

Permeabilität von Holzwerkstoffmatten

Wiwat Hanvongjirawat

Fachbereich Biologie

Hamburg 2003

Stichworte : Permeabilität, Holzwerkstoffe, Holzwerkstoffmatten (Späne, Fasern, Strands), Heißpresse, Darcy's Gesetz

Zusammenfassung

Bei der Holzwerkstoffherstellung ist die Optimierung des Heißpressvorgangs von wesentlicher technologischer und ökonomischer Bedeutung. Das Heißpressen stellt einen kostenintensiven und komplexen Abschnitt in der Holzwerkstoffproduktion dar. Somit sind die Minimierung des Energieeinsatzes, die Erhöhung der Anlagenkapazität durch Presszeitverkürzung, eine optimale Ausnutzung der einzusetzenden Rohstoffe Holz und Klebharze sowie die Verbesserung der mechanischen Eigenschaften der hergestellten Holzwerkstoffe anzustreben. Limitierender Faktor beim Pressen ist die Aushärtung der Klebharze in der Plattenmittelschicht, in der ein Temperaturniveau von knapp über 100 °C erreicht werden sollte. Um möglichst kurze Presszeiten zu erzielen, muss die Mattenmitte möglichst schnell erwärmt werden. Die Permeabilität der Matte ist ein wichtiger Parameter für den konvektiven Wärmetransport; Wasser verdampft in den Deckschichten, strömt in die Plattenmitte und kondensiert dort. Somit stellt die vertikale Permeabilität einen maßgebenden Parameter bei der Erwärmung der Mittelschicht in der Heißpresse dar (Bolton und Humphrey 1994, Frühwald et al. 1999, v. Haas 1998). Zur Vermeidung von Dampfplatzern wird gegen Ende des Pressvorganges ein möglichst hoher Gas- und Dampfdruckabbau über die Schmalkanten der Platte angestrebt. Ein niedriger Gasdruck in der Platte vermindert die Gefahr von Dampfplatzern. Somit stellt die horizontale Permeabilität (parallel zur Plattenebene) einen maßgebenden Parameter für den Dampfdruckabbau beim Verlassen der Platten aus der Presse dar. Die horizontale Permeabilität ist zudem auch zu Beginn des Pressvorganges von Bedeutung, da hier die Matte beim Verdichten entlüftet werden muss.

Die Einflussfaktoren auf die Permeabilität sind die Materialien (Deckschicht (DS)-, Mittelschicht (MS)-Späne, Fasern und Strands), Feuchte der Materialien, Klebstoffanteil, Partikelgröße und Größenverteilung sowie die Temperatur des Durchflussmediums. Die Kenntnis der Permeabilität in Abhängigkeit von diesen Faktoren erlaubt es, den Pressvorgang hinsichtlich einer Reduzierung der Presszeit und der Sicherung der Produktqualität (Querzugfestigkeit, Vermei-

dung von Dampfplatzern) gezielt zu verbessern. Diese Kenntnisse sind von besonderer Bedeutung, wenn in der Praxis rasch wechselnde Rohstoffe eingesetzt und die Platten in ihren Eigenschaften, besonders bei der Dichte und dem Dichteprofil, kundenspezifisch gefertigt werden.

Das bisherige Messverfahren für die Permeabilität, das u.a., von v. Haas (1998) und Heinemann (1999) angewendet wurde, gilt als ein sehr zuverlässiges, aber auch sehr aufwendiges Verfahren. Die vertikale und horizontale Permeabilität werden dadurch bestimmt, dass Proben aus verklebten Holzwerkstoffplatten mit gleichmäßigem Rohdichteprofil ausgeformt und zur Durchflussmessung eingesetzt werden. Für die Plattenherstellung ist ein zeitintensives Pressprogramm notwendig, um ein homogenes Dichteprofil zu erreichen (bis ca. 5 Std.). Für jede zu untersuchende Rohdichte muss eine Platte hergestellt werden. Die Zylinderflächen der hergestellten Proben werden mit Epoxidharz bzw. bei niedrigen Rohdichten mit Silikon abgedichtet und anschließend mittels eines Warmschrumpfschlauches in die Messeinrichtung integriert. Die Durchflussrate durch die Proben wird bestimmt und entsprechend dem Gesetz von Darcy ausgewertet.

