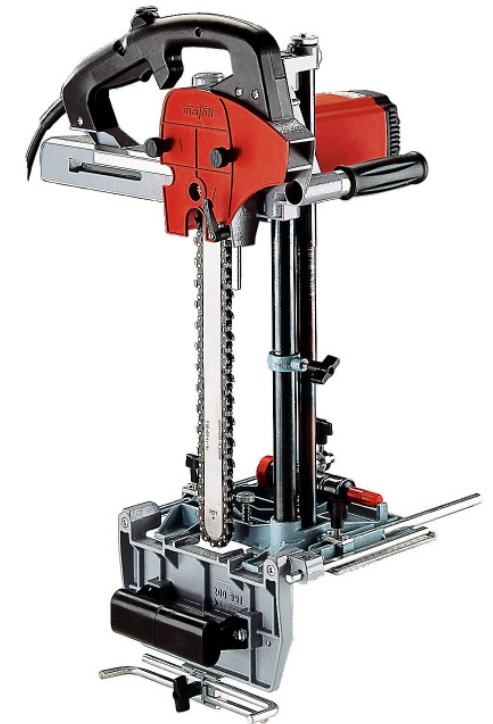
Zweiwellige Mehrblatt-Kreissägemaschine

Herstellungsprozess der Lufteinschlüsse

Werkzeuge für die Querbearbeitung

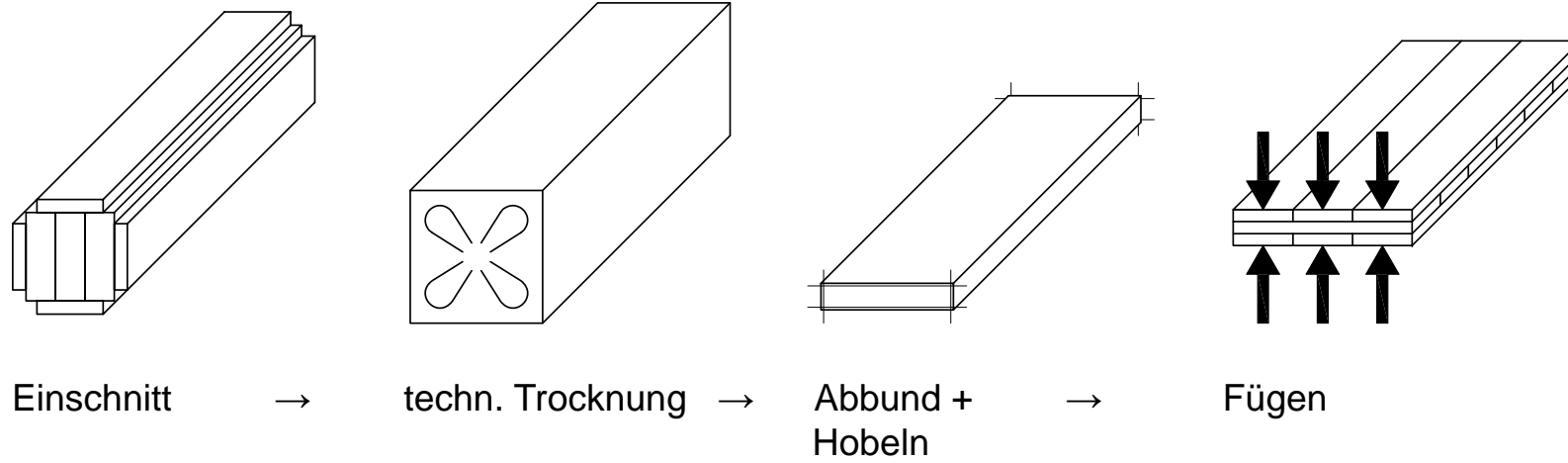
Werkzeug	Erklärung	Vorteil	Nachteil
Kettenschlitzfräsen			
	Fräskette (Stemmkette) Schlitzbreite 6 - 40 mm Schlitzlänge ab 36 - 50 mm Schlitztiefe: bis 400 mm (Technik wird bereits verwendet)	Spanabnahme auf viele Zähne verteilt Sägespäne als Kuppelprodukt Fräsvorgang schnell Fräsvorgang in 1 Richtung	Schlitzbreite min. 6mm
Stanzen			
	hohles Schneidwerkzeug Holzrest mit Druckluft entfernt (Technik noch nicht entwickelt - Leistungsfähigkeit unbekannt)	einfaches Werkzeug Stanzvorgang schnell	Holzreste sind zu zerspanen Schnitt durch 1 Messer
Verdichten			
	Schneidwerkzeug verdrängt Holz Gegendruck verhindert Ausrisse (Technik noch nicht entwickelt - Leistungsfähigkeit unbekannt)	einfaches Werkzeug Verdichtungsprozess schnell spezif. Wärmekapazität des verdichteten Holzes steigt	kein Sägespäneanfall Wärmeleitfähigkeit des verdichteten Holzes steigt
Langlochfräsbohren oder Pendelschlitzfräsen			
	Langlochfräsbohrer Schlitzbreite 6 - 24 mm Schlitztiefe max. 120 - 195 mm Pendelschlitzfräser Schlitzbreite 6 - 13 mm Schlitztiefe max. 90 - 120 mm (Technik wird bereits verwendet)	Sägespäne als Kuppelprodukt	Fräsvorgang stufenweise Fräsvorgang langsam Spanabnahme mit 1 Schneide geringe Schlitztiefe

Kettenschlitzfräse
Schlitzgerät SG 230
(Fa. Mafell)

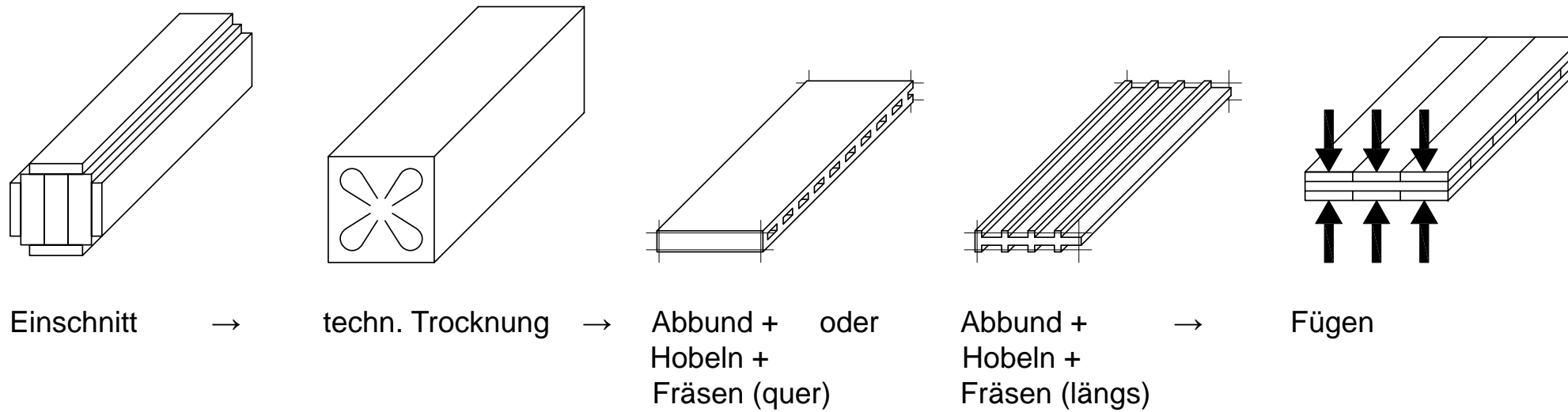


Herstellungprozess der Massivholzplatte

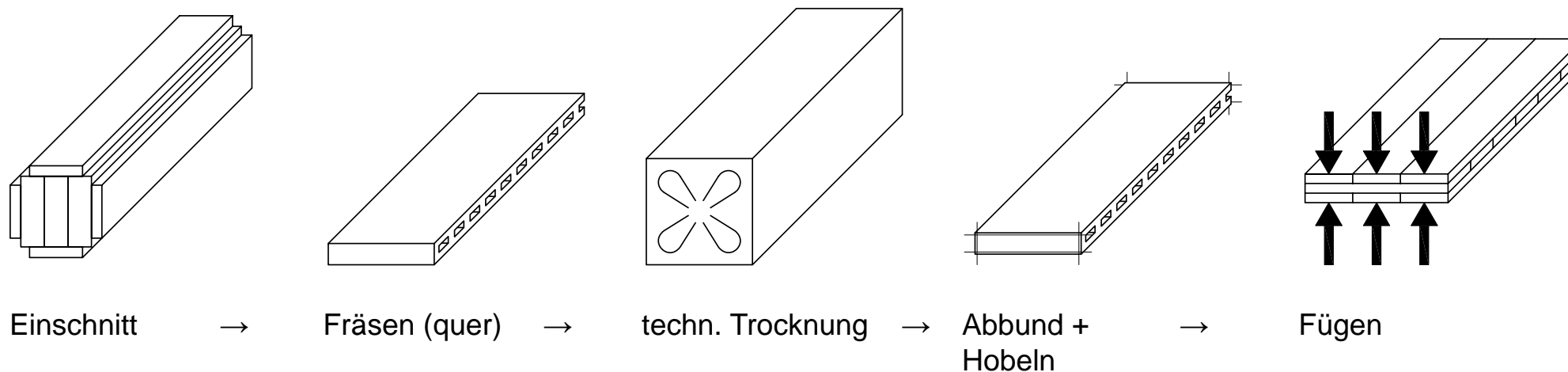
Herstellungprozess von Brettsperrholz



Herstellungprozess von Brettsperrholz mit Lufteinschlüssen (technische Trocknung **vor** dem Fräsen)



Herstellungprozess von Brettsperrholz mit Lufteinschlüssen (technische Trocknung **nach** dem Fräsen)



4 Berechnungsverfahren zur Analyse des thermischen Verhaltens und deren Anwendung

Berechnungsverfahren zur Ermittlung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit von Massivholz mit LS-Anteil bzw. LHR-Anteil

2 stationäre Berechnungsverfahren

Dreidimensionale numerische Berechnung

- dreidimensionale stationäre Wärmestromsimulation mit dem thermischen Simulationsprogramm **AnTherm**
- Berücksichtigung von konstruktionsbedingten Wärmebrücken
- genauere Ergebnisse gegenüber der eindimensionalen seriellen Berechnung

Eindimensionale serielle Berechnung

- gute Annäherung zum Ergebnis der dreidimensional numerischen Berechnung (**Abweichung 1 bis 2 Prozent**)
- Berechnung gilt nur für Weichholz (aufgrund der niedrigen Wärmeleitfähigkeit)
- Berechnung über den Holzanteil und den Anteil der Lufteinschlüsse in Prozent
- Umformen der Formel für den Wärmedurchgangswiderstand R

Herleitung:

$$R = \sum \frac{d}{\lambda} \quad R_{H+LE} = \frac{d_H}{\lambda_H} + \frac{d_{LE}}{\lambda_{LE}} \quad R_{H+LE} = \frac{d \cdot H\%}{\lambda_H} + \frac{d \cdot LE\%}{\lambda_{LE}} \quad R_{H+LE} = \frac{d}{\lambda_{H+LE}} = \frac{d \cdot H\%}{\lambda_H} + \frac{d \cdot LE\%}{\lambda_{LE}} \quad \frac{1}{\lambda_{H+LE}} = \frac{H\%}{\lambda_H} + \frac{LE\%}{\lambda_{LE}}$$

Äquivalente Wärmeleitfähigkeit von Holz mit Lufteinschluss-Anteil

$$\lambda_{H+LE} = \frac{1}{\frac{H\%}{\lambda_H} + \frac{LE\%}{\lambda_{LE}}}$$

λ_{H+LE} ... äqu. Wärmeleitfähigkeit von Holz mit Luftschicht-Anteil [W/mK]

λ_H Wärmeleitfähigkeit von Holz [W/mK]

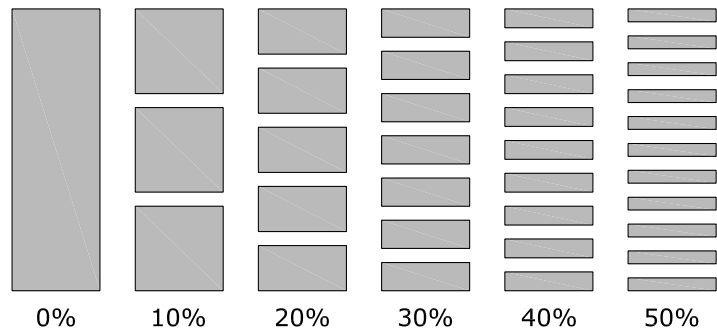
λ_{LE} äqu. Wärmeleitfähigkeit des Lufteinschlusses (Luftschicht oder Lufthohlraum) [W/mK]

H%... Holz-Anteil [%]

LE% . Lufteinschluss-Anteil [%]

Einfluss der Wärmeleitfähigkeit von Holz bei Massivholz mit LS-Anteil

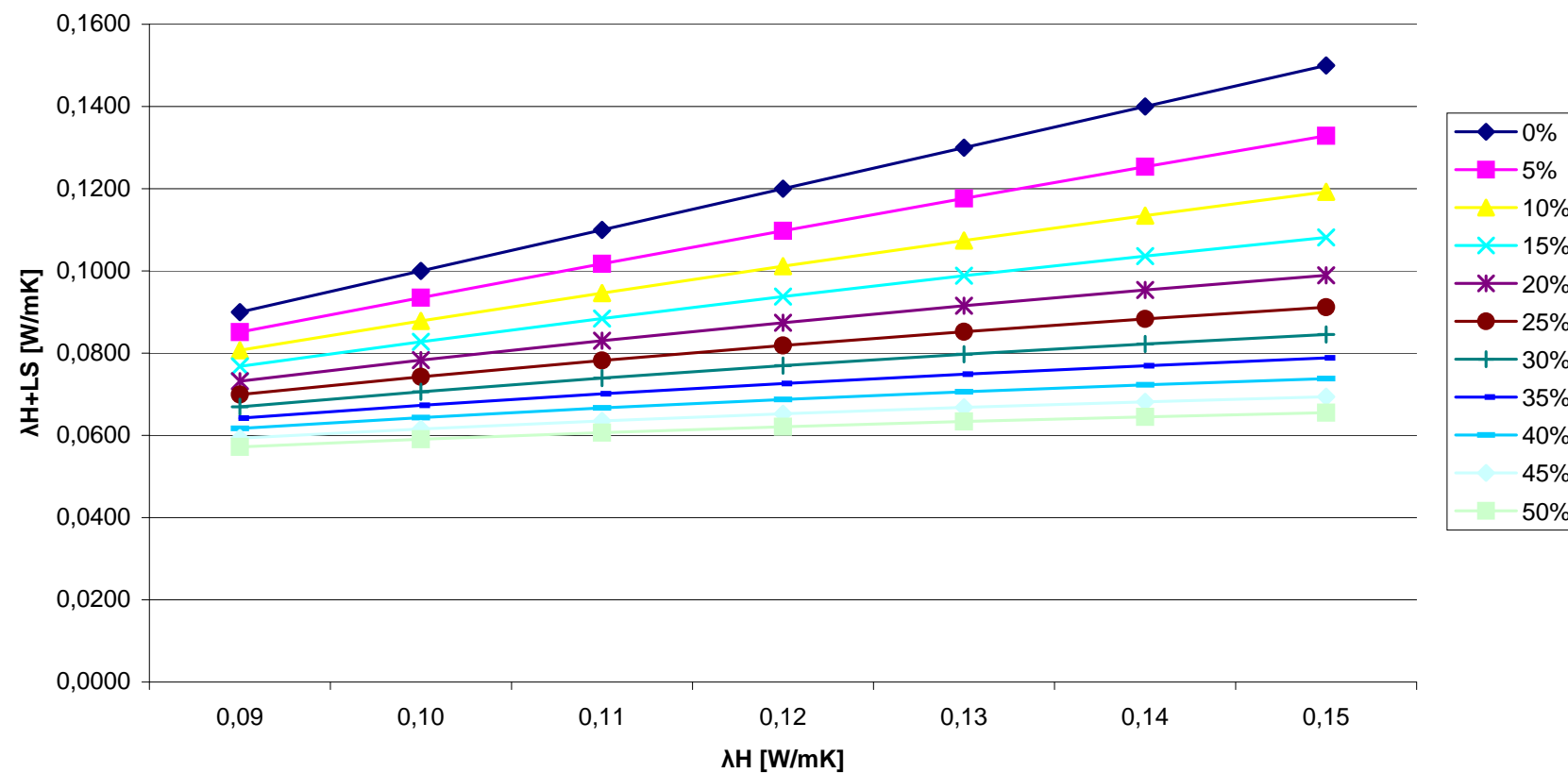
Massivholz mit unterschiedlichen Luftschichtanteilen [%]



