

zur Erlangung des akademischen Grades
eines
Diplomingenieurs (FH)

Hochschule für angewandte Wissenschaften und Kunst
Fachhochschule Hildesheim
Fakultät Bauwesen
Fachrichtung Holzingenieurwesen

Andreas Werner

Mat.-Nr. 354060
Hildesheim

Diplomthema

Fassadenaufbauten aus Holzwerkstoffen

SS 2006

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer
2. Prüfer: Dipl.-Ing. Peter Steben

1 Zusammenfassung

Im Rahmen der Entwicklung eines Sandwich-Fassadenelementes, welches aus einer dimensionsstabilen mineralischen Dämmschichteinlage mit zweiseitiger Sperrholzkaschierung besteht, ist es Ziel dieser Diplomarbeit die holztechnologischen Gesichtspunkte der ausgewählten Materialien, Dreischichtplatte und Baufurniersperrholz in Bezug auf die Anforderungen in der Außenverwendung darzulegen.

Auf der Grundlage des chemischen Aufbaus von Holz wird das Feuchteverhalten von Holz und den ausgewählten Holzwerkstoffen verglichen und Maßnahmen zur Dimensionsstabilisierung und zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit nach dem aktuellen Stand der Technik vorgestellt.

Unter Einbeziehung abgeschlossener Versuchsreihen werden im Hinblick auf den strukturellen Aufbau der Holzwerkstoffe verschiedene Schadensbilder dokumentiert und erörtert. Dabei steht im Vordergrund die vielfältigen Ursachen der Schäden zu erkennen, um diese frühzeitig vermeiden zu können und ein Gespür für das Materialverhalten zu entwickeln. Auf mögliche Fehlerquellen in der Herstellung der Holzverbundplatten wird in allen Abschnitten dieser Arbeit hingewiesen. Grundlagen wie der bauliche Holzschutz und die natürliche Dauerhaftigkeit von Holz sind ebenso Bestandteil der Arbeit, um den Gesetzmäßigkeiten einer sorgfältigen Planung Ausdruck zu verleihen.

Zusätzlich soll eine Grundlagenanalyse des Programmsystems Delphin die Möglichkeiten und Grenzen einer Bauteilsimulation unter instationären Bedingungen infolge gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports aufzeigen.

2 Chemischer Aufbau des Holzes

Holz ist ein inhomogenes, poröses und anisotropes Gefüge, das aus der Zellwandsubstanz und den Zellhohlräumen gebildet wird.

Nach Wagenführ kann die chemische Zusammensetzung des Holzes in Hauptbestandteile, den Zellwandsubstanzen und in Nebenbestandteile, den Holzinhaltsstoffen, eingeteilt werden.

Die Hauptbestandteile, die bei einheimischen Holzarten einen Anteil von 97%-99% des Holzes ausmachen, sind Holozellulose und Lignin. Die Holozellulose wird unterschieden in Zellulose und Hemizellulose, den Holzpolyosen. Holzpolyosen sind beispielsweise Pentosane oder Hexosane.

Die Nebenbestandteile des Holzes werden in primäre und sekundäre Nebenbestandteile gegliedert. Zu den primären Nebenbestandteilen zählen Fette, Stärke und Zucker.

Sekundäre Nebenbestandteile sind Kernholzstoffe, Mineralstoffe, Gerbstoffe, Farbstoffe, Harze, ätherische Öle, Alkaloide oder Kautschuk.

3 Anatomie der Holzzellwand

Zum Verständnis der Holzeigenschaften bedarf es der genauen Betrachtung des Zellwandfeinbaus und des submikroskopischen Aufbaus des Holzes.

Den Grundbaustein des Holzgewebes bilden fünf fadenförmige Zelluloseketten. Die daraus entstehende Elementarzelle enthält vier an den Kanten verlaufende Zelluloseketten. Die fünfte Zellulosekette liegt im Zentrum der Elementarzelle, parallel zu den vier äußeren Ketten.

Die Elementarzellen lagern sich zu größeren Einheiten, den Elementarfibrillen bzw. Micellen zusammen. Die Querschnittsfläche einer Elementarfibrille beträgt etwa 30 mal 70 Ångström (Å) und besteht aus ungefähr 50 Zellulosemolekülen. Die Struktur des Micellargefüges ist wechselweise kristallin oder amorph.

Vier Micellen vereinen sich weiter zu einer Mikrofibrille deren Intermicellarräume mit Matrix gefüllt sind. Diese Räume sind für Wassermoleküle zugänglich, dies führt zur Quellung des Holzes.