Haselein (1998) hat eine ``Schnellmethode`` entwickelt, in der die horizontale und vertikale Permeabilität in einem Verdichtungsversuch bestimmt werden. Das Verfahren basiert auf der Permeabilitätsbestimmung anhand eines mathematischen Modells. Dieses Verfahren kann bisher nur modellhaft bei Matten aus Fasern angewendet werden, liefert aber keine realistischen Ergebnisse.

In der vorliegenden Arbeit wurden zwei neue Methoden, einschließlich deren versuchstechnische Umsetzung, zur Bestimmung der horizontalen und vertikalen Permeabilität von Holzwerkstoffen entwickelt. Damit wird eine wesentlich schnellere Messung der Permeabilität gegenüber dem bisherigen ``klassischen`` Verfahren möglich und die Permeabilität, in Abhängigkeit der Dichte, wird an ein und demselben Material gemessen.

Die Messvorrichtung I ist für die eindimensionale kontinuierliche Messung (jeweils getrennt horizontale und vertikale Richtung) der Permeabilität bestimmt. Die Proben (Faser- und Spanmatten) werden in der Anlage auf verschiedene Rohdichten verdichtet und die Permeabilität jeweils in horizontaler bzw. vertikaler Richtung bestimmt. Mit der Messvorrichtung I können aus geometrischen Gründen Matten aus DS- und MS-Spänen sowie Fasern gemessen werden.

Die Messvorrichtung II ist für die zweidimensionale kontinuierliche Messung der Permeabilität vorgesehen. Auch hier werden die Proben auf verschiedene Rohdichten verdichtet. Um die Druckverteilung in der Probe simulieren zu können, wurden die Drücke an ausgewählten Po-

sitionen in der Probe gemessen. Die Berechnung der Permeabilitätswerte in horizontaler und vertikaler Richtung für Messvorrichtung II erfolgt auf der Basis zweier Modelle (zwei Modellansätze) computergestützt. Die horizontalen und vertikalen Permeabilitätswerte werden aus einem Versuch gleichzeitig berechnet. Neben Faser- und Spanmatten können mit der Messvorrichtung II auch die horizontale und vertikale Permeabilität von Strandmatten gemessen werden, da der Probenraum ausreichend groß ist.

Mit der Messvorrichtung I wurden die horizontale und vertikale Permeabilität von unbeleimten Matten aus MS-, DS-Spänen und Fasern bei verschiedenen Feuchten sowie von belemten Matten aus MS-, DS-Spänen und Fasern mit einem Klebstoffanteil von 10 % in einem Rohdichtebereich von 250 bis 950 kg/m³ bestimmt. Bei unbeleimten Matten aus MS-Spänen erfolgte diese Messung unter Verwendung verschiedener Spanfraktionen.

Mit der Messvorrichtung II wurden nur die horizontale und vertikale Permeabilität von unbeleimten Matten aus MS-, DS-Spänen, Fasern und Strands in einem Rohdichtebereich von 200 bis 680 kg/m³ ermittelt. Die Ergebnisse aus den beiden Messvorrichtungen wurden mit denen der konventionellen Methode (v. Haas 1998, Heinemann 1999) verglichen.