Parameter

- Wärmeleitfähigkeit Holz, $\lambda_H = 0,09 - 0,15 \text{ W/mK}$
- Luftschichtdicke 4 mm, $\lambda_{LS} = 0,0419 \text{ W/mK}$
- Luftschichtanteil: 0 - 50 %

Äqu. Wärmeleitfähigkeit von Massivholz mit bestimmtem Luftschichtanteil bei unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit von Holz



Einfluss der Wärmeleitfähigkeit von Holz

- mit zunehmender Wärmeleitfähigkeit wird der Einfluss der Luftschichten größer
- realistische Annahme der Wärmeleitfähigkeit notwendig
- für weitere Berechnungen: 0,1 W/mK
- Messwerte aus Literatur: 0,09 und 0,12 W/mK

Äquivalente Wärmeleitfähigkeit von Massivholz mit LS-Anteil

Einfluss von Lufteinschlüssen mit unterschiedlicher äquivalenter Wärmeleitfähigkeit

- Anteil der Luftschichten: 0 - 50 %
- Dicke der Luftschichten: 3 - 10 mm
- gilt auch für Lufthohlräume mit gleicher äqu. Wärmeleitfähigkeit

Auswahlkriterien

- technische Machbarkeit
- mindestens 20 % Verringerung
- Begrenzung auf 40 % Anteil an Hohlräumen

Verringerung [%] der Wärmeleitfähigkeit von Massivholz mit LS-Anteil ($\lambda_H = 0,1 \text{ W/mK}$)

LS-Anteil [%]	LS-Dicke, λ_{H+LS}								[mm] [W/mK]
	3	4	5	6	7	8	9	10	
	0,0376	0,0419	0,0461	0,0503	0,0545	0,0587	0,0629	0,0671	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	-3	-3	-2	-2	-2	-1	-1	-1	
4	-6	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	
6	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-3	
8	-12	-10	-9	-7	-6	-5	-5	-4	
10	-14	-12	-10	-9	-8	-7	-6	-5	
12	-17	-14	-12	-11	-9	-8	-7	-6	
14	-19	-16	-14	-12	-10	-9	-8	-6	
16	-21	-18	-16	-14	-12	-10	-9	-7	
18	-23	-20	-17	-15	-13	-11	-10	-8	
20	-25	-22	-19	-17	-14	-12	-11	-9	
22	-27	-23	-20	-18	-16	-13	-11	-10	
24	-28	-25	-22	-19	-17	-14	-12	-11	
26	-30	-26	-23	-20	-18	-15	-13	-11	
28	-32	-28	-25	-22	-19	-16	-14	-12	
30	-33	-29	-26	-23	-20	-17	-15	-13	
32	-35	-31	-27	-24	-21	-18	-16	-14	
34	-36	-32	-28	-25	-22	-19	-17	-14	
36	-37	-33	-30	-26	-23	-20	-18	-15	
38	-39	-35	-31	-27	-24	-21	-18	-16	
40	-40	-36	-32	-28	-25	-22	-19	-16	
42	-41	-37	-33	-29	-26	-23	-20	-17	
44	-42	-38	-34	-30	-27	-24	-21	-18	
46	-43	-39	-35	-31	-28	-24	-21	-18	
48	-44	-40	-36	-32	-29	-25	-22	-19	
50	-45	-41	-37	-33	-29	-26	-23	-20	

[%]

Berechnungsbeispiel: Thoma Holz100 - Brettsperrholz

Wärmeleitfähigkeit laut Hersteller

- $\lambda = 0,079 \text{ W/mK}$
- ca. **50 % Verbesserung**
- im Vergleich zu $\lambda_H = 0,15 \text{ W/mK}$

Wärmeleitfähigkeit laut Prüfbericht

- Wärmedurchlassdiderstand $R = 5,26 \text{ m}^2\text{K/W}$
- $\lambda = 0,0833 \text{ W/mK}$ (bei Rückrechnung)

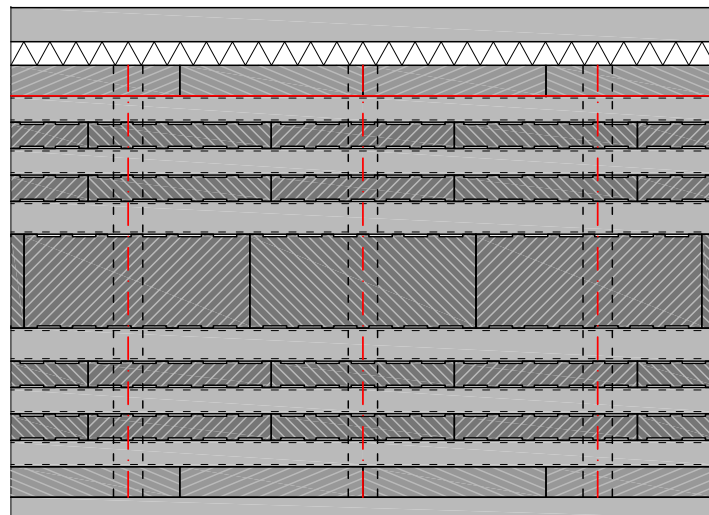
Simulation mit „AnTherm“

- Basis: $\lambda_H = 0,100$ und $0,095 \text{ W/mK}$
- $\lambda = 0,0840 - 0,0873 \text{ W/mK}$
- ca. **7 - 8 % Verbesserung**
- Achtung: Wandaufbau mit Holzweichfaserpl.

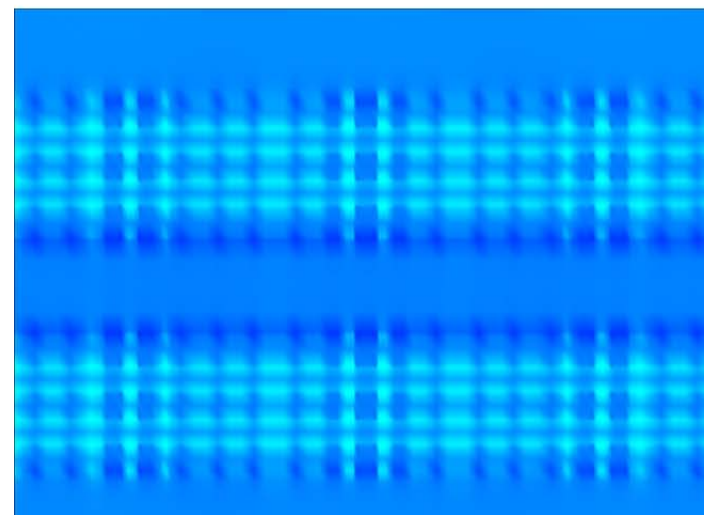
Ergebnisse der thermischen Simulation von „Holz100“-Brettsperrholz (Berechnung mittels AnTherm)

Wandaufbau mit Vollholz vs. Wandaufbau mit „Holz 100“	Abmessungen			Holz	Buchen- holzdübel	Luft- ein- schluss	Holzweich- faserplatte	thermische Auswertung			
	l	b	d	λ_H	$\lambda_{ }$	λ_{LS}	λ	λ	therm. Leitwert	U	R
	[mm]	[mm]	[mm]	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]	[W/K]	[W/m ² K]	[m ² K/W]
Var. 1 (Vollholz)	600	600	438	0,100	-	-	0,045	0,0947	0,075087	0,209	4,624
Var. 1 (Holz100)					0,300	0,0334		0,0873	0,069427	0,193	5,015
										Diff. [%]	Diff. [%]
Var. 2 (Vollholz)	600	600	438	0,095	-	-	0,045	0,0904	0,071793	0,199	4,844
Var. 2 (Holz100)					0,300	0,0334		0,0840	0,066881	0,186	5,213
										Diff. [%]	Diff. [%]

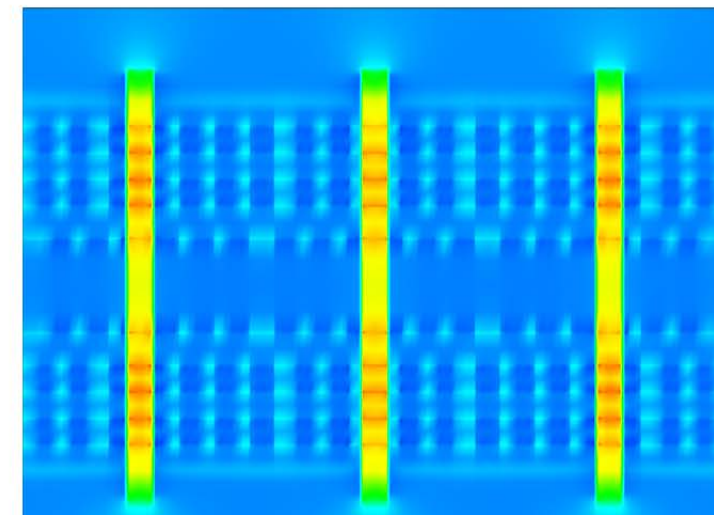
Wandaufbau (Dicke = 438 mm)



Wärmestrombild von Holz100

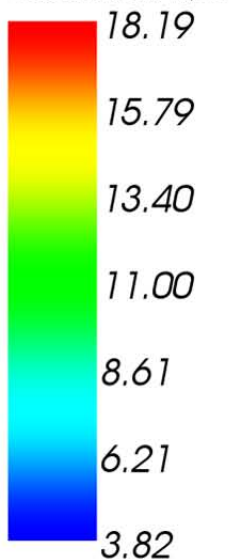


Schnitt neben Dübel



Schnitt durch Dübel

Wärmestrom W/m²



Berechnung der thermischen Wirkung unterschiedlicher Konstruktionen

Exceltabelle zur eindimensionalen seriellen Berechnung der Wärmeleitfähigkeit

- gute Annäherung zur dreidimensionalen thermischen Simulation
- automatische Unterscheidung zwischen Luftschichten und Lufthohlräumen
- Berechnung von Holz- und Luft-Anteilen
- Berechnung der Wärmeleitfähigkeit und des U-Wertes
- Berechnung der Verbesserung gegenüber Vollholz

zu definierende Parameter

d_{LE}	[mm]	Dicke* des Lufteinschlusses
b_{LE}	[mm]	Breite des Lufteinschlusses
n_{LE}	[-]	Anzahl der Lufteinschluss-Schichten pro Brett, Kantholz oder Hochkantbrett
d_H	[mm]	Dicke* des Holzes zwischen den Lufteinschlüssen bzw. der Oberfläche
a_H	[mm]	Abstand des Holzes zwischen den Lufteinschlüssen
n_B	[-]	Anzahl der Brettschichten mit Lufteinschlüssen (bei BSP: ungerade, bei BSH oder BST: 1)
d_{OB}	[mm]	wenn vorhanden: Dicke der äußersten Brettlage (ohne Lufteinschlüsse)
λ_H	[W/mK]	Wärmeleitfähigkeit des Holzes
R_i	[m ² K/W]	innerer Wärmeübergangswiderstand
R_a	[m ² K/W]	äußerer Wärmeübergangswiderstand

Ergebnisse

LE-Anteil	[%]	Anteil der Lufteinschlüsse
H-Anteil	[%]	Anteil des Holzes
λ_{LE}	[W/mK]	äqu. Wärmeleitfähigkeit des Lufthohlraumes oder der Luftschicht
λ_{H+LE}	[W/mK]	äqu. Wärmeleitfähigkeit des Holzes mit Lufteinschlüssen
Diff. (zu λ_H)	[%]	Verbesserung der äqu. Wärmeleitfähigkeit des Holzes mit Lufteinschlüssen
R_{H+LE}	[m ² K/W]	Wärmedurchgangswiderstand des Holzes mit Lufteinschlüssen
U_{H+LE}	[W/m ² K]	Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) des Holzes mit Lufteinschlüssen
Diff. (zu U_H)	[%]	Verbesserung des U-Wertes von Holz mit Lufteinschlüssen

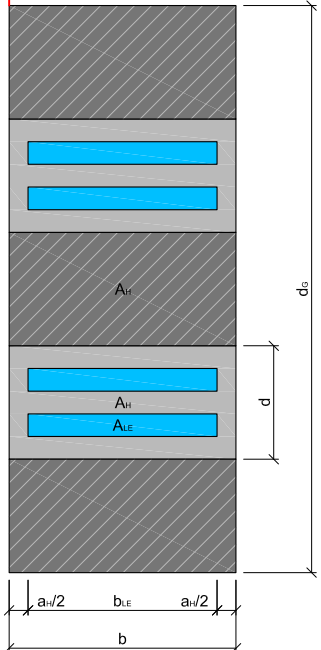
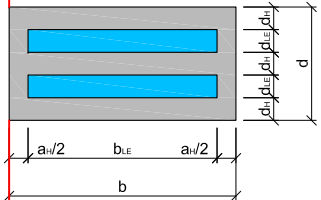
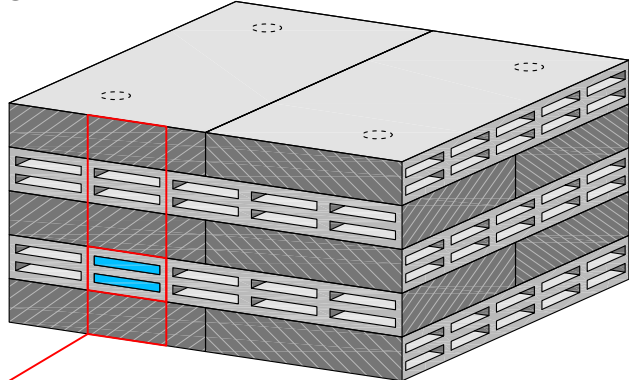
* Anmerkung: Der Parameter „Dicke“ bezieht sich jeweils auf die Abmessung in Wärmestromrichtung.

Berechnung der thermischen Wirkung unterschiedlicher Konstruktionen

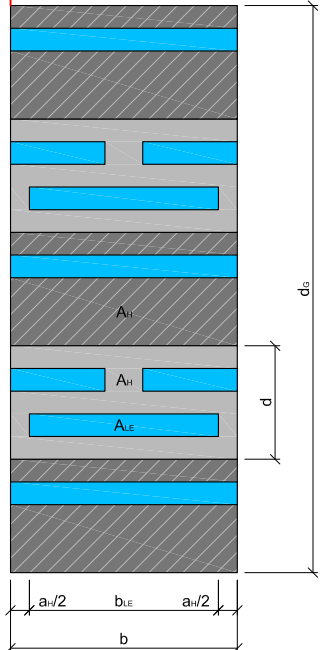
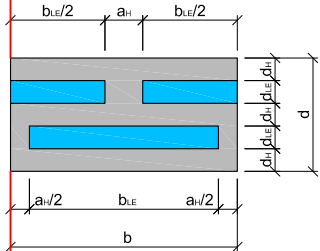
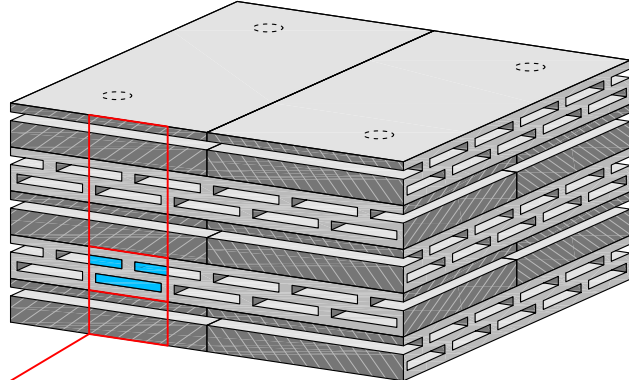
Brettsperrholz aus quergefrästen Brettlagen