Die Mikrofibrillen (Durchmesser 250 Å) fügen sich lamellenartig zusammen und lagern sich in unterschiedlicher Orientierung in den Zellwandschichten an. Die Zwischenräume der Mikrofibrillen heißen Interfibrillarräume, in welchen sich die Ligninmoleküle anordnen.

4 Feuchteverhalten von Holz im hygroskopischen Bereich

Infolge des kapillarporösen Charakters ist Holz in der Lage Wasser aus der Luft sowie Wasser durch kapillare Transportprozesse zu absorbieren. Bis zur Fasersättigung sind fast ausschließlich Diffusionserscheinungen aufgrund von Teildruck- oder Konzentrationsdifferenzen am Feuchtetransport beteiligt.

Unterhalb des Fasersättigungsbereichs aufgenommenes Wasser wird als gebundenes Wasser bezeichnet, da es über Wasserstoffbrücken und van-der-Waals-Kräfte zwischen den Zelluloseketten in der Zellwand gebunden wird. Oberhalb des Fasersättigungsbereichs absorbiertes Wasser liegt als frei tropfbares Wasser in den Zelllumina vor.

Im Holzfeuchtebereich von 0 bis 6% findet die so genannte Chemisorption statt. Hier bildet sich eine einmolekulare Wasserschicht an den ungesättigten Hydroxylgruppen der Zellwände aus. Die relative Luftfeuchte im Bereich der Chemisorption liegt bei maximal 20%. Die zweite Phase der Sorption ist die Adsorption. Ursache für die Adsorption ist eine relative Luftfeuchtigkeit von 20 bis 60%. In den Poren des Mikrosystems wird durch intermolekulare Anziehungskräfte eine polymolekulare Wasserschicht ausgebildet, die aus insgesamt fünf Wassermolekülschichten bestehen kann. Der Holzfeuchtebereich in der Adsorptionsphase liegt zwischen 6 und 15%.

Zwischen 16% Holzfeuchte und dem Fasersättigungsbereich lagert sich weiteres Wasser durch Kapillarkondensation in der Zellwand ein. Dies geschieht bis zu einer relativen

Luffeuchte von 100% durch Kondensation in den Kapillaren, weil der Sättigungsdruck in den Kapillaren niedriger ist als über ebener Oberfläche.

Infolge der Feuchteaufnahme unterhalb der Fasersättigung kommt es in der Zellwand zu einer Erhöhung der Plastizität. Mit Hilfe von Enzymen, den Expansinen, werden die Hemizelluloseketten von den Zelluloseketten bis zu einem gewissen Grad gelöst. Durch das osmotische Potential des Wassers werden die Mikrofibrillen nun parallel auseinander geschoben und eine Streckung der Zellwand wird ausgelöst, das Holz quillt.

An dieser Stelle wird deutlich warum das Holz in verschiedenen Richtungen unterschiedliche Eigenschaften aufweist. Die in Abschnitt 3 beschriebenen Fibrillenwinkel und die Konzentration der Fibrillen in den einzelnen Zellwandschichten sind verantwortlich für die Richtung und Intensität des Quellvorgangs. Daneben führen Knigge und Schulz den größeren Durchmesser der radial verlaufenden quellfähigen Mittellamellen und die in radialer Richtung bessere Verankerung der Zellwände durch die Holzstrahlen an.

Kenngroße für den Feuchtetransport infolge Diffusion ist die Diffusionswiderstandszahl μ . Sie steigt mit abnehmender Feuchte und zunehmender Rohdichte.

Das Quell- und Schwindverhalten von Holz kann im Holzfeuchtebereich von 0% bis ca. 30% mit folgender Formel dargestellt werden:

$$\Delta l = \frac{\Delta w \cdot \alpha \cdot l_0}{100} \quad \text{Gl (4/2)}$$

Hierin bedeuten:

- Δl = Quell- und Schwindbewegung in mm
- Δw = Differenz der Holzfeuchte in % (Holzfeuchteänderung)
- α = Differenzielles Schwind- und Quellmaß in % pro 1% Holzfeuchteänderung
- l_0 = Bezugslänge oder Bezugsbreite in mm

Die Schwind- und Quellmaße sind tangential zum Jahrring am größten, radial zum Jahrring etwa halb so groß und parallel zur Faser nur sehr gering. Im Mittel kann mit den nachfolgenden differentiellen Quellmaßen nach DIN 52184 gerechnet werden.

