
Inhaltsverzeichnis

Teil I Grundlagen

1	Übersicht zu den Holzwerkstoffen (P. Niemz)	1
1.1	Vollholz	4
1.2	Holzwerkstoffe	5
2	Struktureller Aufbau und wesentliche Einflussfaktoren auf die Eigenschaften ausgewählter Holzwerkstoffe (P. Niemz)	9
2.1	Allgemeine Gesetzmäßigkeiten der Werkstoffbildung	9
2.2	Werkstoffe auf Vollholzbasis	14
2.3	Werkstoffe auf Furnierbasis	16
2.4	Werkstoffe auf Spanbasis	18
2.5	Werkstoffe auf Faserbasis	22
2.6	Verbundwerkstoffe	25
2.7	Engineered Wood Products	27
3	Eigenschaften ausgewählter Holzwerkstoffe (P. Niemz)	31
3.1	Übersicht	31
3.2.	Physikalische Eigenschaften	33
3.2.1	Verhalten gegenüber Feuchte	33
3.2.2	Rohdichte	43
3.2.3	Sonstige Eigenschaften	45
3.2.3.1	Thermische Eigenschaften	45
3.2.3.2	Elektrische Eigenschaften	47
3.2.3.3	Oberflächeneigenschaften	48
3.2.3.4	Akustische Eigenschaften von Holzwerkstoffen	49
3.2.3.5	Alterung und Beständigkeit	52

3.3	Elastomechanische und rheologische Eigenschaften	52
3.3.1	Übersicht	52
3.3.2	Elastizitätsgesetz	56
3.3.3	Kenngößen und deren Bestimmung	59
3.3.4	Rheologische Eigenschaften	64
3.3.5	Festigkeitseigenschaften	72
3.3.5.1	Zugfestigkeit	75
3.3.5.2	Druckfestigkeit	77
3.3.5.3	Biegefestigkeit	78
3.3.5.4	Scherfestigkeit	82
3.3.5.5	Auszieh Widerstand von Nägeln und Schrauben	84
3.3.5.6	Härte	84
3.3.5.7	Sonstige Eigenschaften	86
3.4	Modellierung der Eigenschaften	89
4	Technologie der Herstellung von Holzwerkstoffen (P. Niemz) .	91
4.1	Allgemeine Entwicklungstendenzen	91
4.2	Technologie der Fertigung von Holzwerkstoffen	93
4.2.1	Werkstoffe auf Vollholzbasis	93
4.2.1.1	Brettschichtholz	93
4.2.1.2	Massivholzplatten	94
4.2.2	Werkstoffe auf Furnierbasis (Lagenhölzer)	98
4.2.2.1	Technologische Grundoperationen	98
4.2.2.2	Fertigungsablauf	102
4.2.3	Werkstoffe auf Spanbasis	104
4.2.3.1	Technologische Grundoperationen	104
4.2.3.2	Fertigungsablauf	129
4.2.3.3	Spezielle Holzspanwerkstoffe	129
4.2.4	Werkstoffe auf Faserbasis	135
4.2.4.1	Technologische Grundoperationen	135
4.2.4.2	Fertigungsablauf	149
4.2.4.3	Sonderverfahren	150
4.2.5	Verbundwerkstoffe	152
4.2.5.1	Technologische Grundoperationen	152
4.2.5.2	Fertigungsablauf	154
4.2.6	Anlagen zur Prozesssteuerung und -überwachung (Prozessleitanlagen)	155

5	Einsatzmöglichkeiten von Holzwerkstoffen (P. Niemz)	159
----------	--	------------

Literatur zu Teil I		167
----------------------------	--	------------

Anhang

1:	Wichtige Normen zu Holz und Holzwerkstoffen, einschließlich deren Prüfung (P. Niemz)	173
2:	Übersichten zu den Eigenschaften von Holzwerkstoffen (P. Niemz)	181
3:	Tabellarische Übersicht von Prüfmethoden für Holzwerkstoffe (M. Dunky)	209
4:	Allgemeine Literatur zu Bindemitteln und Holzwerkstoffen (Bücher und Übersichtsartikel) (M. Dunky)	241

Teil II Bindemittel und Verleimung (M. Dunky)

1	Formaldehyd-Kondensationsharze	249
1.1	Harnstoff-Formaldehyd-(UF-)Leimharze	251
1.1.1	Chemie der UF-Leime, Herstellungsrezepturen und Kondensationsführung	252
1.1.2	Alterung von UF-Leimharzen	259
1.1.3	Hydrolyse von UF-Harzen	261
1.1.4	Härtung von UF-Harzen	265
1.1.4.1	Härter und ihre Reaktionen zur Initiierung der Aushärtereaktion	265
1.1.4.2	Topfzeit und Reaktivität bei schnellen Leimsystemen	269
1.1.4.3	Beschleuniger	270
1.1.4.4	Verfolgung der Aushärtereaktion	271
1.1.4.5	Härtervorstrich- und -gegenstrichverfahren	274
1.1.4.6	Nachreifung	275
1.1.4.7	Säurepotential in der Leimfuge	275
1.1.5	Modifizierung von UF-Leimen	277
1.1.5.1	Cokondensation mit Melamin	277
1.1.5.2	Zugabe von partiell hydrolysierten Polyamiden	277
1.1.5.3	Ersatz von Formaldehyd durch andere Aldehyde	278
1.1.5.4	Ersatz von Formaldehyd durch Furfural und Furfurylalkohol	278
1.1.5.5	Sulfitierung von Methylolgruppen	278
1.1.5.6	Einbau von speziellen Harnstoffoligomeren	278
1.1.5.7	Cokondensation mit Aminen oder Ammoniak	279
1.1.5.8	Modifizierung mit Acrylamid	279
1.1.5.9	Modifizierung mit Resorcin	279
1.1.5.10	Modifizierung mit polyphenolischen Substanzen (Tanninen)	282
1.1.5.11	Isocyanat (PMDI) als Beschleuniger und Verstärker für UF-Leime	282