- Anordnung der LE gerade oder versetzt
- verleimt oder verdübelt (Berechnung berücksichtigt die Dübel nicht)

gerade



versetzt



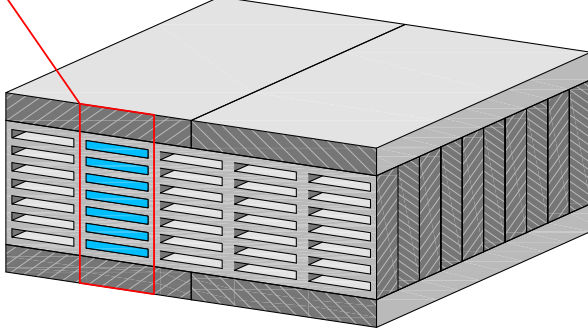
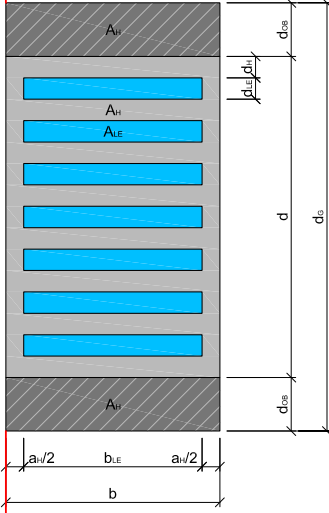
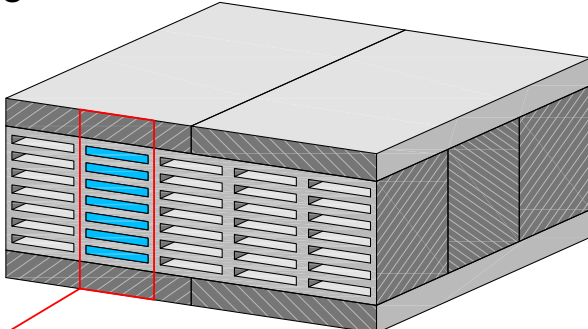
Berechnung der thermischen Wirkung unterschiedlicher Konstruktionen

Brettsperrholz mit quergefrästen Kanthölzern oder Hochkantbrettern als Mittellage

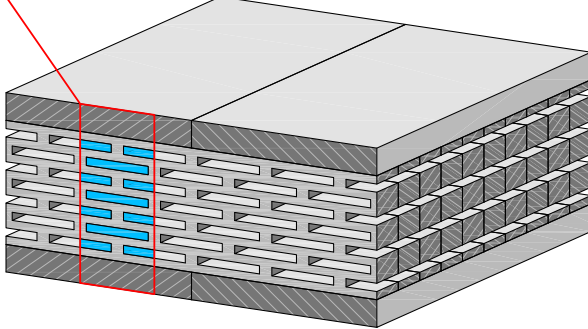
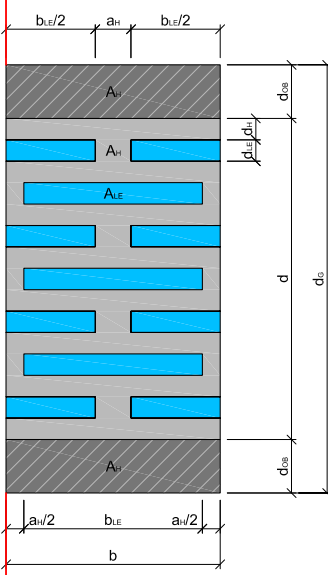
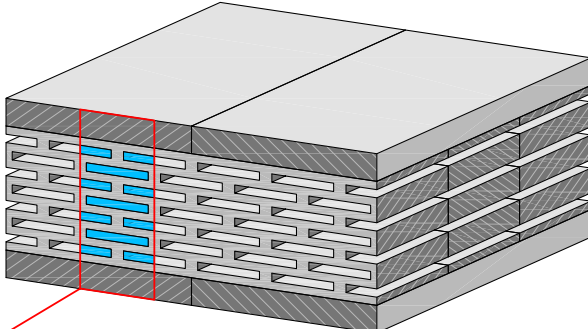
- Anordnung der LE gerade oder versetzt
- Decklagen verleimt, Seitenverleimung der Mittellage möglich

Quergefräste **Kanthölzer** als Mittellage

gerade



versetzt



Quergefräste **Hochkantbretter** als Mittellage

gerade

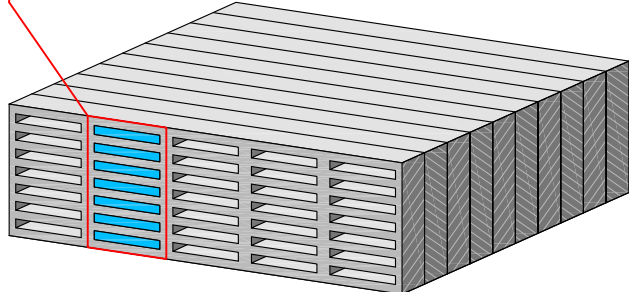
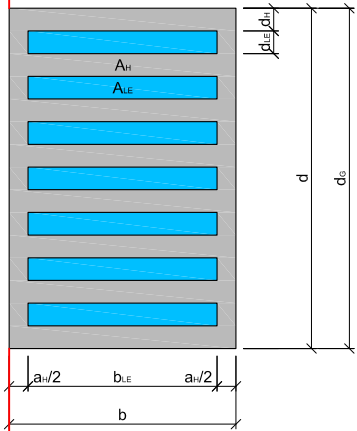
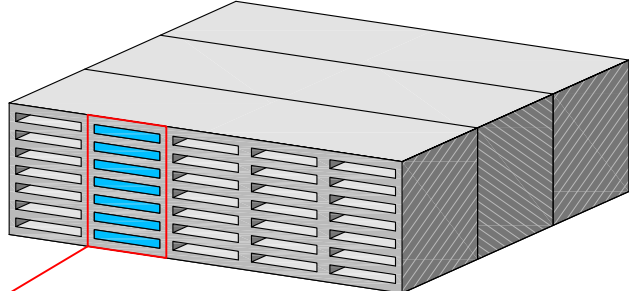
versetzt

Berechnung der thermischen Wirkung unterschiedlicher Konstruktionen

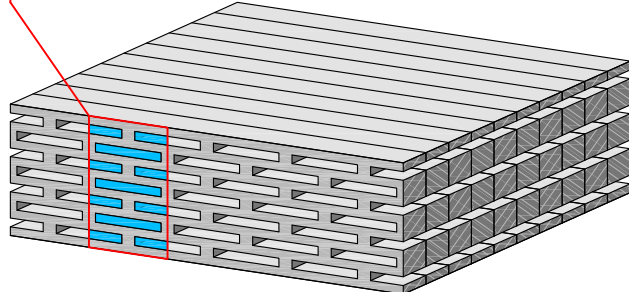
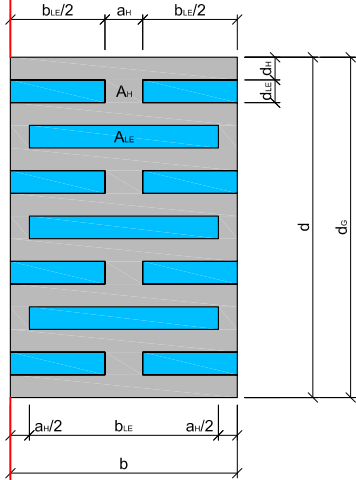
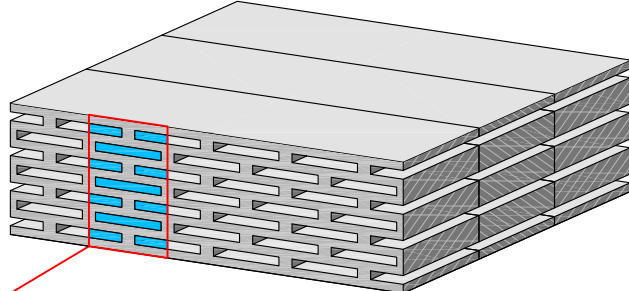
Brettschichtholz oder Brettstapelholz aus quergefrästen Kanthölzern oder Hochkantbrettern

- Anordnung der LE gerade oder versetzt
- verleimt (oder fremde Feder)
(je nach Hohlraumanteil erscheint eine Verdübelung oder Nagelung problematisch)

Quergefräste Kanthölzer gerade



versetzt



Quergefräste Hochkantbretter gerade



versetzt

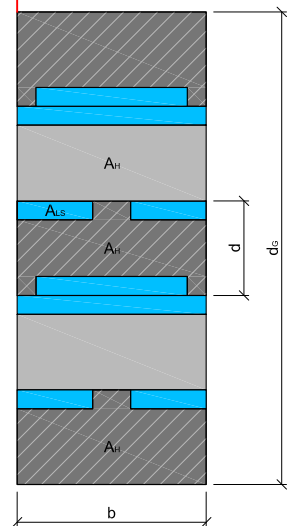
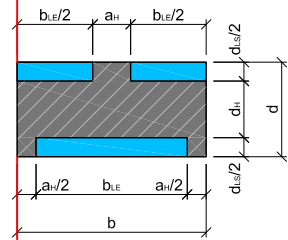
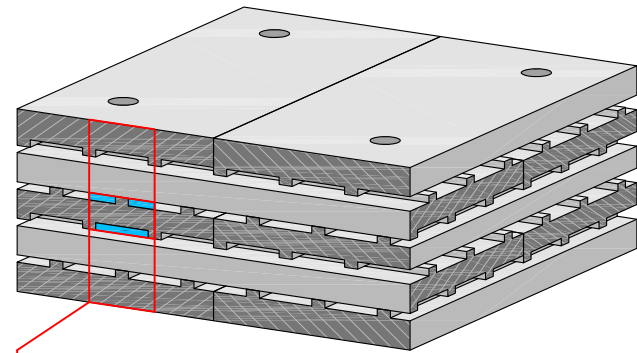


Berechnung der thermischen Wirkung unterschiedlicher Konstruktionen

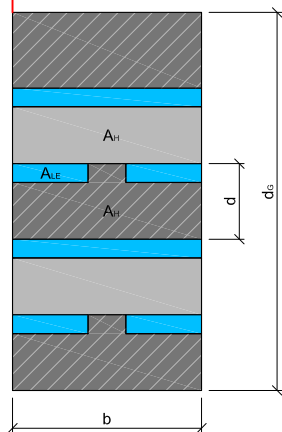
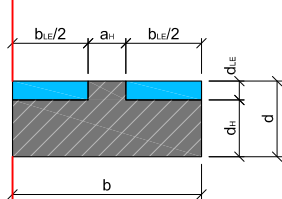
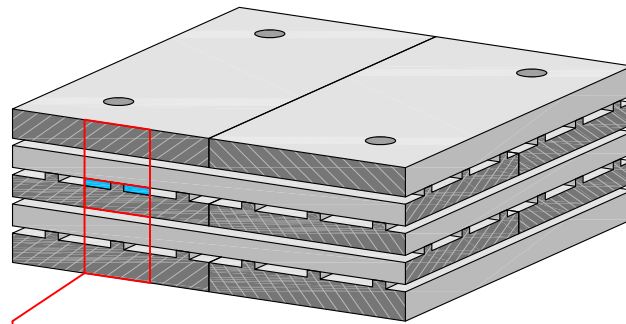
Brettsperrholz aus längsgefrästen Brettlagen

- Lufteinschlüsse ein- oder beidseitig
- Deckbretter außen ohne Fräsung
- Verbindung durch Buchenholzdübel oder Aluminiumrillenstifte
(Berechnung berücksichtigt Verbindungsmittel nicht)

beidseitig



einseitig

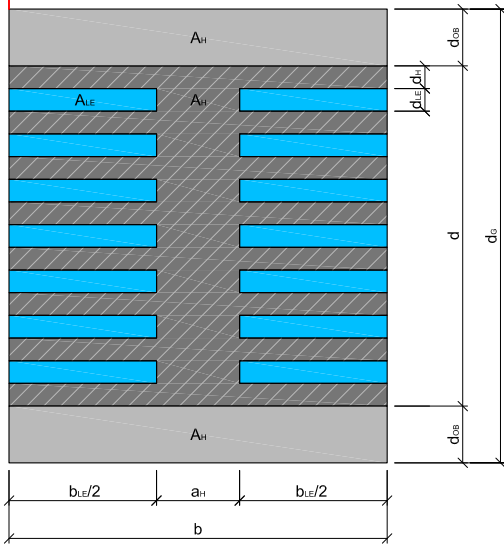
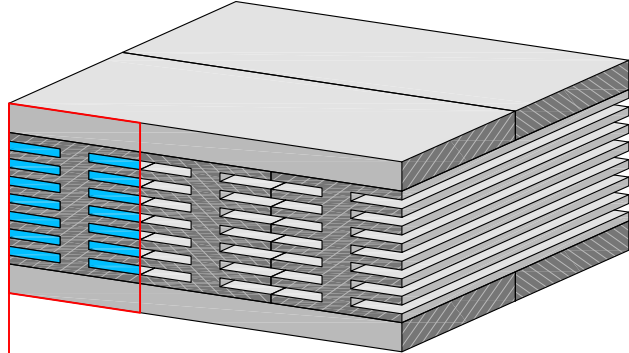


Berechnung der thermischen Wirkung unterschiedlicher Konstruktionen

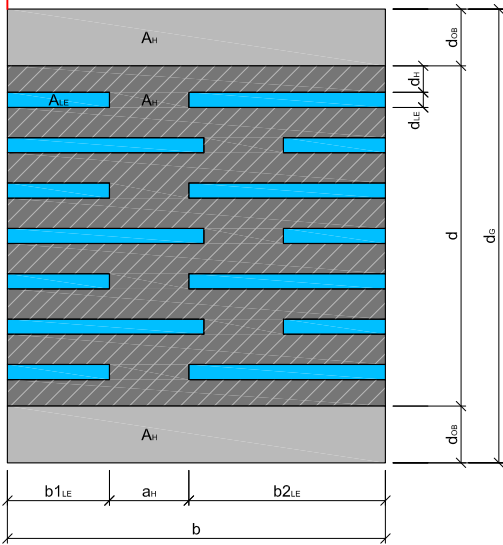
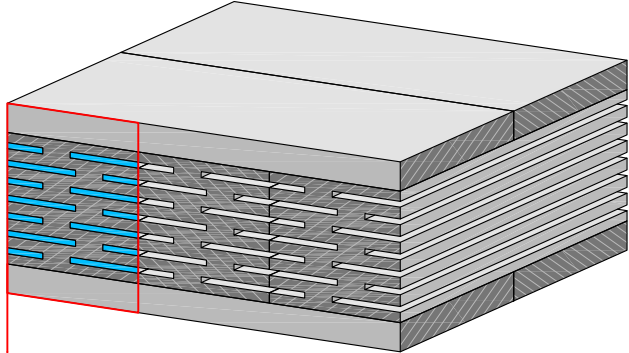
Brettsperrholz mit längsgefrästen Kanthölzern als Mittellage

- Anordnung der LE gerade oder versetzt
- Decklagen verleimt, Seitenverleimung der Mittellage möglich

Längsgefräste **Kanthölzer** als Mittellage gerade



versetzt

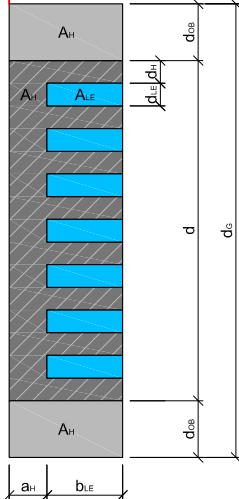
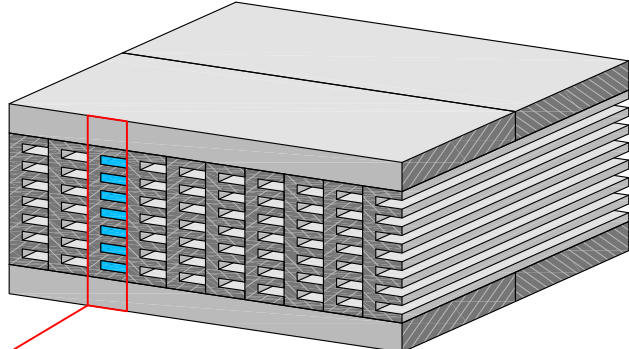


Berechnung der thermischen Wirkung unterschiedlicher Konstruktionen

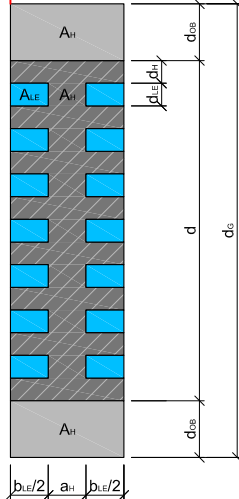
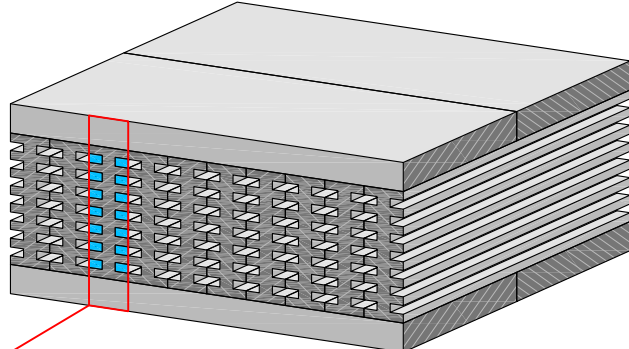
Brettsperrholz mit längsgefrästen Hochkantbrettern als Mittellage