Oberhalb des Fasersättigungsbereichs wird Wasser durch kapillare Kräfte in das Holz aufgenommen. Die Richtung des Feuchtetransports ist immer von weiten zu engeren Kapillaren (kommunizierende Kapillaren) und die Wasseraufnahmegeschwindigkeit von mehreren Faktoren abhängig:

- Dichte des Holzes (zunehmende Dichte bewirkt kleinere Wasseraufnahme)
- Richtung des Holzes (in Faserrichtung deutlich höher als senkrecht dazu)
- Holzart
- Art der Oberflächenbeschichtung
- Abmessung des Bauteils

Die Kapillaren können gemäß DIN 66131 bezüglich ihres Durchmessers in Makrokapillaren, Mesokapillaren und Mikrokapillaren eingeteilt werden:

- Makrokapillaren: Radius $> 10^{-6}\text{m}$ ($> 1\mu\text{m}$)
- Mesokapillaren: Radius $10^{-7} \dots 10^{-6}\text{m}$ ($0,1 \dots 1\mu\text{m}$)
- Mikrokapillaren: Radius $< 10^{-7}\text{m}$ ($< 0,1\mu\text{m}$)

Die Makrokapillaren nehmen unter stationären Bedingungen nur Flüssigkeiten auf, während die Mikrokapillaren durch Kapillarkondensation auch Flüssigkeiten aus der Dampfphase aufnehmen.

Als Kennwert für die Wasseraufnahme durch Kapillarkräfte bedingt durch Schlagregen oder Wasserlagerung dient der Wasseraufnahmekoeffizient nach prEN ISO 15148. Der

Wasseraufnahmekoeffizient wird in $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{s}})$ angegeben.

Bei der Wasseraufnahme aus der Luft im hygroskopischen Bereich des Holzes stellt sich eine Gleichgewichtsfeuchte im Holz ein, die von der relativen Luftfeuchte, der Temperatur, dem Luftdruck und der Holzart abhängig ist.

Die Abhängigkeit der Holzfeuchte von der relativen Luftfeuchte wird in Sorptionsisothermen dargestellt. Aufgrund des Hystereseeffektes sind die Isothermen der Adsorption und Desorption nicht deckungsgleich und die Desorptionsisotherme liegt 1 bis 2% über den Adsorptionsisothermen. Die Ursachen des Hystereseeffektes sind noch nicht eindeutig geklärt und werden auf verschiedene Einflüsse zurückgeführt. Unzureichende Mess- und Versuchsdauer, Flaschenhalbsporen, Wechselwirkungen zwischen Sorbatfilm und der Porenluft sind diskutierte Erklärungsansätze. Daneben spielt gerade bei Holz die Veränderung des Porengefüges infolge Schwinden und Quellen eine große Rolle.

Die Verringerung der Gleichgewichtsfeuchte und die damit verbundene Absenkung der Sorptionsisothermen ist ein Ziel der Holzmodifikation zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit einheimischer Holzarten.

5 Mehrschichtige Schnittholzplatten

Mehrschichtige Schnittholzplatten wie die Dreischichtplatte werden aus Nadelholz hergestellt. Üblicherweise wird Fichte/ Tanne zur Plattenproduktion verwendet. Mindestens 90% der flächig verleimten Einzelbretter müssen der Sortierklasse S10 nach DIN 4074-1 genügen. Die übrigen Bretter müssen mindestens der Sortierklasse S7 angehören.

Um die Wetterbeständigkeit zu erhöhen werden ebenfalls Platten hergestellt, deren Decklagen aus Hölzern mit höherer natürlicher Dauerhaftigkeit bestehen. Lärche oder Douglasie sind beispielsweise möglich. Die Faserrichtung der Decklagen verläuft immer rechtwinklig zur Faserrichtung der Mittellage, um eine hohe Dimensionsstabilität zu

erreichen. Die Dicke der Decklagenbretter beträgt zwischen 4mm und 9mm. Die Dicke der übrigen Bretter bewegt sich zwischen 4mm und 50mm. Eine wetterfeste Verleimung wird mit Phenolharzen oder modifizierten Melaminharzen sichergestellt.

5.1 Baufurniersperrholz BFU

Baufurniersperrholz besteht aus Schäl furnieren, die kreuzweise, symmetrisch zur Mittellage verleimt werden. Diese Schäl furniere haben eine Dicke von 1,5 bis 2,5 mm.