Entsprechend den Ergebnissen aus Messvorrichtung I nehmen die horizontale und vertikale Permeabilität von unbeleimten Matten aus DS-, MS-Spänen und Fasern mit zunehmender Rohdichte ab (Abbildung 1 und Abbildung 2). Bei niedriger Rohdichte sind die horizontale und vertikale Permeabilität der MS-Späne höher als die der DS-Späne, diese wiederum höher als die der Fasern. Bei hoher Rohdichte wird der Permeabilitätsunterschied zwischen den Materialien in beiden Richtungen zueinander geringer. Bei hohen Rohdichten (ab ca. 900 kg/m³) sind in horizontaler Richtung Fasermatten am durchlässigsten, gefolgt von den DS- und MS-Spanmatten. Bei hohen Rohdichten (ab ca. 900 kg/m³) sind Fasermatten in vertikaler Richtung am durchlässigsten, gefolgt von MS- und DS-Spanmatten. Alle Materialien sind bei einer Rohdichte ab ca. 350 kg/m³ in horizontaler Richtung durchlässiger als in vertikaler Richtung. Für unbeleimte und belemte Matten aus DS-Spänen und Fasern nimmt der Unterschied der Permeabilität zwischen den beiden Richtungen mit zunehmender Rohdichte zu, d.h. das Verhältnis von vertikaler zu horizontaler Permeabilität nimmt mit zunehmender Rohdichte ab. Durch die Verdichtung bei kleineren Spanabmessungen können sich die Hohlräume zwischen den Materialien verschließen, wodurch die Luftströmung in vertikaler Richtung behindert wird. Infolgedessen nimmt die Permeabilität von unbeleimten und belemten Matten aus DS-Spänen und Fasern in vertikaler Richtung mit zunehmender Rohdichte stärker ab als in horizontaler Richtung. Dadurch vergrößert sich der Unterschied der Permeabilität zwischen den beiden Richtungen mit zunehmender Rohdichte. Die Matten aus MS-Spä-

nen sind in vertikaler Richtung über den gesamten Rohdichtebereich wesentlich undurchlässiger als in horizontaler Richtung. Für unbeleimte Matten aus MS-Spänen ist der Unterschied der Permeabilität zwischen den beiden Richtungen über den gesamten Rohdichtebereich gleichmäßiger. Für beleimte Matten aus MS-Spänen nimmt der Unterschied der Permeabilität mit zunehmender Rohdichte ab, d.h. das Verhältnis von vertikaler zu horizontaler Permeabilität steigt mit zunehmender Rohdichte. Da durch die Verdichtung der Klebstoff einen Film zwischen den Oberflächen der Späne bildet, können sich die Hohlräume bei Gasbewegung in horizontaler Richtung stärker als in vertikaler Richtung verschließen. Durch Klebstoffzugabe ist die Veränderung des Widerstandes gegen Luftströmung zwischen den Kontaktflächen der MS-Späne in horizontaler Richtung stärker als in vertikaler Richtung. Infolgedessen reduziert sich die Permeabilität von beleimten Matten aus MS-Spänen in horizontaler Richtung stärker als in vertikaler Richtung. Dadurch nimmt das Verhältnis von vertikaler zu horizontaler Permeabilität von beleimten Matten aus MS-Spänen mit zunehmender Rohdichte zu.

Die Ergebnisse aus Messvorrichtung II bestätigen den Dichteinfluss (Abbildung 3 und Abbildung 4). In horizontaler und vertikaler Richtung weist die Permeabilität im Bereich niedriger Rohdichte größere Unterschiede zwischen den Materialarten auf als im Bereich höherer Rohdichte. In horizontaler Richtung ist die Permeabilität von Matten aus MS-Spänen am höchsten, gefolgt von Matten aus DS-Spänen und Fasern. Bei niedriger Rohdichte ist die Permeabilität von Matten aus Strands fast gleich groß wie die Permeabilität von Matten aus MS-Spänen. Mit steigender Rohdichte nimmt die Permeabilität von Matten aus Strands stark ab. Ab einer Rohdichte von ca. 500 kg/m^3 zeigen die Matten aus Strands den niedrigsten Wert. In vertikaler Richtung ist die Permeabilität von Matten aus MS-Spänen bei niedriger Rohdichte von 200 bis ca. 450 kg/m^3 am höchsten, gefolgt von Matten aus DS-Spänen und Fasern. Ab einer Rohdichte von ca. 450 kg/m^3 ändert sich die Permeabilität von Matten aus MS-, DS-Spänen und Fasern dahingehend, dass die Permeabilität von Matten aus Fasern am höchsten ist, gefolgt von Matten aus MS- und DS-Spänen. Die vertikale Permeabilität von Matten aus Strands ist ab einer Rohdichte von ca. 300 kg/m^3 am niedrigsten. Insgesamt ist die Permeabilität aller Materialien in horizontaler Richtung über den gesamten Rohdichtebereich höher als in vertikaler Richtung. Bei niedriger Rohdichte ist der Permeabilitätsunterschied zwischen den beiden Richtungen für Matten aus DS-Spänen und Fasern geringer als bei höherer Rohdichte. Er nimmt mit zunehmender Rohdichte zu. Mit diesen Erkenntnissen werden die Ergebnisse von Messvorrichtung I und konventioneller Methode (v. Haas 1998) bestätigt. Für Matten aus MS-Spänen und Strands ist der Unterschied der Permeabilität zwischen den beiden Richtungen über den gesamten Rohdichtebereich wesentlich gleichmäßiger.