- Anordnung der LE gerade, ein- oder beidseitig oder versetzt
- Decklagen verleimt, Seitenverleimung der Mittellage möglich

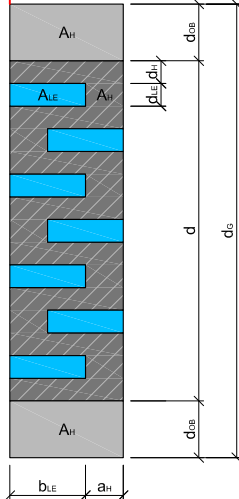
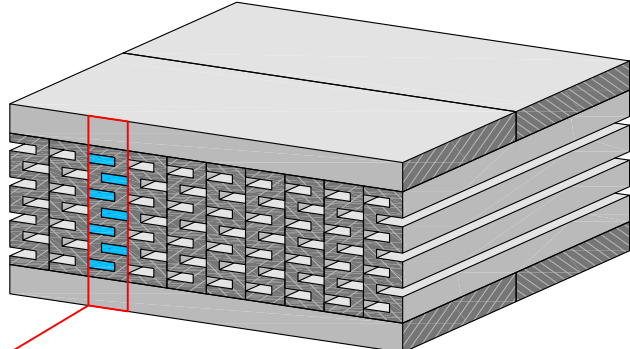
Längsgefräste Hochkantbretter als Mittellage gerade, einseitig



gerade, beidseitig



versetzt, beidseitig

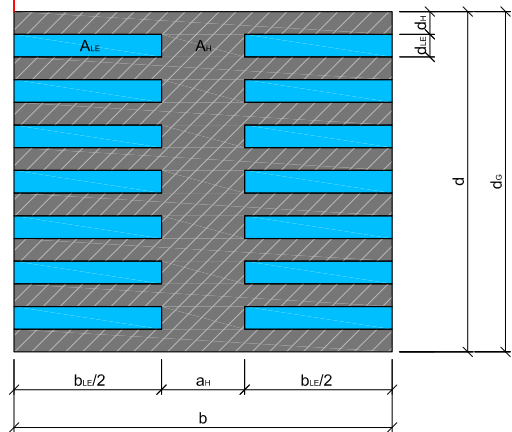
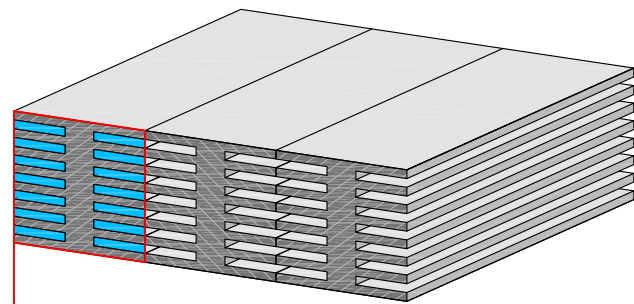


Berechnung der thermischen Wirkung unterschiedlicher Konstruktionen

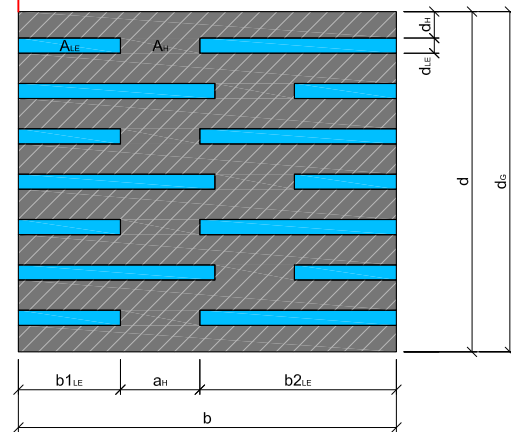
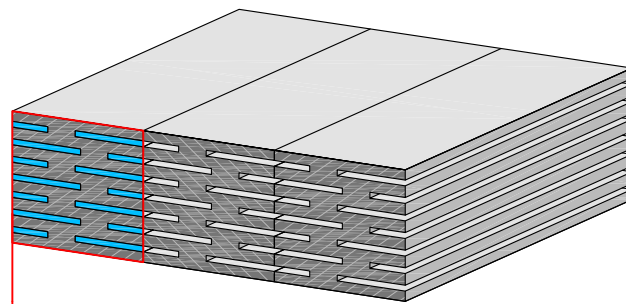
Brettschicht- oder Brettstapelholz aus längsgefrästen Kanthölzern

- Anordnung der LE gerade oder versetzt
- verleimt (oder fremde Feder)
(je nach Hohlraumanteil erscheint eine Verdübelung oder Nagelung problematisch)

Längsgefräste Kanthölzer gerade



versetzt



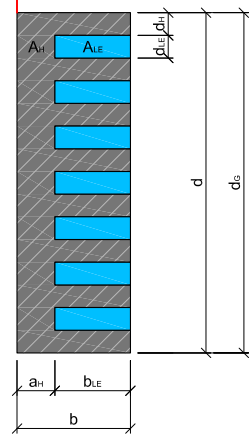
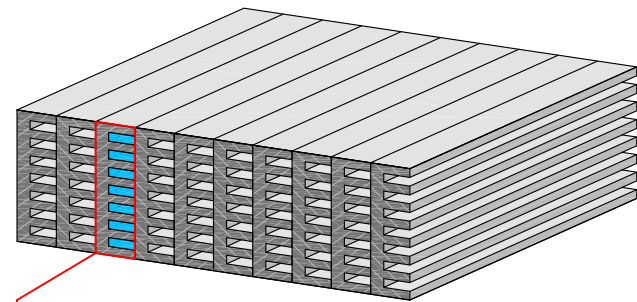
Berechnung der thermischen Wirkung unterschiedlicher Konstruktionen

Brettschicht- oder Brettstapelholz aus längsgefrästen Hochkantbrettern

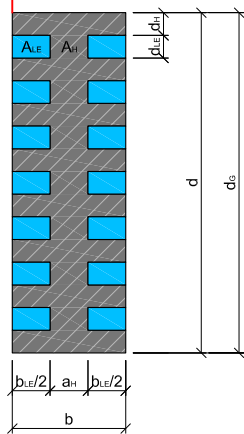
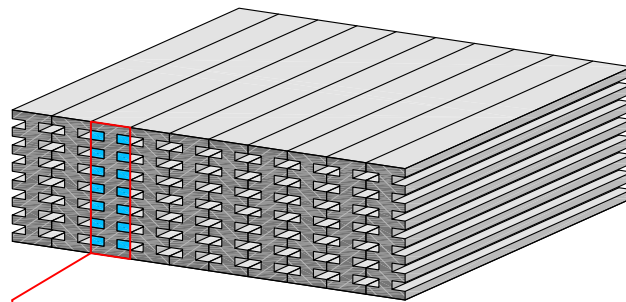
- Anordnung der LE gerade, ein- oder beidseitig oder versetzt
- verleimt (oder fremde Feder)
(je nach Hohlraumanteil erscheint eine Verdübelung oder Nagelung problematisch)

Längsgefräste Hochkantbretter

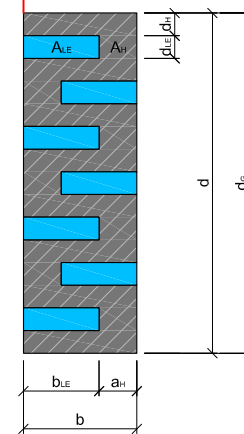
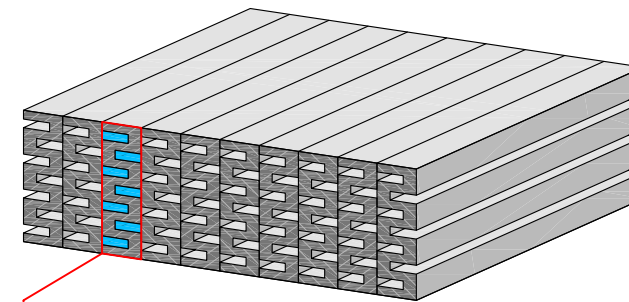
gerade, einseitig



gerade, beidseitig



versetzt, beidseitig



Berechnung der wirksamen Wärmekapazität

- Einfluss der Lufteinschlüsse auf die wirksame Wärmekapazität
- dreidimensionale thermische Simulation mit AnTherm

Aufbau der thermisch simulierten Bauteile

- gleich der Prüfkörper (deren Wärmeleitfähigkeit gemessen wurde)
- Varianten mit 3, 5 und 7 Lagen (96, 160 und 224 mm)
- Material Holz und Ziegel
- 2 Varianten mit Holz: Wärmespeicherkapazität 1,7 und 2,2 kJ/kgK

Berechnungsweg und Parameter

- Periodenlängen: 1 Stunde, 1 Tag, 7 Tage und 28 Tage
- Berechnung der harm. therm. Leitwerte mittels „AnTherm“
- wirksame Wärmekapazität (laut ÖNORM B8110-3) ohne Berücksichtigung der Wärmeübergangswiderstände

Interpretation der Ergebnisse

Einfluss der Lufthohlräume

- **wirksame Wärmekapazität korreliert ab 7 Tagen mit dem LHR-Anteil**
- bei LHR-Anteil von 30 %: 70 % wirks. Wärmekapazität des Vollholzes
- Periodendauer 1 Tag: Unterschied etwas weniger
- Periodendauer 1 Stunde: kein nennenswerter Unterschied

Einfluss der Bauteildicke

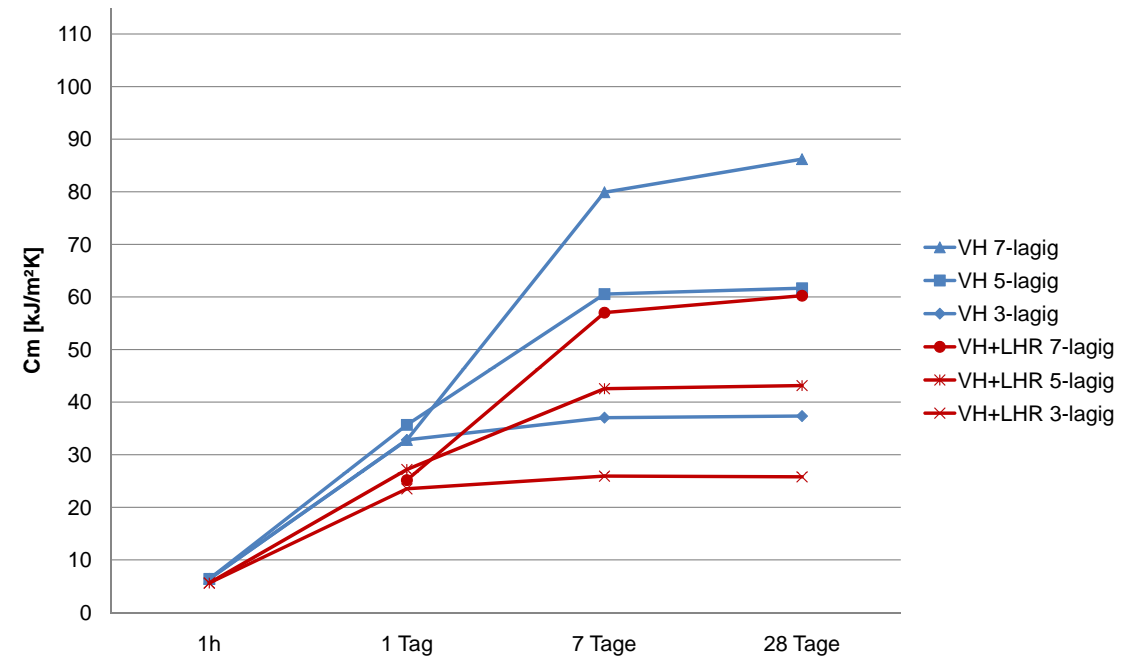
- wirks. Wärmekapazität steigt mit zunehmender Dicke u. Periodendauer

Vergleich Vollholz - Ziegel

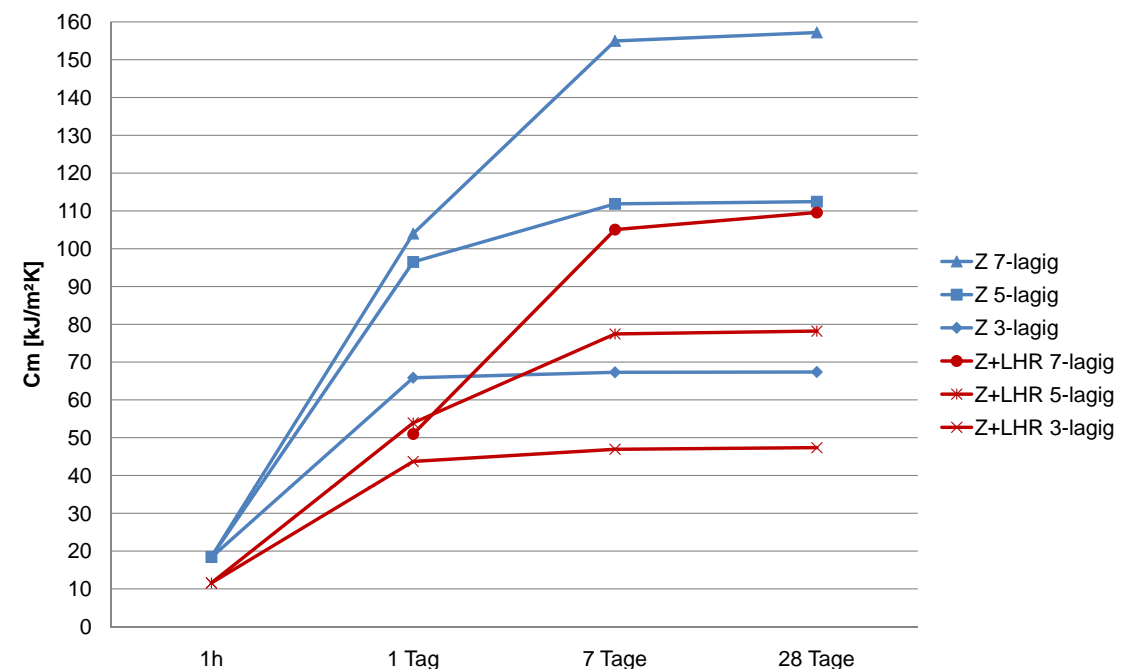
- wirks. Wärmekapazität korreliert auch bei Ziegel mit dem LHR-Anteil

Wirksame Wärmekapazität der Platten mit und ohne LE

Variante: Vollholz (c = 1,7 kJ/kgK)



Variante: Ziegel(-Material) (c = 0,85 kJ/kgK)



5 Labortechnische Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit

Herstellung und Eigenschaften der Prüfkörper(paare)