1.1.5.12	Zugabe von Sojaprotein	283
1.1.6	Formaldehydgehalt und Molverhältnis	283
1.1.7	Ergebnisse molekularer Charakterisierung	284
1.1.8	Beeinflussung der technologischen Eigenschaften von UF-Leimen	292
1.1.8.1	Einfluss des Molverhältnisses F/U	292
1.1.8.2	Einfluss des Kondensationsgrades	297
1.1.9	Kaltklebeeigenschaften von UF-Leimen	299
1.1.10	Verarbeitungsfähige Leimflotten	302
1.2	Melamin- und Melaminmischharze	303
1.2.1	Chemie der Melamin- und Melaminmischharze	303
1.2.2	Alterungsverhalten	314
1.2.3	Hydrolyse von Melamin- und Melaminmischharzen	314
1.2.4	Härtung von Melamin- und Melaminmischharzen	314
1.2.5	Modifizierung von Melamin- und Melaminmischharzen	315
1.2.5.1	Zugabe von Tanninen	315
1.2.5.2	Zugabe von Lignin	315
1.2.5.3	Verstärkung durch Isocyanat	315
1.2.6	Formaldehydgehalt und Molverhältnis	315
1.2.7	Ergebnisse molekularer Charakterisierung	317
1.2.8	Beeinflussung technologischer Eigenschaften von Melamin- und Melaminmischharzen	318
1.2.8.1	Einfluss des Melamingehaltes	318
1.2.8.2	Einfluss des Molverhältnisses	319
1.2.8.3	Einfluss des Kondensationsgrades	320
1.2.9	Kaltklebeeigenschaften von Melamin- und Melamin- mischharzen	320
1.2.10	Verarbeitungsfähige Leimflotten	320
1.3	Phenolharze	322
1.3.1	Chemie der Phenolharze, Herstellungsrezepturen und Kondensationsführung	323
1.3.1.1	Kochweisen und Rezepturen	323
1.3.1.2	Alkali	327
1.3.1.3	Andere basische Reaktionskatalysatoren	328
1.3.1.4	Verfolgung der Kondensationsreaktion	330
1.3.1.5	Sprühgetrocknete PF-Harze	335
1.3.1.6	Eigenschaften alkalischer PF-Leime	339
1.3.1.7	Technische Herstellung	339
1.3.2	Alterungsverhalten	340
1.3.3	Härtung von Phenolharzen	341
1.3.3.1	Alkalische Härtung	341
1.3.3.2	Säurehärtende Phenolharze	347
1.3.3.3	Aktivierungsenergien bei der Aushärtung von Phenolharzen	348

1.3.3.4	Beschleunigung der Aushärtung von Phenolharzen	349
1.3.3.5	Nachreifung	352
1.3.4	Modifizierung von Phenolharzen	352
1.3.4.1	Nachträgliche Zugabe von Harnstoff zu hochkondensierten PF-Harzen (PUF-Harze)	352
1.3.4.2	PMF/PMUF/MUPF-Harze	354
1.3.4.3	Zugabe von Tanninen	354
1.3.4.4	Chemische Modifizierung mit Resorcin (Phenol-Resorcin-Harze PRF)	355
1.3.4.5	Zugabe von Ligninen	355
1.3.4.6	Zugabe von Acetonharzen	356
1.3.4.7	Alkylierte Phenole	357
1.3.4.8	Teilweiser Ersatz von Phenol durch <i>p</i> -Aminophenol oder Anilin	357
1.3.4.9	Cashew Nut Shell Liquid (CNSL)	357
1.3.4.10	Furfural	357
1.3.4.11	Isocyanat	357
1.3.4.12	(Teilweiser) Ersatz von Phenol durch verschiedene Substanzen auf natürlicher Basis	358
1.3.5	Formaldehydgehalt und Molverhältnis	358
1.3.6	Ergebnisse molekularer Charakterisierung	359
1.3.7	Beeinflussung technologischer Eigenschaften von PF-Leimen .	363
1.3.7.1	Einfluss des Molverhältnisses F/P	363
1.3.7.2	Einfluss des Kondensationsgrades	364
1.3.7.3	Einfluss des Alkaliegehaltes	367
1.3.8	Kaltklebeeigenschaften von PF-Leimen	367
1.3.9	Verarbeitungsfähige Leimflotten	367
1.4	Resorcin- und Phenolresorcinharze	368
1.4.1	Chemie der Resorcin- und Phenolresorcinharze, Herstellungsrezepturen und Kondensationsführung	368
1.4.2	Härtung von Resorcin- und Phenolresorcinharzen	369
1.4.3	Modifizierung von Resorcin- und Phenolresorcinharzen . . .	370
1.4.3.1	Modifizierung mit Harnstoff	370
1.4.3.2	Kalt härtende Tannin-Resorcin-Formaldehydharze (TRF) . . .	371
1.4.3.3	Kalt härtende Lignin-Resorcin-Formaldehydharze (LRF) . . .	371
1.4.3.4	Resorcin-Furfural-Harze, Phenol-Resorcin-Furfural-Harze, Phenol-Resorcin-Formaldehyd-Furfural-Harze	371
1.4.3.5	Tannin-Resorcin-Furfural-Harze	371
1.4.3.6	Alkylresorcin	371
1.4.3.7	Soja-Proteine	371
1.4.4	Verarbeitungsfähige Leimflotten	372
	Literatur	373