Baufurniersperrholz wird wie alle anderen Holzwerkstoffe, die in Nutzungsklasse 2 eingestuft werden, wetterfest verleimt. Dazu kommen neben Phenolharzen und modifizierten Melaminharzen Phenol- Resocinharze und Resorcinharze zum Einsatz.

BFU wird aus den Holzarten Fichte, Lärche, Kiefer, Douglasie, Southern Pine, Birke, Okume oder Mahagoni hergestellt. Kombinationen aus zwei Holzarten sind mögliche Alternativen, um bestimmte Eigenschaften einer Platte zu verbessern. Beispiele hierfür sind „Combi Plywood“, „Combi Mirror Plywood“ oder „Twin Plywood“. Diese Sperrholzplatten bestehen aus Birken- und Nadelholz furnieren und sind unterschiedlich aufgebaut:

Combi Plywood: | — II — II — |

Combi Sperrholz besteht aus jeweils zwei Birken furnieren als Decklagen, dazwischen wechseln sich Nadelholz- und Birken furniere ab.

Combi Mirror Plywood: | = | = | = |

Dieser Sperrholztyp besitzt jeweils ein Birken furnier als Decklage, dazwischen liegen abwechselnd Nadelholz- und Birken furniere.

Twin Plywood: | = II = II = II = |

Twin Sperrholz besteht aus Nadelholz furnieren und hat je ein Birken furnier als Deck furnier.

Zeichenerklärung: | : Birken furnier,
— : Birken furnier
II : Nadelholz furnier
= : Nadelholz furnier

Durch diese Aufbauten wird in technologischer Sicht erreicht, dass im Falle des „Twin Plywood“ zum einen die geringere Schwind- und Quellverformung durch Anordnung der Nadelholz furniere erhalten wird und zum anderen eine höhere Sichtqualität der Deck furniere erzielt wird. Holzarten geringer Dichte schwinden und quellen weniger stark als Hölzer hoher Dichte.

6 Klebstoffe

Um wetterfeste Verklebungen herzustellen bedarf es Klebstoffen, die den Anforderungen der in DIN 68800-2 festgelegten Holzwerkstoffklassen genügen. An dieser Stelle sei darauf

hingewiesen, dass sich die Holzwerkstoffklassen V 20, V 100 und V 100 G ausschließlich auf die Feuchteresistenz der Verleimungsarten beziehen. Die Holzfeuchte, der eine Holzwerkstoffplatte mit einer V 20 Verleimung nicht mehr entspricht liegt bei mehr als 15%. In diesem Bereich beginnt die Kapillarkondensation der Luftfeuchtigkeit, die zu erheblichen Spannungen infolge Quellen im Holz führt. Verklebungen, die diesen Anforderungen gerecht werden sollen, müssen daher elastisch sein, um Quell- und Schwindvorgänge auffangen zu können. Spröde Leimfugen würden schnell zum Versagen der Klebefuge führen. Außerdem ist die Hydrolysebeständigkeit des Klebstoffs Voraussetzung für eine dauerhafte Verbindung in klimatisch stark beanspruchten Werkstoffen.

In der Praxis werden daher aus der Gruppe der Formaldehyd-Kondensationsharze in erster Linie Phenol-Formaldehyd-Harze, Resorcin-Formaldehyd-Harze oder Kombinationen aus beiden für den Einsatz im Außenbereich angewendet. Isocyanat-Bindemittel auf Basis von PMDI (Polymethylendiisocyanat) stellen die zweite große Gruppe für Klebstoffe in „exterior“-Qualität dar. Eine weitere Möglichkeit, die Beständigkeit der Platten gegenüber einwirkender Feuchte zu erhöhen, ist die Modifizierung aminoplastischer Harze mit Melamin. Da Melamin jedoch sehr teuer ist, erweist sich diese Vorgehensweise nicht als wirtschaftliche Alternative zu den erstgenannten Klebstoffen.