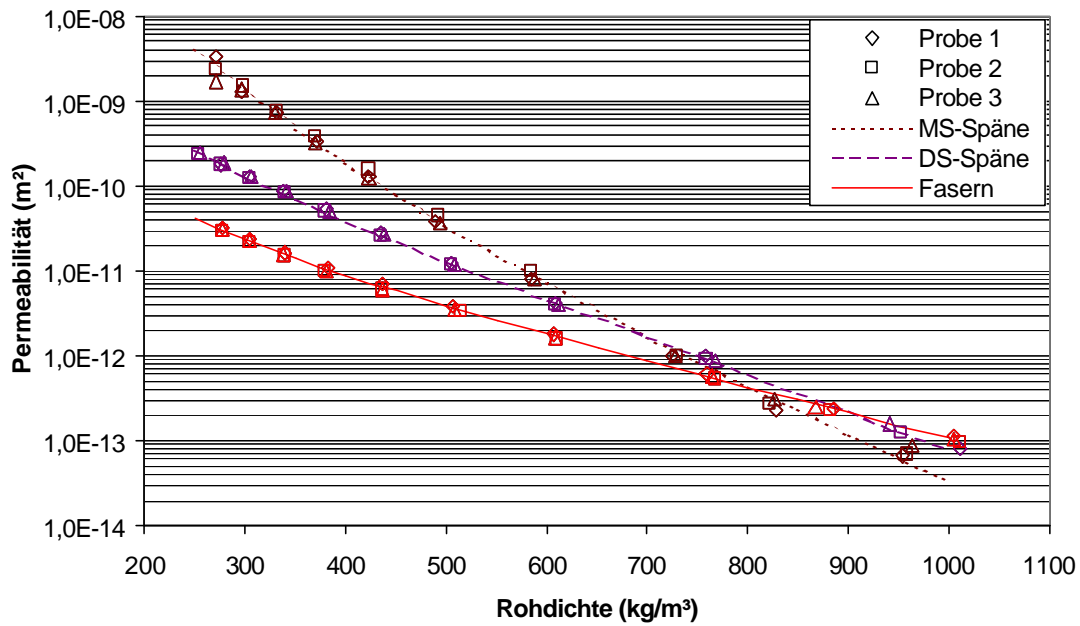


Abbildung 1: Horizontale Permeabilität von unbeleimten Matten aus MS-, DS-Spänen und Fasern bei einer Feuchte von 10 – 11 % (Messvorrichtung I)