2	Sonstige Bindemittel und Zusatzstoffe	385
2.1	Isocyanat-Bindemittel	385
2.1.1	Chemie der Isocyanat-Bindemittel	386
2.1.2	Härtung von Isocyanat-Bindemitteln	388
2.1.3	Modifizierung von Isocyanat-Bindemittel bzw. Kombination mit anderen Bindemitteln	390
2.1.4	Einsatz und Verarbeitungseigenschaften von Isocyanat-Bindemitteln	390
2.2	Polyurethan-Bindemittel	391
2.2.1	Reaktive härtende Polyurethansysteme	392
2.2.1.1	Einkomponentensysteme	392
2.2.1.2	Zweikomponentensystems	392
2.2.2	Physikalisch abbindende Polyurethane	393
2.2.2.1	PUR-Lösungsmittelklebstoffe	393
2.2.2.2	PUR-Dispersionsklebstoffe	393
2.3	Bindemittel auf Basis nachwachsender Rohstoffe	394
2.3.1	Tannine	395
2.3.1.1	Chemie der Tannine	395
2.3.1.2	Molmassen und Viskosität	397
2.3.1.3	Vorkommen	397
2.3.1.4	Extraktion	400
2.3.1.5	Modifizierung von Tanninextrakten	400
2.3.1.6	Analyse von Tanninen und Extrakten	402
2.3.1.7	Aushärteverhalten	402
2.3.1.8	Aushärtung von Tanninen durch Zugabe von Hexamethylentetramin	402
2.3.1.9	Autokondensation von Tanninen	408
2.3.1.10	Einsatzmöglichkeiten und Verarbeitungseigenschaften von Tanninen, Kombinationen mit anderen Bindemitteln	408
2.3.1.11	Kombination von Tanninen mit anderen natürlichen Bindemitteln	409
2.3.2	Lignine	409
2.3.2.1	Chemie und Aushärteverhalten der Lignine	412
2.3.2.2	Verwendung von Lignin als alleiniges Bindemittel	412
2.3.2.3	Kombination von Ligninen mit anderen Bindemitteln	414
2.3.2.4	Verwendung von Lignin als Werkstoff	414
2.3.3	Bindemittel auf Kohlehydratbasis	414
2.3.3.1	Stärke und Zelluloseleime	414
2.3.3.2	Abbau von Kohlehydraten zu reaktiven niedermolekularen Verbindungen	415
2.3.4	Bindemittel auf Proteinbasis	415
2.3.4.1	Historische natürliche Bindemittel (Kasein-, Glutin- und Blutalbuminleime)	416

2.3.4.2	Klebstoffe auf Basis von Pflanzenproteinen	416
2.3.5	Sonstige Bindemittel aus nachwachsenden Rohstoffen	417
2.3.5.1	Liquified wood	417
2.3.5.2	Pyrolyseprodukte	417
2.3.5.3	Extrakte aus Biomasserückständen	418
2.4	Schmelzkleber	418
2.4.1	Basispolymere	419
2.4.1.1	Äthylen-Vinylacetat (EVA)	419
2.4.1.2	Äthylen-Acrylsäureester-Copolymerisate EEA	420
2.4.1.3	Thermoplastische PUR	420
2.4.1.4	Polyamide PA	420
2.4.1.5	Thermoplastische (lineare, gesättigte) Polyester	420
2.4.1.6	Amorphe Poly- α -olefine (APAO)	420
2.4.2	Zusammensetzung von Schmelzklebern	421
2.4.2.1	Polymer	421
2.4.2.2	Klebharz (Tackifier)	421
2.4.2.3	Andere Bestandteile	421
2.4.3	Eigenschaften und Verarbeitung	422
2.4.3.1	Thermisches Verhalten	422
2.4.3.2	Eigenschaften	422
2.4.3.3	Verarbeitung	422
2.4.3.4	Einsatzgebiete	424
2.4.4	Einkomponentige reaktive Schmelzkleber (Reaktions-Schmelzklebstoffe, Curing Hotmelts)	424
2.4.4.1	Zusammensetzung	424
2.4.4.2	Verarbeitung	425
2.4.4.3	Vorteile gegenüber nicht reaktiven Hotmelts	425
2.4.4.4	Nachteile gegenüber nicht reaktiven Hotmelts	425
2.4.4.5	Anwendung	425
2.4.5	Zweikomponentige reaktive Schmelzkleber	426
2.5	Polyvinylacetatleime	426
2.5.1	Basispolymere	426
2.5.1.1	Polyvinylacetat PVAc	426
2.5.1.2	Copolymere	428
2.5.2	Zusammensetzung der PVAc-Leime	428
2.5.2.1	Polymerdispersion	428
2.5.2.2	Weichmacher	428
2.5.2.3	Härter/Vernetzer	429
2.5.2.4	Sonstige Bestandteile	429
2.5.3	Eigenschaften und Verarbeitung	430
2.5.3.1	Eigenschaften	430
2.5.3.2	Verarbeitung und Eigenschaften der hergestellten Verklebungen	430