7 Konstruktiver Holzschutz

Die Grundlage dauerhafter Holzerhaltung ist der konstruktive Holzschutz. Ohne konstruktiven Holzschutz ist chemischer oder beschichtungstechnischer Holzschutz in seiner Wirkung deutlich behindert. Daher ist es zwingend erforderlich alle möglichen Maßnahmen in Betracht zu ziehen, die das Eindringen von flüssigem Wasser über offene Fugen oder über das Hirnholz vermeiden. Die Hirnholzflächen von Holzbauteilen sowie die Kanten von Holzwerkstoffen sind besonders vor Wasserpenetration zu schützen, da Hirnholz 10 bis 15 mal so schnell und so viel Wasser aufnimmt wie Längsholz. Weiterhin müssen die Bauteile so konstruiert werden, dass die Kondensation von Wasserdampf im Bauteil minimiert wird. Grundsätzlich ist zu bedenken, dass Holz Wasser in flüssiger und in dampfförmiger Form aufnimmt, aber es nur in Dampfform wieder abgeben kann. Auf dieser Tatsache basierend sollte das Holz mit einer Beschichtung versehen werden, die in der Lage ist tropfbares Wasser abzuweisen und gleichzeitig diffusionsoffen ist, um ein rasches Austrocknen zu ermöglichen. Daneben muss die Beschichtung in der Lage sein das Holz vor UV-Strahlen zu schützen, was in der Regel durch Zugabe von Pigmenten erreicht wird.

Der baulich-konstruktive Holzschutz soll also verhindern, dass im verbauten Holz Bedingungen entstehen, die eine Schädlingsentwicklung ermöglichen und eine schnelle Wiederaustrocknung durchfeuchteter Bauteile sicherstellen.

Konstruktive Maßnahmen, wie große Dachüberstände oder abgestufte Fassadenanordnung, tragen dazu bei die Lebensdauer von Fassadenkonstruktionen zu erhöhen ohne auf chemischen Holzschutz zurückgreifen zu müssen.

8 Möglichkeiten zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit von Holz und Holzwerkstoffen

Tabelle 8.1: Holzmodifikationen und deren Wirkungsweise auf die Zellwand

Modifizierungsverfahren	Wirkprinzip
Hitzebehandlung	
Acetylierung	
Melaminharz	
Holzvernetzung	
Furfurylierung	
Silizium / Silikon / Silan	
Öl / Wachs	
Chitosan	

Füllung der Lumen	Füllung der Zellwand	Reaktion mit OH-Gruppen	Vernetzen mit OH-Gruppen	Zellwandstruktur ändern
				

9 Holzvernetzung

Die Imprägnierung mit Textilchemikalien (Holzvernetzung) ist eine neue Technologie der chemischen Holzvergütung. Die von Militz entwickelte Behandlungsmethode beruht auf einer Modifizierung der Zellwände durch Polykondensation mit DMDHEU-Monomeren. DMDHEU bedeutet 1,3-Dimethylol-4,5-Dihydroxyethylenurea und wird von der Firma BASF AG unter dem Markennamen Belmadur® vermarktet. Die Firma Becker KG produziert bereits nach dem Belmadur®-Verfahren hergestellte Buchenformteile.

Das Wirkprinzip des Verfahrens ist die Anlagerung von DMDHEU-Monomeren an die hydrophilen OH-Gruppen der Zellulose. Wie bei Wasseranlagerung kommt es auch bei Reaktion mit den Vernetzer-Molekülen zum Quellen des Holzes. Nun findet im gequollenen Holz eine Vernetzung statt und das Holz wird in diesem Zustand fixiert.

10 Schäden und deren Ursachen an Holzwerkstoffen

Holzwerkstoffe, die dem Außenklima ausgesetzt sind, stellen sehr hohe Anforderungen an das Material, die Konstruktion, den Planer und den ausführenden Betrieb. Unsachgemäße Verarbeitung und nicht durchdachte Holzwerkstoffsysteme, die kostengünstig angeboten werden, können langfristig zu kostspieligen Erneuerungs- und Austauscharbeiten führen. Auf falsche oder schlechte Verarbeitung reagieren Holzwerkstoffplatten relativ schnell sehr empfindlich, was ihnen zu Unrecht einen schlechten Ruf einbringt. Ein verantwortungsvoller Entwurf und eine fachgemäße Umsetzung sind daher essentiell.

Allerdings sind nicht alle Veränderungen der Oberfläche Schäden, die die Funktion der Fassade beeinträchtigen sondern lediglich das Erscheinungsbild negativ verändern. Unter architektonischen und ästhetischen Gesichtspunkten sind jedoch auch solche Erscheinungen völlig inakzeptabel.