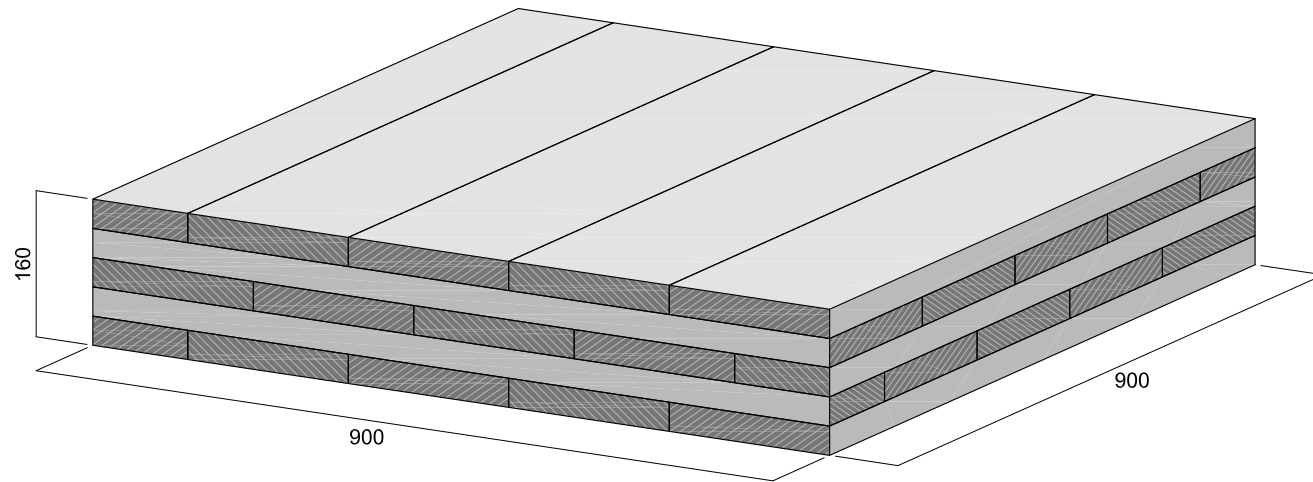
3 Prüfkörperpaare

3 Prüfkörper ohne Lufthohlräume

3 Prüfkörper mit Lufthohlräumen

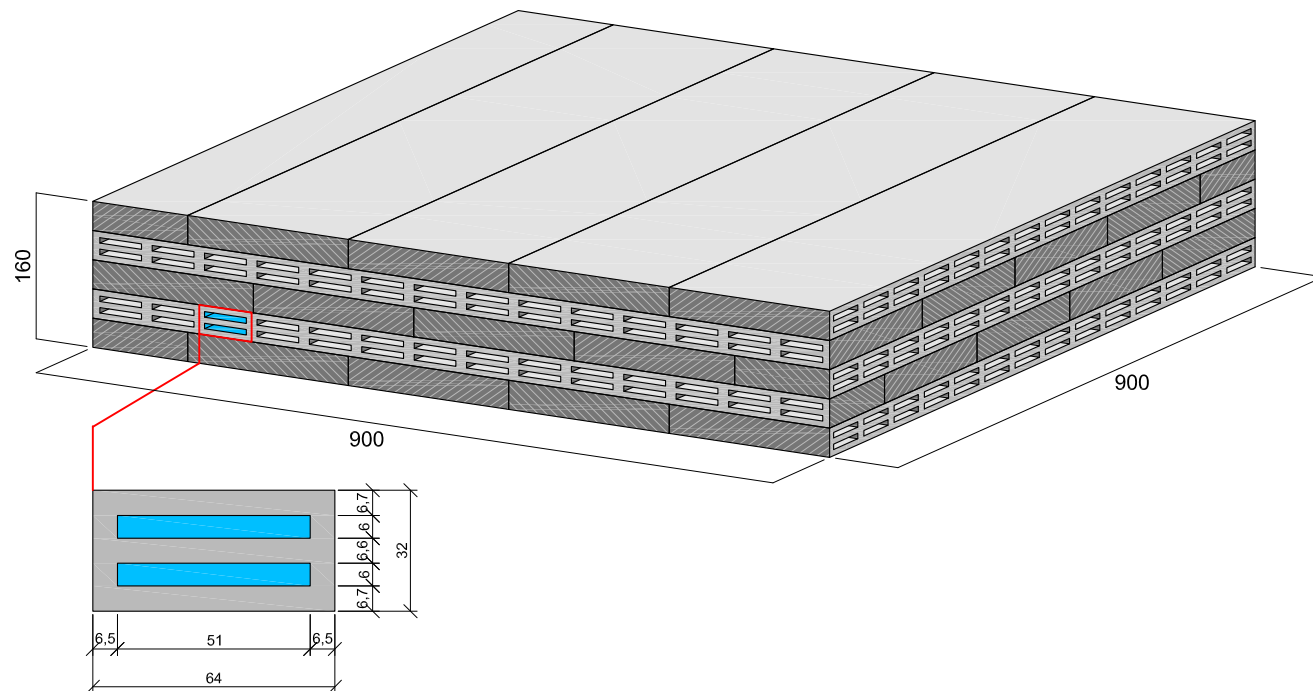
Prüfkörper Brettsperrholz VH

ohne Lufthohlräume, verleimt



Prüfkörper Brettsperrholz LHR

quergefräste Lufthohlräume, verleimt



Herstellung und Eigenschaften der Prüfkörper(paare)

Holzware

- Fichte, Seitenware, Qualität B/C
- Dicke: 32 mm, Breite: ca. 196 mm

Auswahl und Anordnung der Bretter

- 2 m lange Bretter mittig geteilt - jeweils für ein Prüfkörperpaar
- Anordnung der Bretter pro Prüfkörperpaar gleich

Fräsung der Lufthohlräume

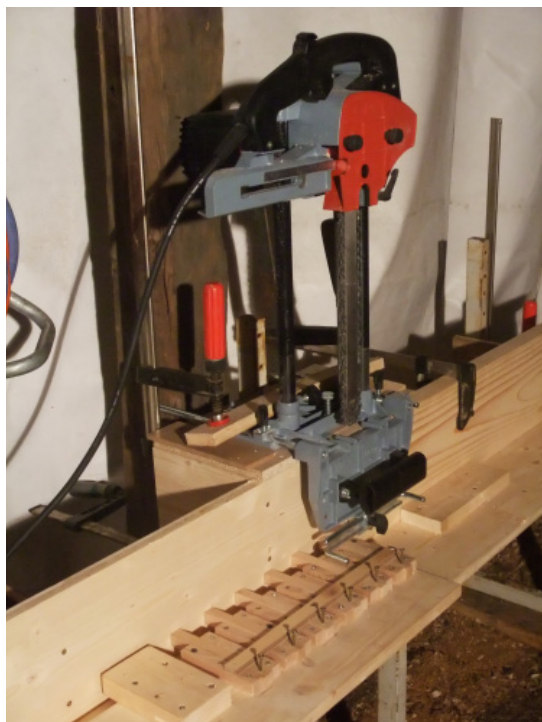
- Schlitzgerät SG 230 bzw. Kettenstemmer LS 103 Ec (Fa. Mafell)
- Schiene und Fräskette für 6 mm Schlitzbreite

Verleimung

- flächige Verleimung (ohne Seiten-Verleimung)
- PVAC, Weißleim, D3, hydraulische Flächenpresse

Eigenschaften

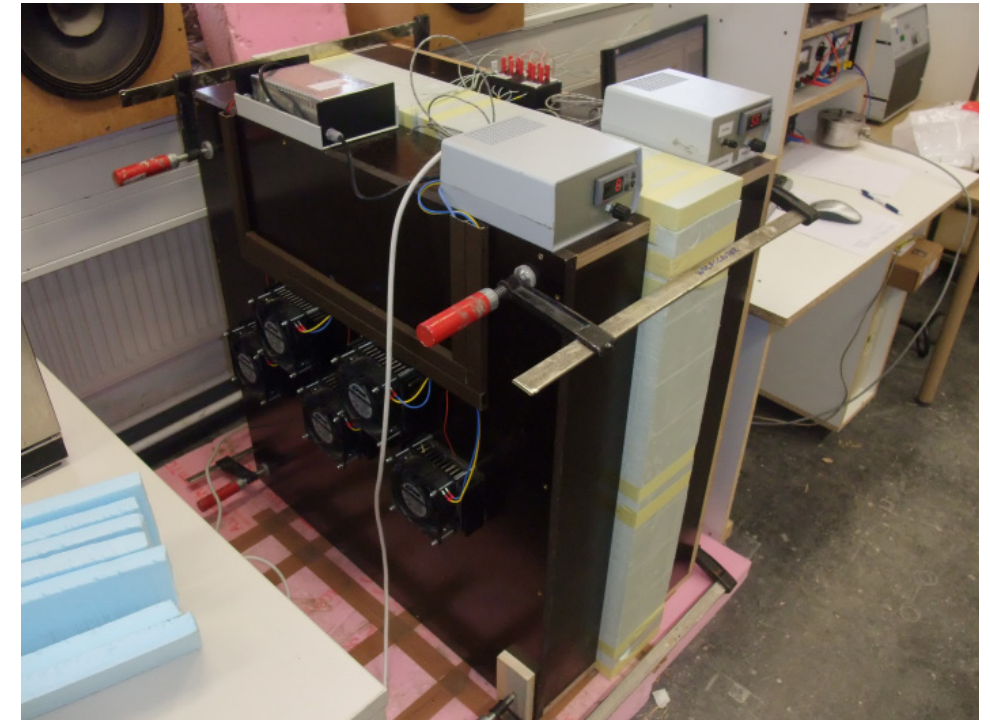
- Abmessung: 90 / 90 / 16 cm
- Rohdichte: ca. 455 kg/m³
- Holzfeuchte: 12,1 - 13,0 % (ohne LHR) / 9,2 -10,2 % (mit LHR)



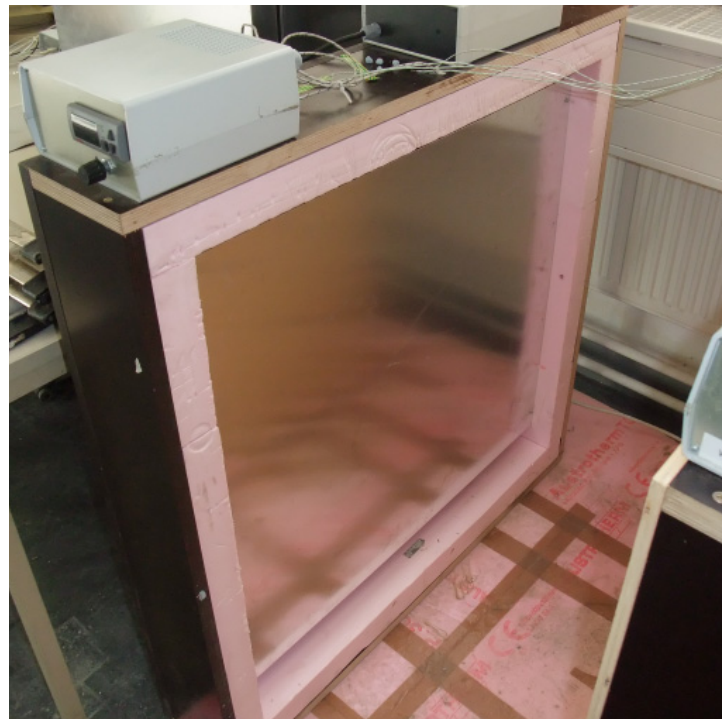
Prüfung mit dem Heizkasten mit Wärmestrommesser

Versuchsaufbau im Labor

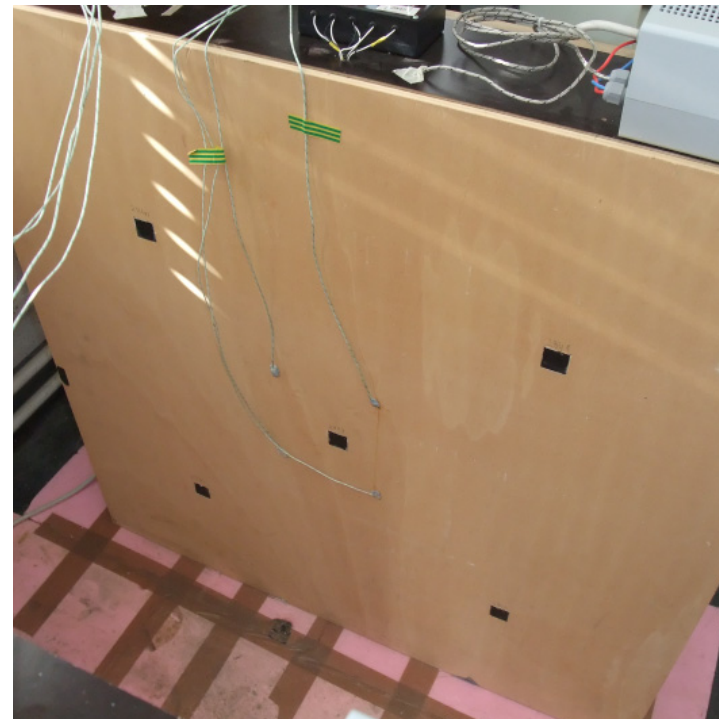
- 5 Wärmestrommesssensoren an der „Warmseite“
- je 4 Thermoelementen zur Messung der Oberflächentemperatur
- automatische Datenerfassung alle 20 Sekunden
- Oberflächentemperaturen ca. 10 °C bzw. 30 °C
- stehende Prüfkörper (3 Lagen der LHR horizontal, 2 vertikal)



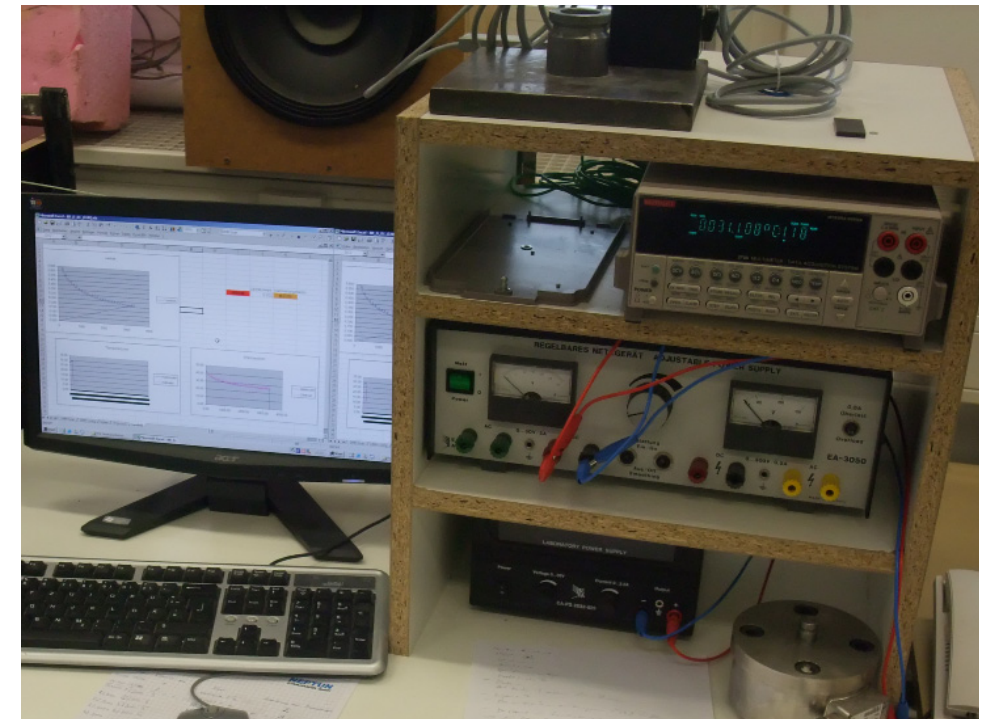
Heizkasten mit Wärmestrommesser in Betrieb



„Kaltseite“ des Heizkastens



„Warmseite“ des Heizkastens



Automatische Datenerfassung

Interpretation der Messergebnisse

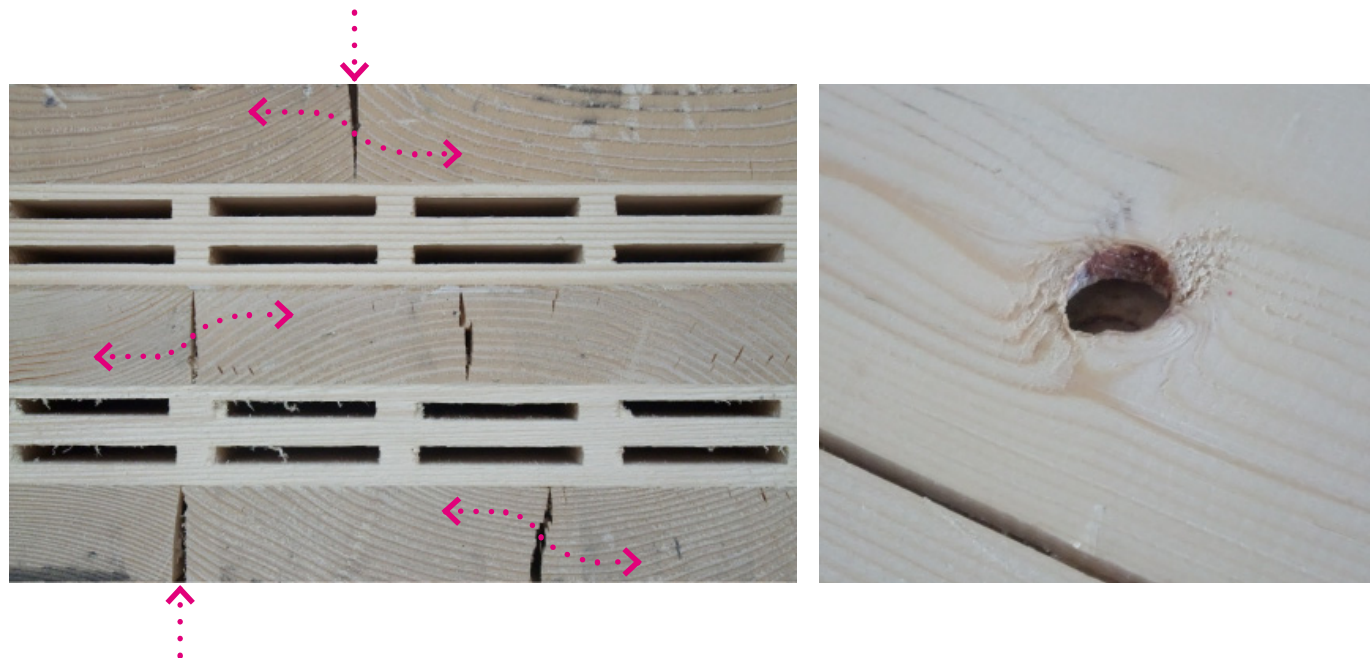
Wärmeleitfähigkeit der Prüfkörper ohne und mit Hohlräumen laut Berechnung und Messung

Wärmeleitfähigkeit der Prüfkörper	λ_H	λ_{H+LHR}	Diff. (zu λ_H)
	[W/mK]	[W/mK]	[%]
Berechnung mit AnTherm			
Var. 1 ($\lambda_H = 0,10$ W/mK)	0,1000	0,07745	-22,5
Var. 1 ($\lambda_H = 0,09$ W/mK)	0,0900	0,07275	-19,2
Messung im Heizkasten			
Prüfkörperpaar Nr. 1 (24 h)	0,1013*	0,0817*	-19,3
Prüfkörperpaar Nr. 2 (72 h)	0,0956**	0,0783**	-18,1
Prüfkörperpaar Nr. 3 (72 h)	0,0893**	0,0730**	-18,3

Anmerkung: * Mittelwerte der letzten 2 h Messdauer, ** Mittelwerte der letzten 6 h Messdauer.