2.6	Anorganische Bindemittel	433
2.6.1	Allgemeine Beschreibung	433
2.6.2	Zementgebundene Platten	434
2.6.2.1	Zementgebundene Spanplatten	434
2.6.2.2	Zementgebundene Faserplatten	435
2.6.2.3	Holzwohle-Leichtbauplatten (zementgebundene Holzwohleplatten)	435
2.6.3	Magnesitgebundene Platten (magnesiagebundene Spanplatten)	435
2.6.4	Wasserglas als Bindemittel	435
2.6.5	Gipsgebundene Platten	435
2.6.5.1	Gipsspanplatten	435
2.6.5.2	Gipsfaserplatten	436
2.7	Zusatzstoffe	436
2.7.1	Streck- und Füllmittel	436
2.7.2	Hydrophobierungsmittel	438
2.7.3	Schutzmittel gegen Fäulnis und Pilze (Holzschutzmittel)	440
2.7.4	Brand- und Feuerschutzmittel	441
2.7.5	Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit	442
2.7.6	Salze	443
2.7.7	Sonstige Zusatzstoffe	444
	Literatur	444
3	Analytik und Prüfverfahren für Bindemittel und Holzwerkstoffe	457
3.1	Laborkennwerte von Bindemitteln und Methoden zur Verfolgung der Herstellungsreaktion	457
3.1.1	Laborkennwerte	457
3.1.2	Methoden zur Verfolgung der Herstellungsreaktion	461
3.2	Chemische Untersuchungsmethoden an Leimharzen	461
3.3	Physikalisch-chemische Untersuchungen	464
3.3.1	Spektroskopische Untersuchungen	464
3.3.1.1	Infrarot-Spektroskopie (IR, FTIR)	464
3.3.1.2	¹ H-NMR (Kernresonanzspektroskopie)	465
3.3.1.3	¹³ C-NMR	467
3.3.1.4	¹⁵ N-NMR	471
3.3.1.5	Festkörper-NMR (CP-MAS-NMR)	471
3.3.1.6	Raman-Spektroskopie	471
3.3.1.7	MALDI-Massenspektroskopie	472
3.3.1.8	UV-Spektroskopie	472

3.3.2	Ermittlung der Molmassenverteilung von Bindemitteln, insbesondere von Kondensationsharzen	472
3.3.2.1	Gelpermeationschromatographie	473
3.3.2.2	Präparative GPC	490
3.3.2.3	GPC-Lichtstreuungskopplung (Low Angle Laser Light Scattering GPC-LALLS)	490
3.3.2.4	Berechnung von Molmassenmittelwerten aus den Chromatogrammen	494
3.3.3	Bestimmung von Molmassenmittelwerten durch direkte und indirekte Methoden	495
3.3.3.1	Dampfdruckosmometrie (DO, Vapor pressure osmometry VPO)	495
3.3.3.2	Lichtstreuung	495
3.3.3.3	Viskosimetrische Untersuchungen	496
3.3.3.4	Fraktionierungen	498
3.3.3.5	Ultrazentrifuge	499
3.3.4	Chromatographische Untersuchung niedermolekularer Anteile von Kondensationsharzen	499
3.3.4.1	Flüssigkeits-Chromatographie (HPLC)	499
3.3.4.2	Gas-Chromatographie (GC)	503
3.3.4.3	Gaschromatographie-Massenspektrometrie-Kopplung (GC-MS)	503
3.3.4.4	Pyrolyse-Gaschromatographie (PGC)	503
3.3.4.5	Dünnschichtchromatographie (DC)	506
3.3.4.6	Papierchromatographie	506
3.4	Physikalische und thermische Methoden, insbesondere zur Verfolgung des Härungsverlaufes und der Ausbildung der Festigkeit der Leimfuge	506
3.4.1	Differential-Thermoanalyse (DTA)	507
3.4.2	Dynamische Differenzkalorimetrie (Differential scanning calorimetry DSC)	509
3.4.3	Thermisch-mechanische Analyse (Thermal mechanical analysis TMA)	521
3.4.3.1	Erweichungspunktmessung	521
3.4.3.2	Beurteilung des Fließverhaltens	521
3.4.3.3	Verfolgung der Aushärtung	524
3.4.3.4	Thermisch-mechanische Analyse an ausgehärteten Proben	528
3.4.4	Dynamische mechanische Analyse (Dynamic mechanical analysis DMA) bzw. Dynamische mechanisch-thermische Analyse (Dynamic mechanical thermal analysis DMTA)	528
3.4.5	Verfolgung der Ausbildung der kohäsiven Festigkeit	538
3.4.6	Torsionsanalyse (Torsional braid analysis TBA)	544
3.4.7	Dielektrische thermische Analyse (DETA), dielektrische Analyse (DEA)	547
3.4.8	Thermogravimetrie (TG) bzw. Differentielle Thermogravimetrie (DTG)	549