Die Schäden an Holzwerkstofffassaden können in drei verschiedenen Phasen ihre Ursache haben:

- Schäden infolge Fehlkonstruktionen und Planungsfehlern
- Schäden während der Verarbeitung
- Schäden während der Nutzung

11 Oberflächenbehandlung im Außenbereich

Die Beschichtung von Holz hegt seit jeher den Wunsch die Langlebigkeit des Holzes zu erhöhen. Besonders im Hinblick auf die Wettbewerbsfähigkeit von Holzwerkstoffen sollte die Verlängerung der Sanierungsintervalle oberstes Ziel der Farb- und Lackindustrie sein. Das Verlangen nach ewig haltbaren Anstrichen ist, zwar utopisch, jedoch können die Wartungsintervalle durch den Einsatz spezieller Materialien erheblich vergrößert werden. Der Oberflächenschutz muss neben gestalterisch-architektonischen Aspekten in erster Linie die folgenden Aufgaben erfüllen:

- Schutz vor UV-Strahlung
- Schutz vor Feuchte
- Wärmeschutz durch Reflexion der Strahlung
- Schutz vor Verfärbungen und Verschmutzungen
- Eventuell Schutz vor Bläue- oder Schimmelpilzbefall

11.1 Neue Entwicklungen

Am Fraunhofer Institut für Holzforschung in Braunschweig wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Remmers Baustofftechnik GmbH eine dauerhafte Holzbeschichtung durch Verwendung neuer Polymere entwickelt. Ergebnis des Forschungsprojektes ist ein Klarlacksystem mit hoher Haltbarkeit für Holzbauteile in der Außenverwendung. Das so genannte „Induline“ UV-System zeichnet sich durch Diffusionsoffenheit, Farblosigkeit und hohe Elastizität aus und ist durch UV-Vernetzung sehr schnell aushärtbar und einsatzfertig. Die photochemische Degradation des Holzes durch UV-Strahlung betrifft auch das im Lack enthaltene Polymer. Dieses Polymer wird durch UV-Strahlung bis etwa 360nm abgebaut bzw. beschädigt und kann das Holz nicht mehr schützen. Die maximale Transmission einer Holzbeschichtung darf 3% im Wellenlängenbereich von 280 bis 440nm nicht überschreiten. Die Problematik besteht darin, dass die UV-Durchlässigkeit des reinen Polymers schon bei 300nm erheblich ist. Organische UV-Absorber sind dagegen in der Lage in Kombination mit „Radikalfängern“ das Polymer aber nicht das Holz zu schützen, da ab etwa 380nm eine nahezu vollständige Transparenz vorliegt. Ausreichende Licht- und UV-Absorption wurde bisher nur von anorganischen UV-Absorbern erreicht. Allerdings neigen derart hergestellte Schutzfilme zur Vergilbung und Braunfärbung.

Das neu entwickelte System besteht daher aus einer Mischung von Bindemittel, UV-Absorber und Photoinitiatoren, das im Vergleich zu UV-Lacken aus der Möbelindustrie zusätzlich über eine hohe und dauerhafte Elastizität verfügt. „Radikalfänger“ und „farblose Pigmente“ wandeln die Strahlung der Sonne in Wärme um und verhindern auf diese Weise den photochemischen Holzabbau.

Weitere innovative Produkte sind Lasuren, welche nicht abblättern, sondern mit der Zeit verwittern und dadurch ihre Schichtdicke verringern. Ein Neuanstrich kann zu gegebener Zeit ohne Anschleifen oder Grundieren erfolgen. Tieferegehende Produktinformationen sind der homepage der Firma Remmers zu entnehmen.

12 Delphin

Delphin ist ein an der TU Dresden entwickeltes Simulationsprogramm, das den gekoppelten Wärme-, Feuchte-, Salz- und Lufttransport in kapillarporösen Baustoffen berechnet.

Der Wärme- und Energietransport durch Bauteile und in Konstruktionsdetails in Wandaufbauten oder im Bereich von Wärmebrücken kann neben dem Feuchtetransport und der Wasseranreicherung in Konstruktionen erfasst werden. Weiterhin können Luftströmungen, die zur genauen Beschreibung der verschiedenen Transportmechanismen herangezogen werden müssen, in die Berechnung integriert werden. Salztransport und von Salzen ausgelöste Effekte können von Delphin ebenfalls dargestellt werden.

Basierend auf dem Baustoffmodell eines kapillarporösen Stoffes werden alle Konstruktionsmaterialien als solche behandelt. Es können daher nur Konstruktionen simuliert werden, die diesem Kriterium entsprechen und die damit verbundenen Transportvorgänge aufweisen. Nichtberücksichtigung dieses Modells führen unweigerlich zu Fehlern in der Handhabung und zu minderwertigen Ergebnissen. Durch genaue Kenntnis des Materialverhaltens kann der geübte Anwender jedoch durch geschicktes Modifizieren der Randbedingungen realitätsnähere Modellierungen vornehmen.