Mögliche Ursachen für die Abweichung zwischen Berechnung und labortechnischer Messung

- Berechnung beruht teilweise auf normierten Werten - Abweichung von der Realität
- Messung mit dem Heizkasten ungenau
- Anisotropie und Heterogenität des Holzes
- fehlende Verleimung der Brettseiten ermöglicht den Luftaustausch zwischen den Hohlräumen
- ausfallende Äste ermöglichen den Luftaustausch zwischen den Hohlräumen



6 Umsetzungsrelevante Aspekte

Ökologische und ökonomische Aspekte

Minuspunkt

- aufwändigere Herstellung

Pluspunkte

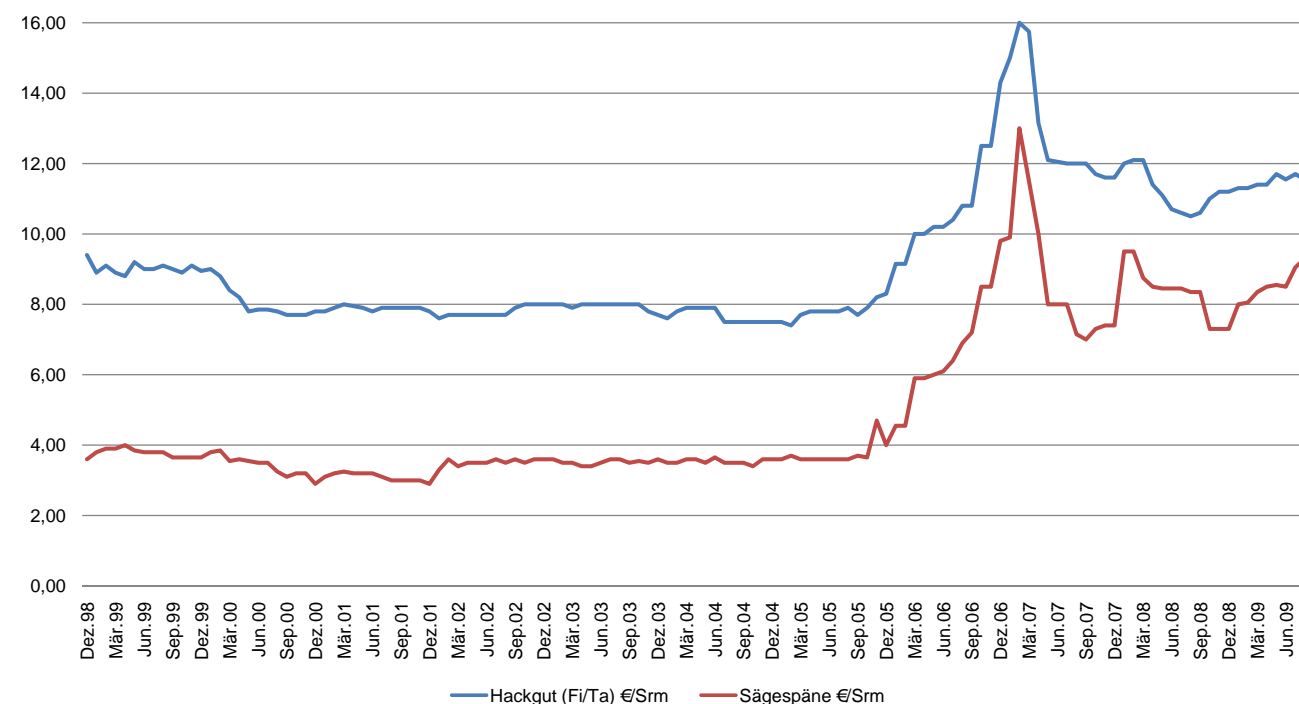
- Höhere Wärmedämmung bei gleicher Dicke bzw. geringere Dicke bei gleicher Wärmedämmung
- geringerer Holzverbrauch
- Sägespäne fallen vermehrt an (Kuppelprodukt)
- leichteres Produkt (Transport, Montage)
- technische Trocknung von Holz mit Hohlräumen könnte Energie sparen

Preisentwicklung Sägespäne

- Preissteigerung ab Mitte 2006
- Konkurrenzsituation Holzwerkstoffindustrie - Pelletsindustrie
- bei Rundholz ist kein Aufwärtstrend ersichtlich

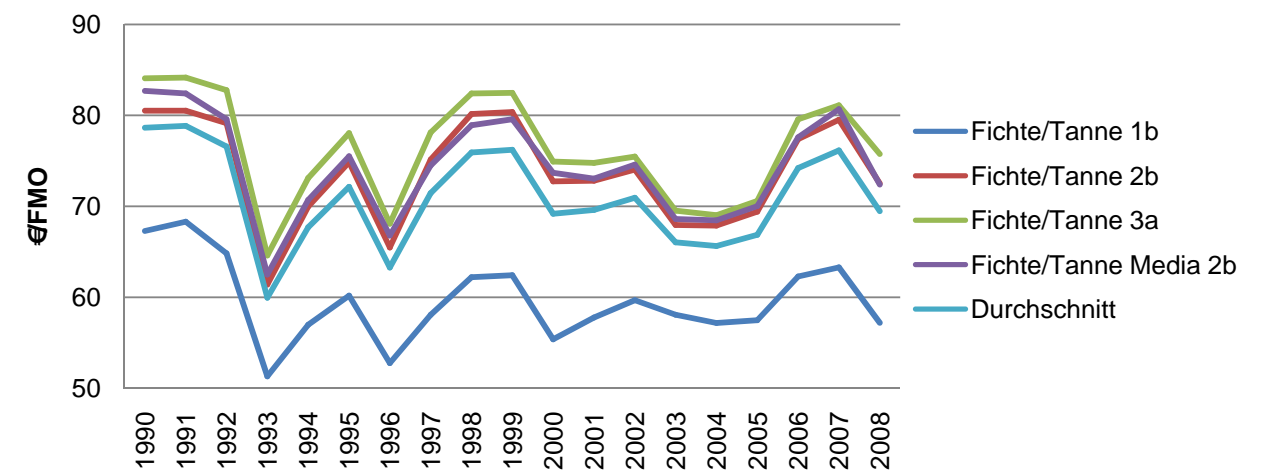
Preisentwicklung von Sägespäne und Hackgut

Wiener Warenbörse, Preise in €/Srm



Rundholzpreise Österreich - Jahresdurchschnittswerte

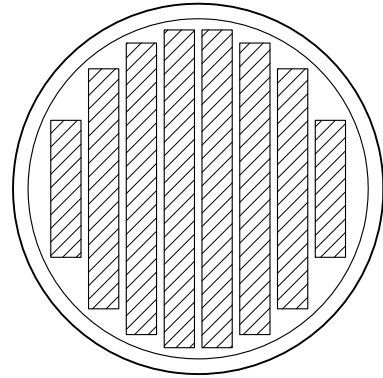
Blochholz, Güteklasse B, Erzeugernettopreise €/Fm



Ökologische und ökonomische Aspekte

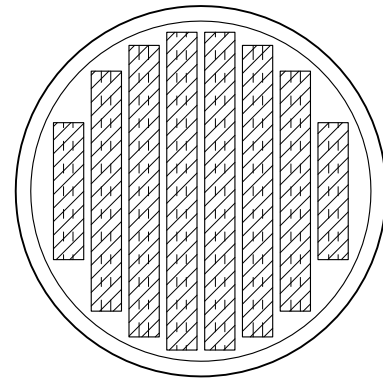
Anteil der Sortimente

Schnittholzherstellung



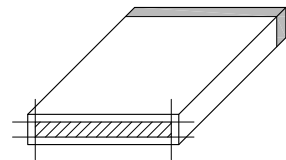
- 100,0 % Rundholz
- 61,8 % Schnittholz
- 10,0 % Rinde
- 13,7 % Hackschnitzel
- 14,5 % Sägespäne

Schnittholzherstellung mit Lufteinschlüssen



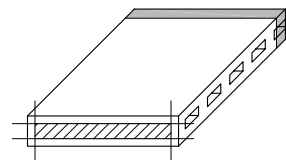
- 100,0 % Rundholz
- 46,7 % Schnittholz LE
- 10,0 % Rinde
- 13,7 % Hackschnitzel
- 14,5 % Sägespäne
- 15,1 % Sägespäne LE

Brettsperrholzherstellung



- 100,0 % Schnittholz
- 76,7 % Brettsperrholz
- 3,3 % Holzreste
- 20,0 % Sägespäne

Brettsperrholzherstellung mit Lufteinschlüssen



- 100,0 % Schnittholz
- 53,7 % Brettsperrholz
- 3,3 % Holzreste
- 20,0 % Sägespäne
- 23,0 % Sägespäne LE

Anteil und Marktwert der anfallenden Sägespäne

Sägespäne pro m³ Brettsperrholz

- ca. 0,8 Srm
- ca. 7,6 €

Sägespäne pro m³ Brettsperrholz LE

(LE-Anteil 30 - 40 %, gefräst nach techn. Trocknung)

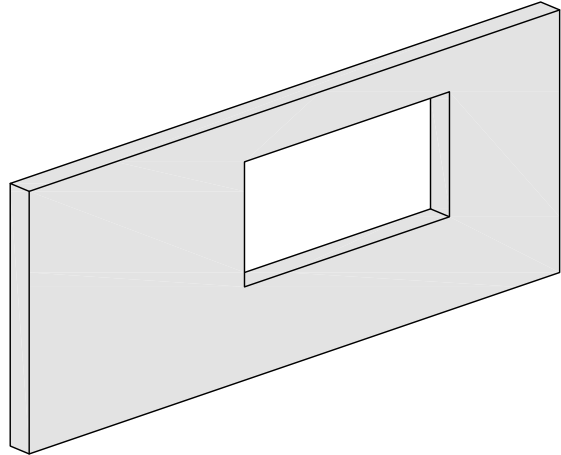
- ca. 1,7 - 2,0 Srm
- ca. 16,4 - 19,3 €

Mehrwert der Sägespäne

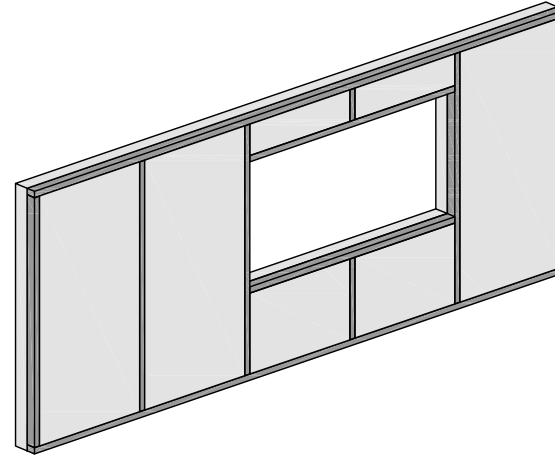
- Brettsperrholz-Durchschnittspreis: 400 bis 450 €/m³ (März 2009)
- ca. 2 bis 3 % des BSP-Durchschnittspreis (425 €/m³)

Ansätze zur konstruktiven Anwendung

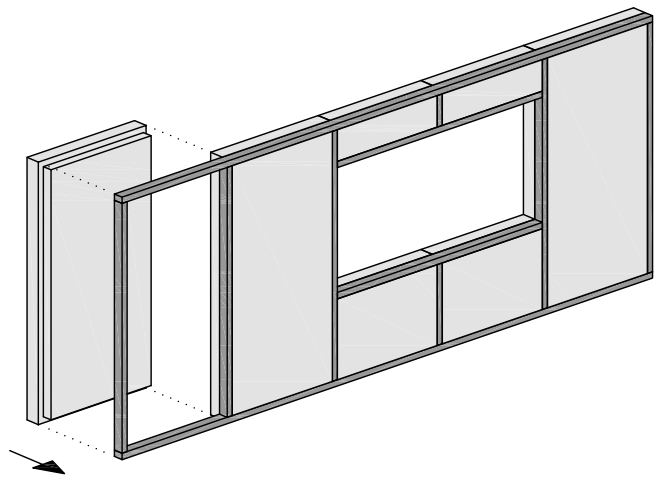
Bausysteme für die konstruktive Anwendung von Massivholzplatten mit eingefrästen Lufteinschlüssen



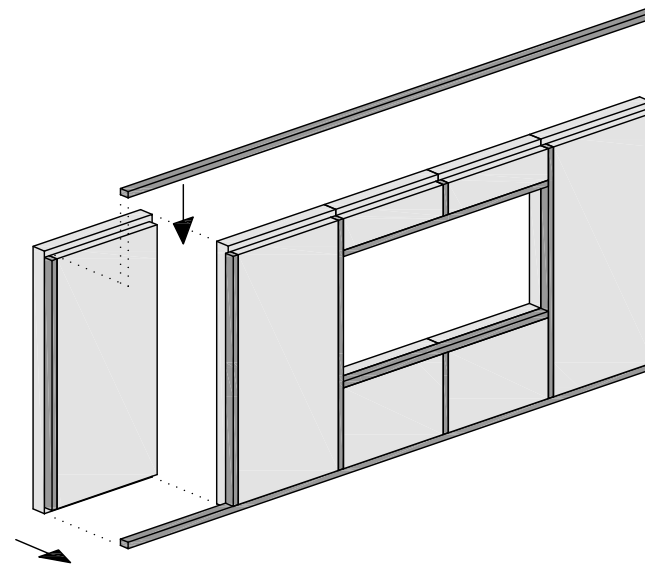
„Massivholzbauweise“
Großflächiges Wandelement



„Tafelbauweise“
Großflächiges Wandelement
mit integriertem lastabtragenden Rahmen

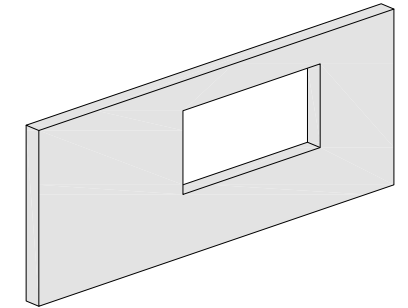


„Skelettbauweise“
Kleinflächige Wandelemente
als aussteifende Füllung



„Elementbauweise“
Kleinflächige Wandelemente
mit integrierten lastabtragenden vertikalen Profilen