3.5	Untersuchungen an ausgehärteten Harzen	550
3.5.1	Chemische, physikalische und physikalisch-chemische Untersuchungen an ausgehärteten Bindemitteln	550
3.5.1.1	Chemische Untersuchungen	550
3.5.1.2	Restmonomere	550
3.5.1.3	Erweichungstemperatur (T_g)	551
3.5.1.4	Röntgen-Weitwinkelstreuung	551
3.5.2	Mechanische Prüfungen an ausgehärteten Bindemitteln	551
3.5.2.1	Thermische mechanische Analyse (TMA)	551
3.5.2.2	Dynamische mechanische thermische Analyse (DMTA)	553
3.5.2.3	Torsionsanalyse TBA	553
3.5.2.4	Mechanische Prüfung ausgehärteter Proben unterschiedlicher Form, insbesondere Folien	553
	Literatur	555
4	Chemische und physikalisch-chemische Untersuchungen an Holzwerkstoffen	565
4.1	Analyse des Rohleimes durch Untersuchung der fertigen Platte	565
4.1.1	Bestimmung verschiedener Elemente und Moleküle	565
4.1.1.1	Stickstoffgehalt	565
4.1.1.2	Melamin	565
4.1.1.3	Formaldehyd	566
4.1.1.4	CHN-Bestimmung (Elementaranalyse)	566
4.1.2	Analyse der Bindemitteltype und der Bindemittelverteilung in Holzwerkstoffen	566
4.1.2.1	Pyrolyse-Gaschromatographie	566
4.1.2.2	Hydrolyse mit nachfolgenden chemischen oder chromatographischen Analysen	566
4.1.2.3	Schnelltests zur Erkennung des eingesetzten Bindemittels	566
4.1.2.4	(Elektronen-) mikroskopische Untersuchungen der Leimfuge	567
4.2	Bestimmung des Beleimungsgrades	570
4.3	Bestimmung diverser Bestandteile, Elemente und Verbindungen in Holzwerkstoffen	570
4.3.1	Paraffinverteilung auf den Spänen	570
4.3.2	Gehalt an Natrium bzw. natriumhaltigen Komponenten in Holz und Holzwerkstoffen	570
4.3.3	Bestimmung von Chlor und Schwefel	570
4.3.4	Mineralische Bestandteile in Holzwerkstoffen	571
4.3.5	Bestimmung von Schutzmitteln	571
	Literatur	571

5	Bestimmung von aus Holzwerkstoffen emittierbaren Restmonomeren und anderen flüchtigen Verbindungen	573
5.1	Emissionen während der Holzwerkstoffherstellung	573
5.1.1	Messmethoden	574
5.1.2	Holzkomponente	575
5.1.3	Einfluss des Beleimungsgrades	575
5.1.4	Einfluss der Feuchtigkeit der beleimten Späne	576
5.1.5	Einfluss der Verarbeitungsbedingungen	577
5.1.6	Einfluss des eingesetzten aminoplastischen Harzes (Molverhältnis, Kochweise) bzw. der Bindemittelflotte auf die bei der Herstellung von Holzwerkstoffen abgespaltene Formaldehydmenge	577
5.2	Nachträgliche Formaldehydmission	579
5.2.1	Prüfmethoden für die Bestimmung von Formaldehydkonzentrationen	580
5.2.2	Messung der Formaldehydkonzentration in der Luft	580
5.2.2.1	Prüfraum	580
5.2.2.2	Wohn- und Aufenthaltsräume, Häuser	580
5.2.3	Prüfmethoden für die nachträgliche Formaldehydabgabe, Materialkennwerte	581
5.2.3.1	Standard-Prüfmethoden	581
5.2.3.2	Sonstige Prüfmethoden	583
5.2.3.3	Korrelationen zwischen verschiedenen Messmethoden	585
5.2.4	Vorschriften hinsichtlich der nachträglichen Formaldehydabgabe	589
5.2.5	Einflüsse der verschiedenen Prüfbedingungen sowie verschiedener Eigenschaften der Holzwerkstoffe auf die Formaldehydkonzentration in der Raumluft	592
5.2.5.1	Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit	592
5.2.5.2	Oberfläche (Beladungszahl)	592
5.2.5.3	Luftwechselzahl	592
5.2.5.4	Prüfraum-Gleichgewichtstheorien	593
5.2.5.5	Mischausgleichskonzentrationen	593
5.2.5.6	Abnahme der Formaldehydmission mit der Zeit	595
5.2.6	Einflüsse auf die nachträgliche Formaldehydabgabe	597
5.2.6.1	Holzkomponente	597
5.2.6.2	Bindemittel und Bindemittelflotte	598
5.2.6.3	Herstellungsbedingungen	599
5.2.6.4	Plattentyp	600
5.2.6.5	Plattenoberfläche	601
5.2.7	Herstellung von Platten mit niedriger nachträglicher Formaldehydabgabe	602

5.3	Phenolemission	603
5.4	Isocyanat	604
5.5	Ammoniak	604
5.6	Flüchtige Säuren	604
5.7	Volatile Organic Compounds (VOC)	605
5.8	Ökologische Betrachtung von Bindemitteln und Holzwerkstoffen	606
5.8.1	Lebenszyklusanalysen	607
5.8.2	Energieverbrauch bei der Holzwerkstoffherstellung	607
5.8.3	Umweltfreundliche energetische Nutzung von gebrauchten Holzwerkstoffen	608
	Literatur	608
6	Theorie und Grundlagen der Verleimung und der Prüfung von Holzwerkstoffen	615
6.1	Verleimungstheorien	617
6.1.1	Diffusionstheorie	618
6.1.2	Elektronen-Theorie	619
6.1.3	Mechanische Verankerung des Leimes im Holz (mechanische Adhäsion)	619
6.1.4	Nebenvalenzkräfte und physikalische Bindungen, Absorptionstheorie (spezifische Adhäsion)	621
6.1.5	Kovalente chemische Bindung zwischen Holzoberfläche und Bindemittel	622
6.1.5.1	Reaktionen von Isocyanat mit Holz	623
6.1.5.2	Kondensationsharze	625
6.1.5.3	Aktivierung der Holzoberfläche	627
6.2	Kohäsion	627
6.2.1	Kohäsionsfestigkeit	627
6.2.2	Abbindevorgang in duroplastischen Leimfugen	628
6.2.2.1	Ausbildung des Netzwerkes	628
6.2.2.2	Eigenschaften der reinen ausgehärteten Harze	628
6.2.2.3	Beeinflussung der Aushärtung durch die Holzsubstanz	628
6.3	Eigenschaften der Leimfuge	629
6.3.1	Mikroskopische Untersuchungen und andere Prüfverfahren	629
6.3.2	Rheologische Untersuchungen an Leimfugen	629
6.3.3	Bindefestigkeit	630

6.3.3.1	Prüfung der Bindefestigkeit, Beurteilung des Bruchbildes . . .	630
6.3.3.2	Einfluss der Leimfugendicke und der Passgenauigkeit der Holzoberflächen	632
6.3.4	Fehlverleimungen und Verleimungsfehler	632
6.3.4.1	Ungenügende oder fehlende Verleimfestigkeit	633
6.3.4.2	Benetzungsprobleme	634
6.3.4.3	Furnierrisse	635
6.3.4.4	Verfärbungen	636
6.3.4.5	Leimdurchschlag	636
6.4	Grundlagen der Prüfung von Holzwerkstoffen	637
6.4.1	Zeitpunkt der Prüfung	637
6.4.2	Probenahme und Vorbehandlung	639
6.4.3	Zulassungsverfahren	639
	Literatur	641

Teil III Einflussgrößen (M. Dunky)

1	Holz	647
1.1	Holzarten und Holzqualität	648
1.1.1	Holzarten und Holzsortimente	648
1.1.2	Holzqualität	652
1.1.2.1	Vergleich von Splint- und Kernholz verschiedener Holzarten als Rohstoff für die Spanplattenherstellung	652
1.1.2.2	Vergleich unterschiedlicher Aufschlussverfahren für MDF-Fasern	653
1.1.2.3	Juveniles und gereiftes Holz	653
1.1.2.4	Holz aus schnellwachsenden Bäumen	653
1.1.2.5	Weitere Themen	654
1.1.3	Rinde	654
1.1.4	Rest-, Alt- und Gebrauchtholz	655
1.1.4.1	Definitionen und Aufkommen	655
1.1.4.2	Qualitätskriterien, Verunreinigungen, Analyse	656
1.1.4.3	Recyclingholz und Recyclingspäne, Verwertung von gebrauchten Holzwerkstoffen und Möbeln . .	657
1.1.5	Einjahrespflanzen	659
1.1.6	Sonstige Rohstoffe	662
1.2	Holzstruktur vor dem Verpressen	662
1.2.1	Holzdichte	662
1.2.2	Jahrringlage und Orientierung der Holzfasern bei der Vollholzverleimung	663