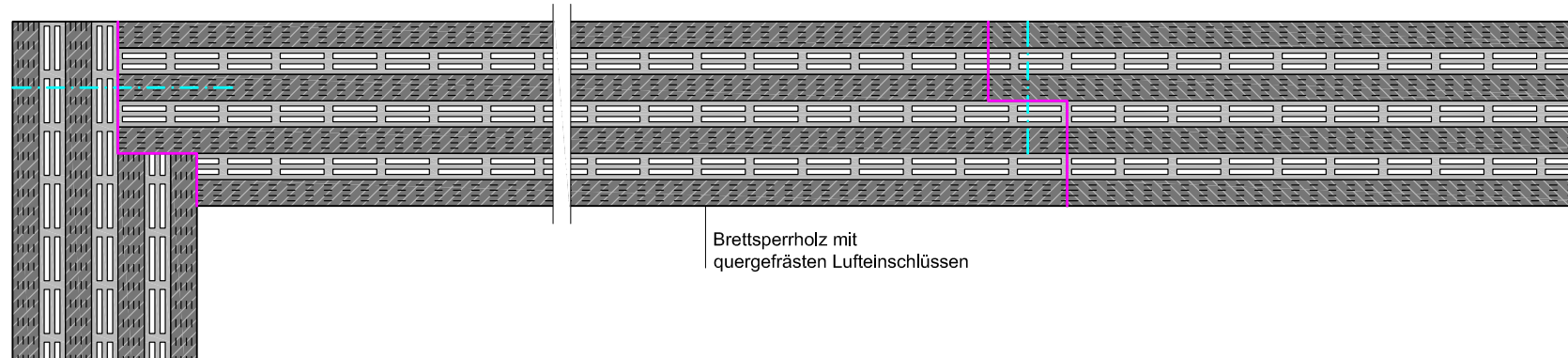
Ansätze zur konstruktiven Anwendung



„Massivholzbauweise“ Großflächiges Wandelement

Bsp.: Brettsperrholz aus quergefrästen Brettlagen

Eckverbindung und Längsstoß mit Falz

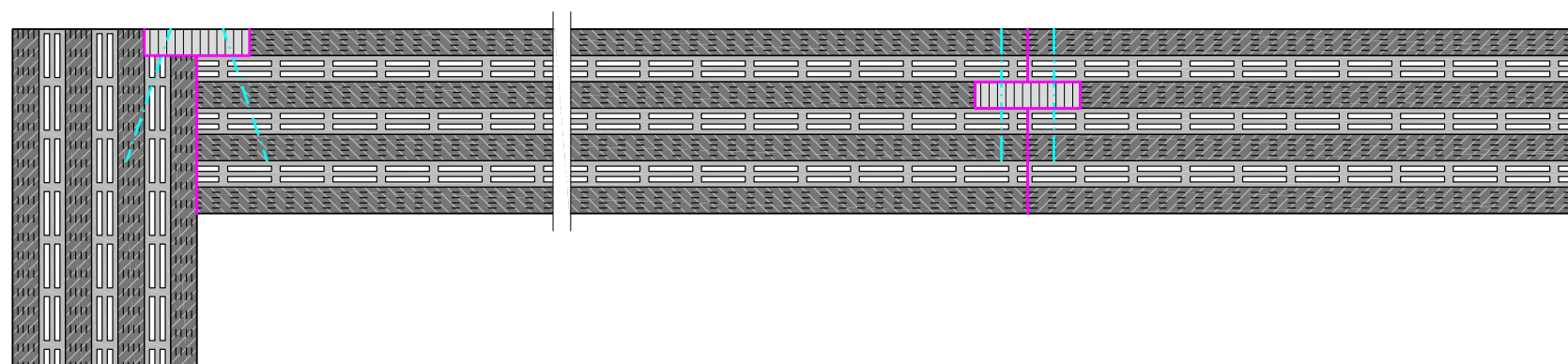


Elementaufbau

Dicke = 210 mm

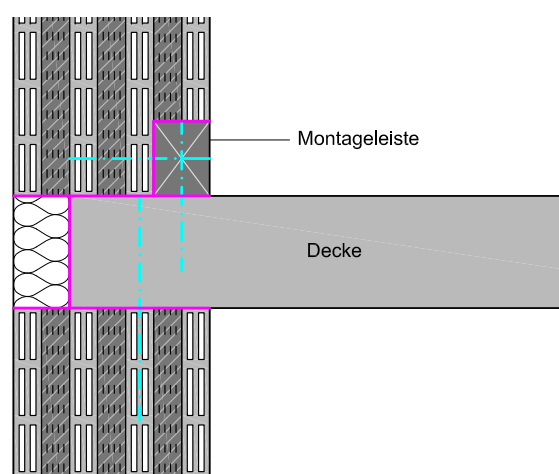
210 mm Brettsperrholz
aus quergefrästen Brettlagen
(7-lagig, verl. oder verdübelt)

Eckverbindung und Längsstoß mit fremder Feder (Dreischichtplatte)

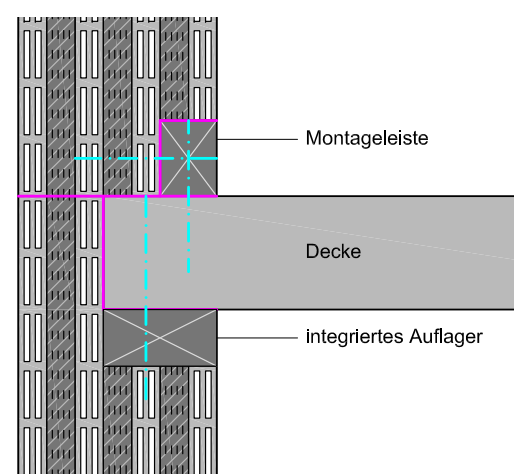


- wirkt als Wandscheibe
- lastabtragend und aussteifend
- Eck- und Längsverbindungen stumpf gestoßen, mit fremder Feder oder mit Falz

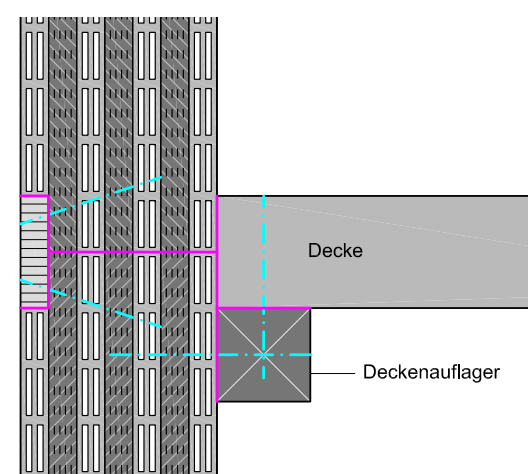
Deckenanschluss mit durchl. Decke



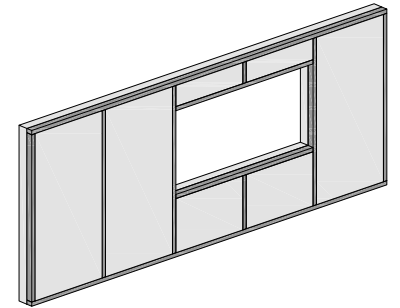
Deckenanschluss mit Falz



Deckenanschluss mit durchl. Wand



Ansätze zur konstruktiven Anwendung

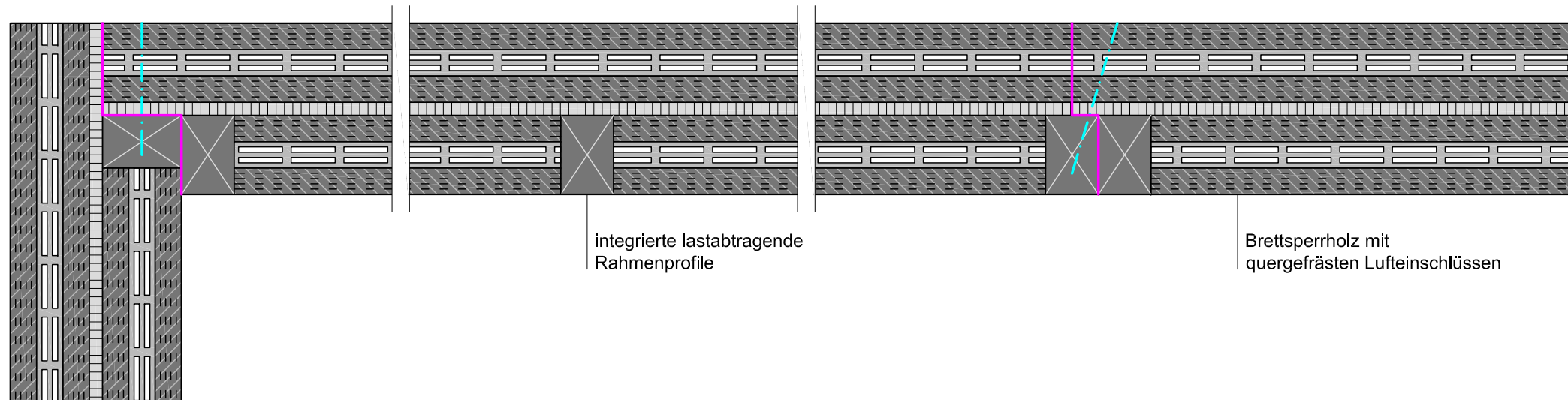


„Tafelbauweise“

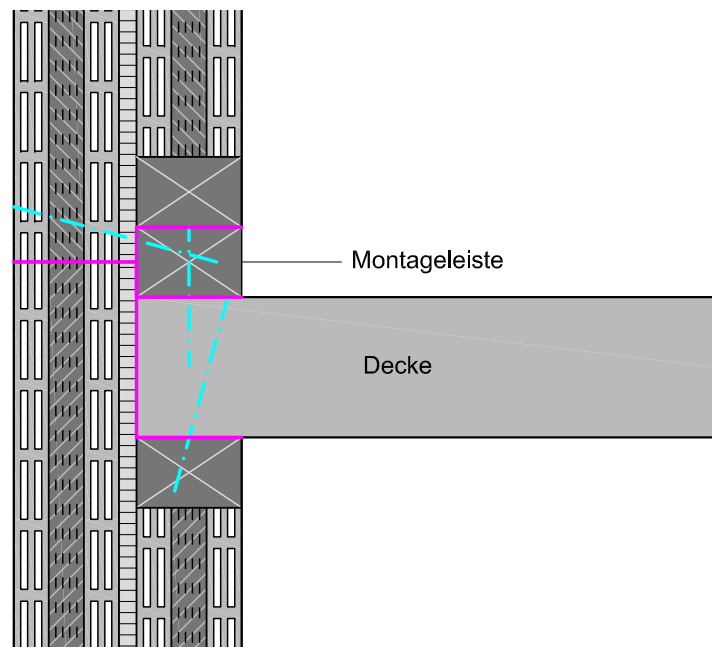
Großflächiges Wandelement mit integriertem lastabtragenden Rahmen

Bsp.: Brettsperrholz (LE) mit mittiger Dreischichtplatte, Rahmenprofil einseitig

Eckverbindung und Längsstoß



Deckenanschluss



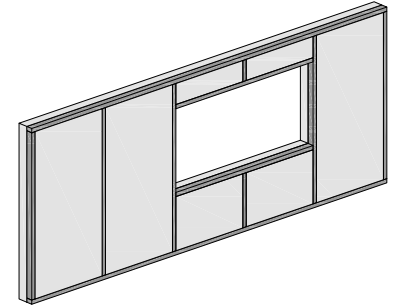
Elementaufbau

Dicke = 200 mm

- 90 mm Rahmenprofil (lastabtragend)
Brettsperrholz aus quergefrästen Brettlagen (3-lagig, verl. oder verdübelt)
- 20 mm Dreischichtplatte
- 90 mm Brettsperrholz aus quergefrästen Brettlagen (3-lagig, verl. oder verdübelt)

- einseitig integrierte Rahmenprofile
- außen durchlaufende BSP-Platten
- Dreischichtplatte als Winddichtung (falls erforderlich)

Ansätze zur konstruktiven Anwendung

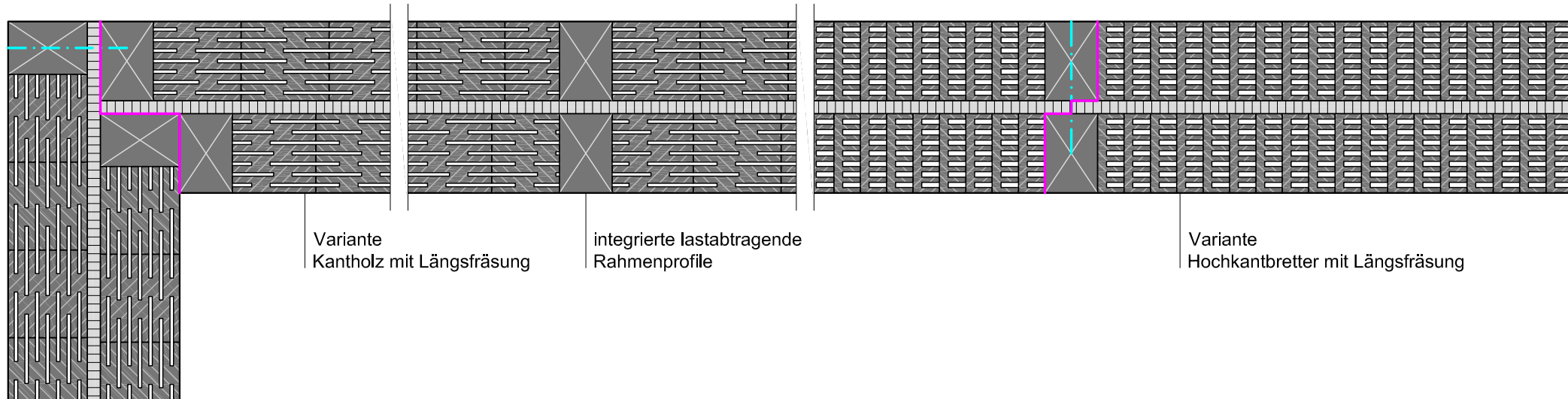


„Tafelbauweise“

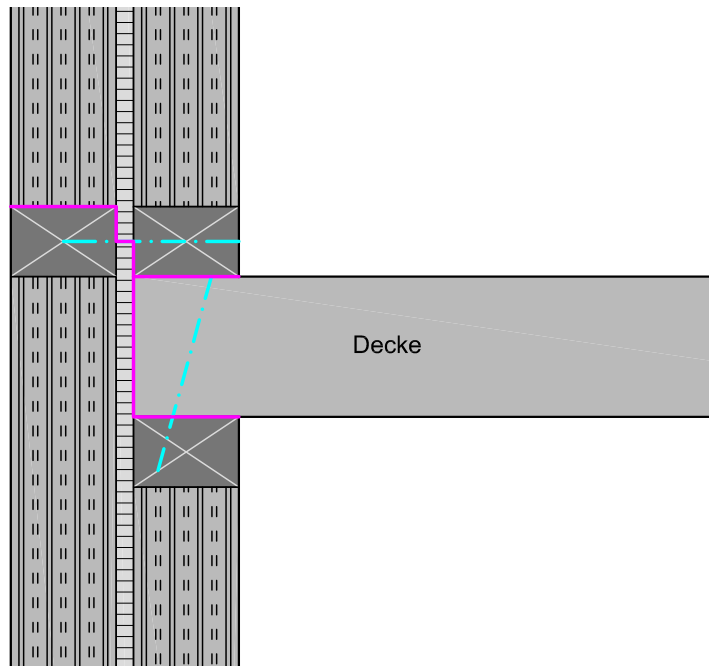
Großflächiges Wandelement mit integriertem lastabtragenden Rahmen

Bsp.: Brettschicht- oder Brettstapelholz (LE) mit mittiger Dreischichtplatte, Rahmen beidseitig

Eckverbindung und Längsstoß



Deckenanschluss



Elementaufbau

Dicke = 200 mm

- 90 mm Rahmenprofil (lastabtragend)
BSH- oder BST mit längsgefrästen LE
- 20 mm Dreischichtplatte
- 90 mm BSH- oder BST mit längsgefrästen LE

- Lamellen aus Hochkantbrettern oder Kanthölzern
- beidseitig integrierte Rahmenprofile
- Dreischichtplatte als Winddichtung (falls erforderlich)