1.2.3	Spanform und Spangrößenverteilung	664
1.2.4	Rauigkeit der Holzoberfläche	670
1.2.5	Fasergrößenverteilung in der MDF-Herstellung	671
1.3	Chemisches Verhalten des Holzes	673
1.3.1	Holzinhaltsstoffe	673
1.3.2	Säuregrad und Pufferkapazität, pH-Wert der Holzoberfläche	675
1.3.3	Gehalt an flüchtigen Säuren	680
1.4	Holzoberflächen	680
1.4.1	Herstellung der zu verleimenden Holzoberflächen (weak boundary layer)	680
1.4.2	Verleimungsrelevante Eigenschaften von Holzoberflächen	682
1.4.2.1	Kontaktwinkel und Oberflächenenergien von Holzoberflächen	682
1.4.2.2	Benetzungsverhalten von Holzwerkstoffoberflächen	686
1.4.2.3	Eindringverhalten von Bindemitteln in die Holzoberfläche	687
1.4.2.4	Chemische Analyse von Holzoberflächen	689
1.4.3	Modifizierung der Holzoberflächen	690
1.4.3.1	Acetylierung	690
1.4.3.2	Alkylierung der Zellwand durch Reaktion der OH-Gruppen mit Propylen- oder Butylenoxid	691
1.4.3.3	Aktivierung der Oberfläche, Wärme- und Hitzevorbehandlung, kombinierte chemische und thermische (thermochemische) Aktivierung	692
1.4.3.4	Coronabehandlung	694
1.4.3.5	Flame treatment	695
1.4.4	Biotechnologische Modifizierung des Holzes und der Holzoberfläche	696
1.4.5	Bindemittelfreie Verleimungen	697
1.5	Vergütung von Holz (modifiziertes Holz)	699
1.5.1	Tränkung mit wasserlöslichen Polymeren	699
1.5.2	Tränkung mit niedermolekularen PF-Harzen mit anschließender Weiterkondensation (Impreg) sowie Verdichtung (Compreg), Kunstharzpressholz	699
1.5.3	Imprägnierung mit Isocyanat	700
1.5.4	Vernetzung der OH-Gruppen der Zellulose, der Hemizellulose und des Lignins mit Formaldehyd	700
1.5.5	Imprägnieren mit Monomeren, Polymerholz	701
1.6	Physikalische und chemische Vorbehandlungen des Holzes	701
1.6.1	Dampfvorbehandlung	701
1.6.2	Ammoniakvorbehandlung	702
1.7	Holztrocknung (Furniere, Späne, Fasern)	703

1.8	Einfluss der Lagerungsbedingungen und der Lagerzeit der eingesetzten Holzrohstoffe, jahreszeitliche Schwankungen bei der Herstellung von Holzwerkstoffen	705
1.8.1	Jahreszeitliche Schwankungen der Holzqualität in der Spanplattenindustrie	705
1.8.2	Einfluss der kalten Jahreszeit	706
1.8.3	Einfluss der Schlägerungszeit auf die Eigenschaften und Verleimbarkeit	707
1.9	Alterung von Holzoberflächen	707
	Literatur	711
2	Bindemittel	727
2.1	Art und Eigenschaften der Bindemittel	727
2.1.1	Bindemitteltyp	727
2.1.2	Viskosität	727
2.1.3	Fließverhalten	730
2.1.4	Oberflächenspannung und Benetzungsverhalten	730
2.1.5	Reaktivität	731
2.1.6	Vergleich zwischen Flüssig- und Pulverleimen bei Kondensationsharzen	731
2.1.7	Mischung und Kombinationen von Bindemitteln	732
2.2	Aminoplastische Bindemittel	733
2.2.1	Festharzgehalt von aminoplastischen Leimen, Feuchtigkeit der beleimten Späne	733
2.2.2	Einfluss des Melamingehaltes	733
2.2.2.1	Hydrolysebeständigkeit	733
2.2.2.2	Einsatz verstärkter und modifizierter Leime zur Reduzierung der Dickenquellung der Trägerplatten von Laminatfußböden	734
2.2.3	Einfluss des Molverhältnisses F/U bzw. F/(NH ₂) ₂	735
2.2.3.1	Absenkung der nachträglichen Formaldehydabgabe aus Holzwerkstoffen durch Verringerung des Formaldehydgehaltes in aminoplastischen Leimen	737
2.2.3.2	Einfluss des Molverhältnisses auf mechanische und hygroskopische Eigenschaften, auf die Formaldehyd- abgabe während der Herstellung sowie auf die nachträgliche Formaldehydabgabe von Holzwerkstoffen	738
2.2.3.3	Möglichkeiten der Produktion von Holzwerkstoffen mit niedriger nachträglicher Formaldehydabgabe	746
2.2.3.4	Beschichtung von Holzwerkstoffen, Herstellung von Möbeln	749
2.2.4	Einfluss des Kondensationsgrades	749

2.2.5	Korrelationen zwischen der Zusammensetzung aminoplastischer Harze und den Eigenschaften der ausgehärteten Harze bzw. der damit hergestellten Holzwerkstoffe	751
2.3	Phenoplastische Bindemittel	753
2.3.1	Festharzgehalt und Trockensubstanz, Feuchtigkeit der beleimten Späne, Teilchengröße pulverförmiger Harze . .	753
2.3.2	Alkaligehalt	754
2.3.3	Molmassen und Molmassenverteilung	755
2.3.4	Molverhältnis	763
2.3.5	Korrelationen zwischen der Zusammensetzung von phenoplastischen Harzen und den Eigenschaften der ausgehärteten Harze bzw. der damit hergestellten Holzwerkstoffe	764
	Literatur	765
3	Einflussgröße Herstellungsbedingungen	769
3.1	Bindemittelmenge und Leimauftrag	769
3.1.1	Beleimungsgrad und Verteilung des Bindemittels auf den zu verleimenden Oberflächen bei der Spanplattenherstellung	769
3.1.2	Beleimungstechnik, Leimtröpfchengröße, Nachmischeffekt . .	776
3.1.3	Leimverbrauch bei der Flächenverleimung	780
3.1.4	Beleimung von Strands in der OSB-Herstellung	781
3.1.5	Faserbeleimung	782
3.1.6	Einfluss des Beleimungsgrades auf die Eigenschaften von Holzwerkstoffen	786
3.1.7	Schaumharzverleimung (geschäumte Leime)	789
3.2	Holzfeuchtigkeit vor und nach dem Aufbringen des Bindemittels, Wasserhaushalt bei der Verleimung	790
3.2.1	Holzfeuchtigkeit	790
3.2.2	Wasserhaushalt bei der Verleimung und bei der Herstellung von Holzwerkstoffen	791
3.2.3	Offene und geschlossene Wartezeit	802
3.2.4	Verleimung von feuchtem Holz	804
3.3	Fügen der beleimten Holzkomponenten	807
3.3.1	Aufbau der Holzwerkstoffe	807
3.3.1.1	Einteilungskriterien	807
3.3.1.2	Modellmäßige Beschreibung von Holzwerkstoffen	808

3.3.2	Span- und Faserorientierung	809
3.3.3	Verdichtungsverhältnis	815
3.4	Pressvorgang	818
3.4.1	Vorpressung	819
3.4.2	Pressstrategien	819
3.4.3	Pressdruck und Druckdiagramm, Pressenschließzeit, Verdichtungszeit und Druckaufbau	821
3.4.4	Feuchtigkeit der beleimten Späne bzw. Fasern, Dampfstoß, Durchwärmung der gestreuten und verdichteten Matte, Dampfdruck in der Platte	833
3.4.4.1	Durchwärmung bei der Sperrholzherstellung	833
3.4.4.2	Dampfstoß, Temperaturanstieg bei der Spanplatten- und MDF-Herstellung	836
3.4.4.3	Simulationsmodelle	851
3.4.5	Dampfinjektionsverfahren	855
3.4.6	Eindüsung verschiedener Chemikalien während des Heißpressvorganges	861
3.4.7	Hochfrequenzerwärmung	861
3.4.8	Presstemperatur und Presszeit	862
3.4.9	Druckentlastung, Lüften, Öffnen der Presse	866
3.5	Kühlen, Reifung und Nachbehandlung	868
3.5.1	Kühlen	868
3.5.2	Stapelbedingungen (Temperatur, Dauer), Temperaturverlauf während der Stapelreifung, Feuchteausgleich, Einfluss des Reifeprozesses auf die Eigenschaften der Holzwerkstoffe	869
3.5.3	Nachbehandlungsverfahren	871
3.5.3.1	Nachbehandlung mit Sattedampf	871
3.5.3.2	Wärmenachbehandlung bei Spanplatten	871
3.5.3.3	Wärmenachbehandlung bei Hartfaserplatten	872
3.5.3.4	Abbau von inneren Spannungen bei MDF	872
3.6	Korrelation der Platteneigenschaften mit verschiedenen Rohstoff- und Herstellungsparametern	872
	Literatur	874
4	Dichte	885
4.1	Dichteverteilung in der Plattenebene	885
4.2	Rohdichtepprofile von Holzwerkstoffen	886
4.3	Einflussgrößen auf Plattendichte und Dichtepprofile	890
4.3.1	Lockerzonen	890

4.3.2	Einflussgrößen	891
4.3.3	Verfolgung der Ausbildung des Rohdichteprofiles	892
4.4	Einfluss der Dichte auf die Eigenschaften von Holzwerkstoffen	894
4.5	Leichte Holzwerkstoffe	901
	Literatur	902
5	Feuchtigkeit und Temperatur	907
5.1	Eigenschaften, Beständigkeit und Hydrolyse von ausgehärteten Harzen, Leimfugen und Holzwerkstoffen bei Einfluss von Feuchtigkeit und Wasser	907
5.1.1	Versagensursachen und Festigkeitsverlust von Holzwerkstoffen	910
5.1.1.1	Hydrolyse des Harzes	911
5.1.1.2	Zerstörung der Bindung an der Grenzfläche zwischen Holz und Leimfuge	915
5.1.1.3	Quell- und Schrumpfspannungen infolge der Teilchenbewegung	916
5.1.2	Säuregehalt der Leimfuge, Möglichkeiten der Vermeidung von Hydrolyse	916
5.2	Einfluss von Wärme und Feuchtigkeit auf verschiedene Eigenschaften von Holzwerkstoffen	917
5.3	Einfluss von Kälte auf Verleimfestigkeiten und Eigenschaften von Holzwerkstoffen	924
	Literatur	924
	Sachverzeichnis	929

Holzwerkstoffe und Leime

Technologie und Einflussfaktoren

Dunky, M.; Niemz, P.

2002, XXIV, 954 S., Hardcover

ISBN: 978-3-540-42980-7