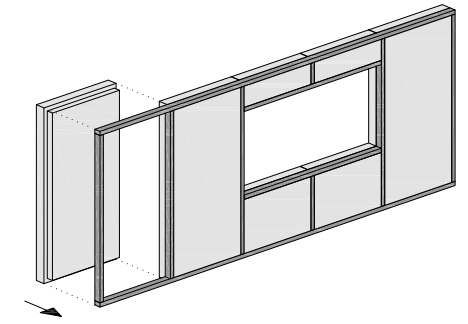
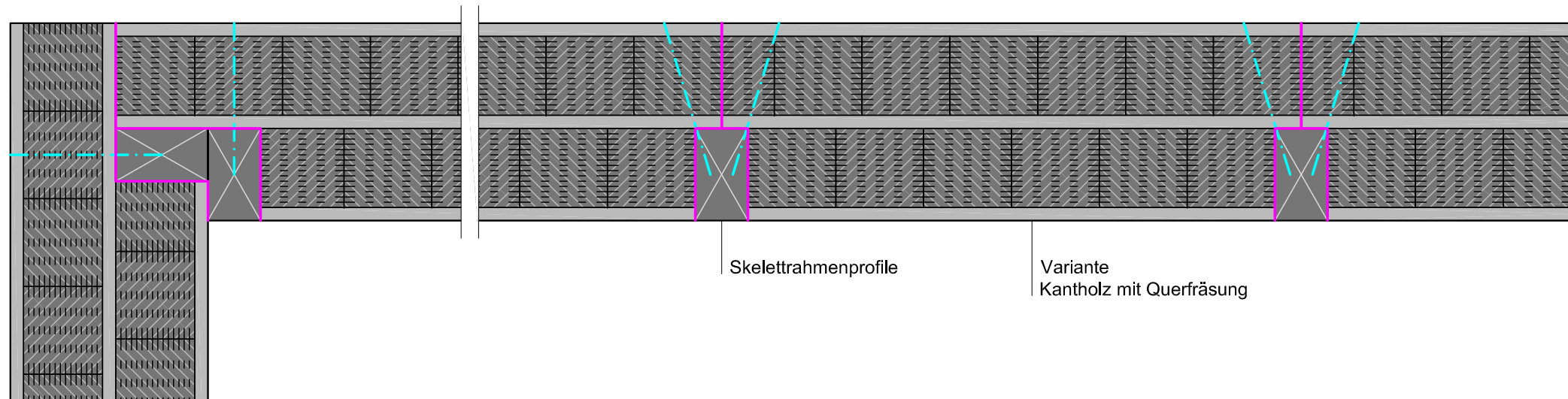
Ansätze zur konstruktiven Anwendung

„Skelettbauweise“

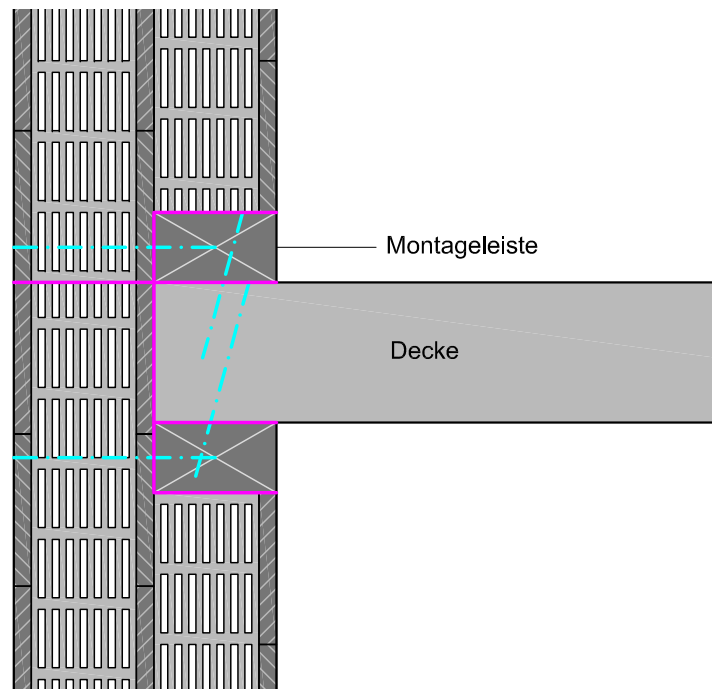
Kleinflächige Wandelemente als aussteifende Füllung

Bsp.: Brettsperrholz aus Kanthölzern o. Hochkantbrettern als Mittellage (LE)

Eckverbindung und Längsstoß



Deckenanschluss



Elementaufbau

Dicke = 240 mm

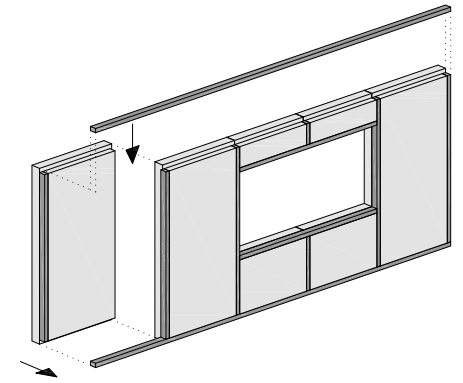
- 20 mm Brettlage (horizontal)
- 90 mm Kanthölzer oder Hochkantbretter (vertikal) mit quergefrästen Lufteinschlüssen
- 20 mm Brettlage (horizontal)
- 90 mm Kanthölzer oder Hochkantbretter (vertikal) mit quergefrästen Lufteinschlüssen
- 20 mm Brettlage (horizontal)

– Elemente als aussteifende und raumbildende Füllung in Skelettrahmen

Ansätze zur konstruktiven Anwendung

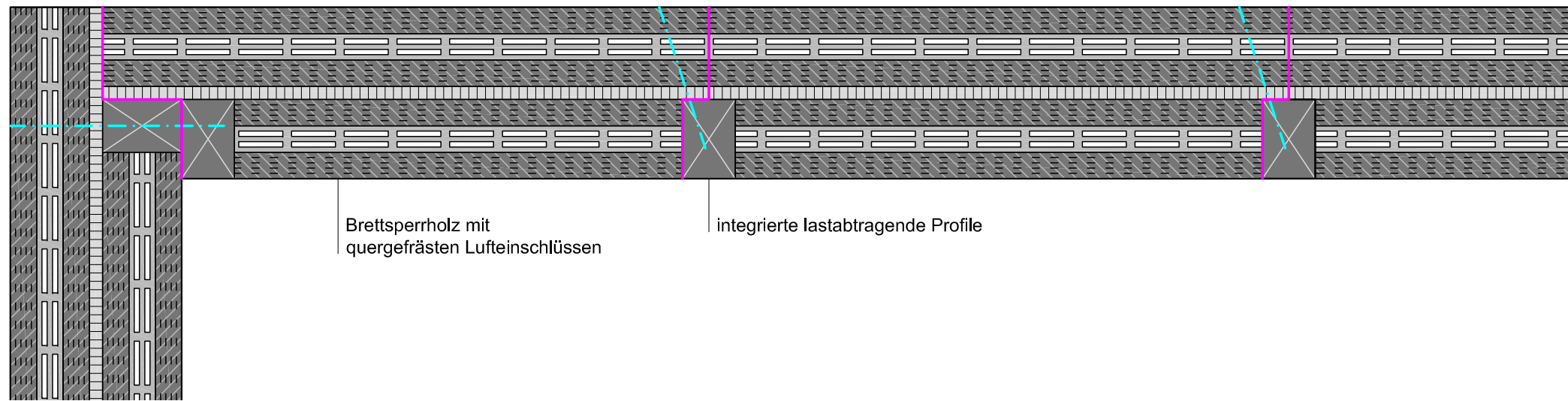
„Elementbauweise“

Kleinflächige Wandelemente mit integrierten, lastabtragenden, vertikalen Holzprofilen

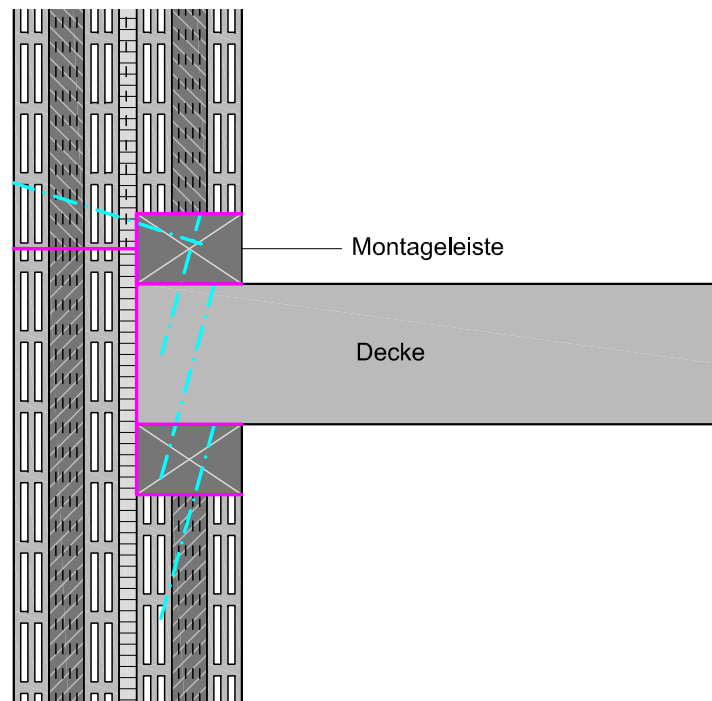


Bsp.: Brettsperrholz (LE) mit mittiger Dreischichtplatte, Holzprofil vertikal

Eckverbindung und Längsstoß



Deckenanschluss



Elementaufbau

Dicke = 200 mm

- 90 mm vertikales Holzprofil (lastabtragend)
- Brettsperrholz aus quergefrästen Brettlagen (3-lagig, verleimt oder verdübelt)
- 20 mm Dreischichtplatte
- 90 mm Brettsperrholz aus quergefrästen Brettlagen (3-lagig, verleimt oder verdübelt)

- Elemente auf Deckenkonstruktion oder Schwelle
- Deckenkonstruktion oder Obergurt als horizontale Verbindung
- integrierte, vertikale Holzprofile
- lastabtragend und aussteifend

7 Zusammenfassung und Aussicht

Massivholzbauteile durch eingefräste Lufteinschlüsse thermisch optimieren

Technologie

- noch relativ jung
- teilweise am Markt
 - Produkte Fensterkante und Massivholzplatten
- begrenzte Forschungstätigkeit

Lufteinschlüsse

- je kleiner ein Hohlraum
- je geringer die Dicke in Wärmestromrichtung
- desto niedriger die äquivalente Wärmeleitfähigkeit
- desto größer die wärmedämmende Wirkung
- Einfluss durch Wärmebrücken ist gering

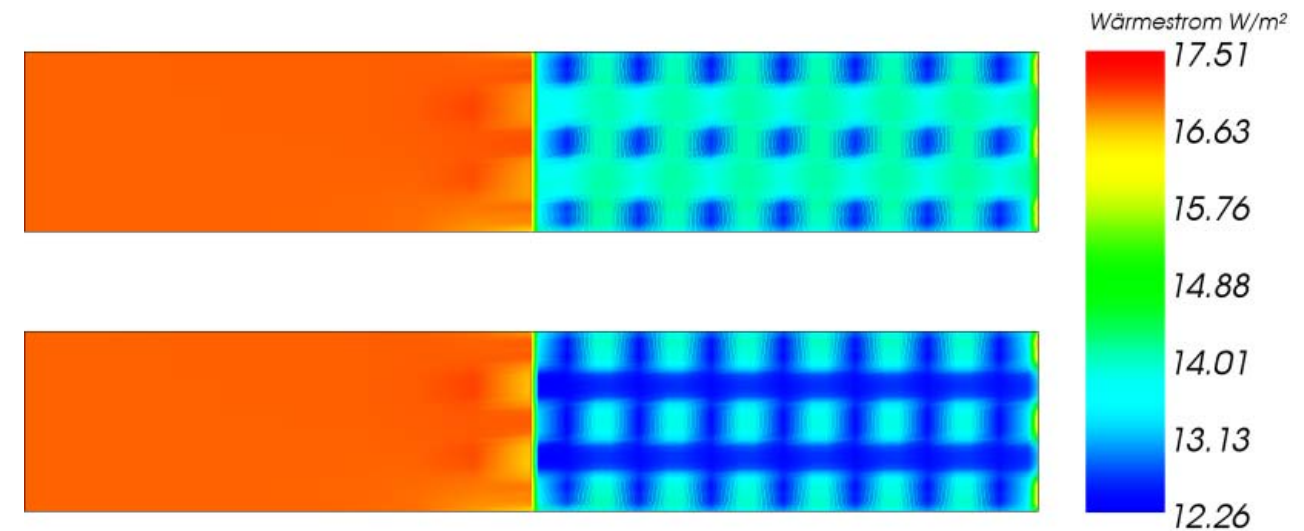
Berechnung / Messung der Wärmeleitfähigkeit

- dreidimensionale thermische Simulation (AnTherm)
- eindimensionale stationäre Berechnung
- Messergebnisse nahe den Berechnungsergebnissen

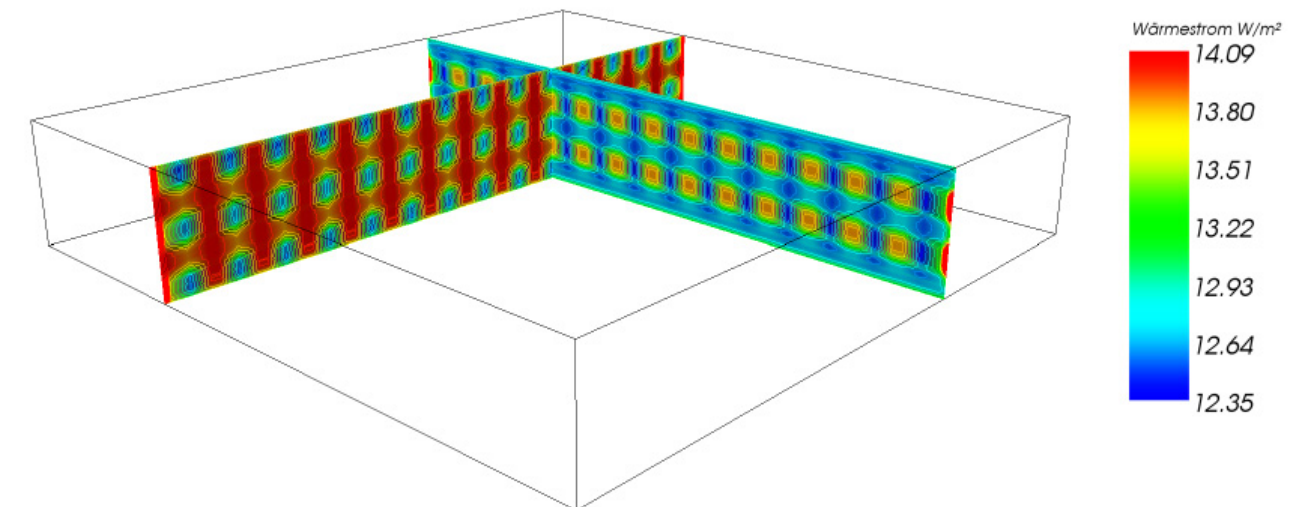
Potenzial der Lufteinschlüsse zur thermischen Optimierung

- Wärmeleitfähigkeit des Holzes
- äquivalente Wärmeleitfähigkeit der Lufteinschlüsse
- Anzahl der Hohlräume
- Tragfestigkeit des Holzes mit Hohlräumen
- technische Machbarkeit
- **bis zu ca. – 26 bis – 27 % Verringerung der Wärmeleitfähigkeit**

Wärmestrombild von Brettsperrholz ohne und mit Lufteinschlüssen



Wärmestrombild von Brettsperrholz mit Lufteinschlüssen



Massivholzbauteile durch eingefräste Lufteinschlüsse thermisch optimieren

Wirksame Wärmekapazität

- korreliert nach 7 Tagen mit dem LE-Anteil
- LE-Anteil 30 % ... wirksame Wärmekapazität 70 %

Technische Machbarkeit

- Querfräsung: Kettenschlitzfräse
- Längsfräsung: Mehrblattkreissägen oder Nutmesserköpfe

Holzbausysteme

- Brettsperrholz LE
- Brettschichtholz LE
- Brettstapelholz LE

Wirtschaftliche und ökologische Sicht

- Mehrwert der zusätzlich anfallenden Sägespäne:
ca. 2 bis 3 % des BSP-Durchschnittspreis (425 €/m³)
- Maschinenaufwand noch nicht abschätzbar

Konstruktive Anwendung

- großflächige oder kleinflächige Elemente
- lastabtragend und austeifend
- aussteifend mit integrierten lastabtragenden Vollholzprofilen

Ausblick

- Anforderungen aus den Bereichen:

Bauphysik, Tragwerk, Herstellungsprozess, Konstruktion, betriebliche Umsetzung, Wirtschaftlichkeit, Ökologie

- Tragfestigkeit
- Festigkeit der Verbindungsmittel
- Brandsicherheit
- Entwicklung automatisierter Herstellungsprozesse
- Kostenabschätzung der Produktion
- Potenzial: Fräsen vor der technische Trocknung