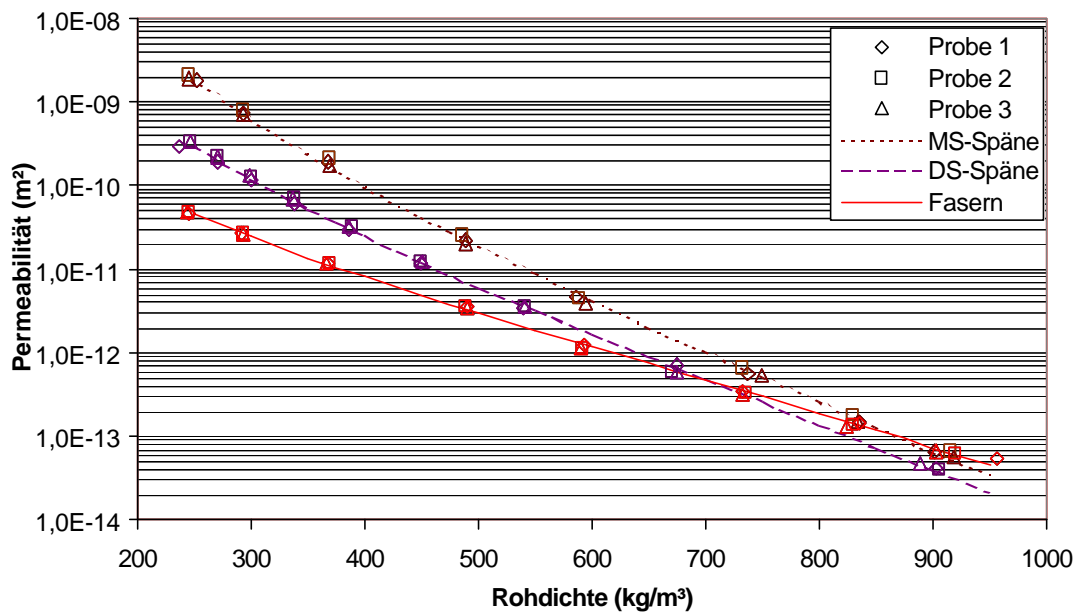


Abbildung 2: Vertikale Permeabilität von unbeleimten Matten aus MS-, DS-Spänen und Fasern bei einer Feuchte von 10 – 11 % (Messvorrichtung I)

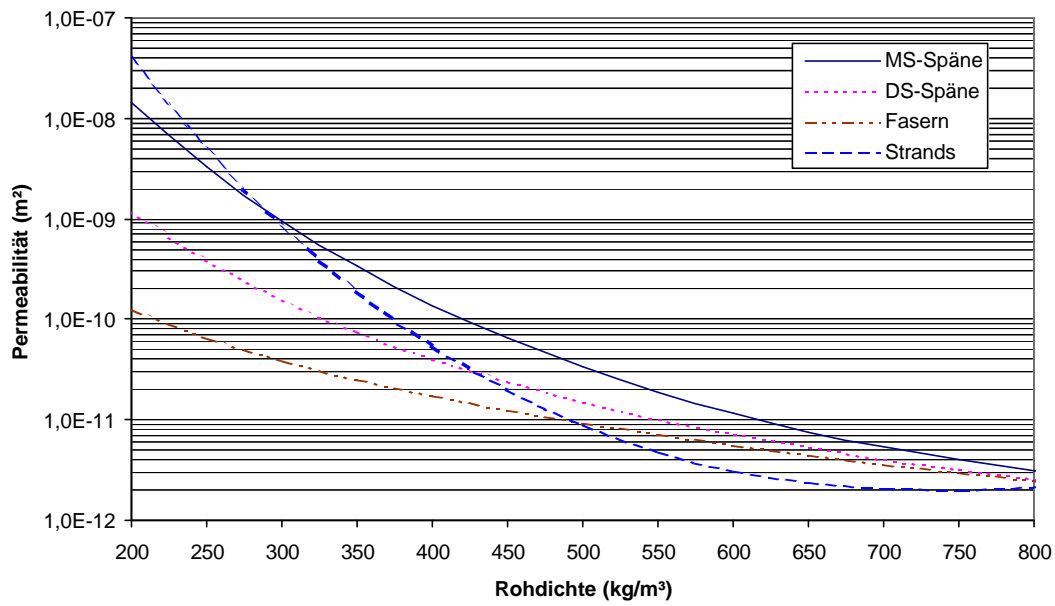


Abbildung 3: Horizontale Permeabilität von unbeleimten Matten verschiedener Materialien bei einer Feuchte von 11,3 – 13,9 % (Messvorrichtung II)

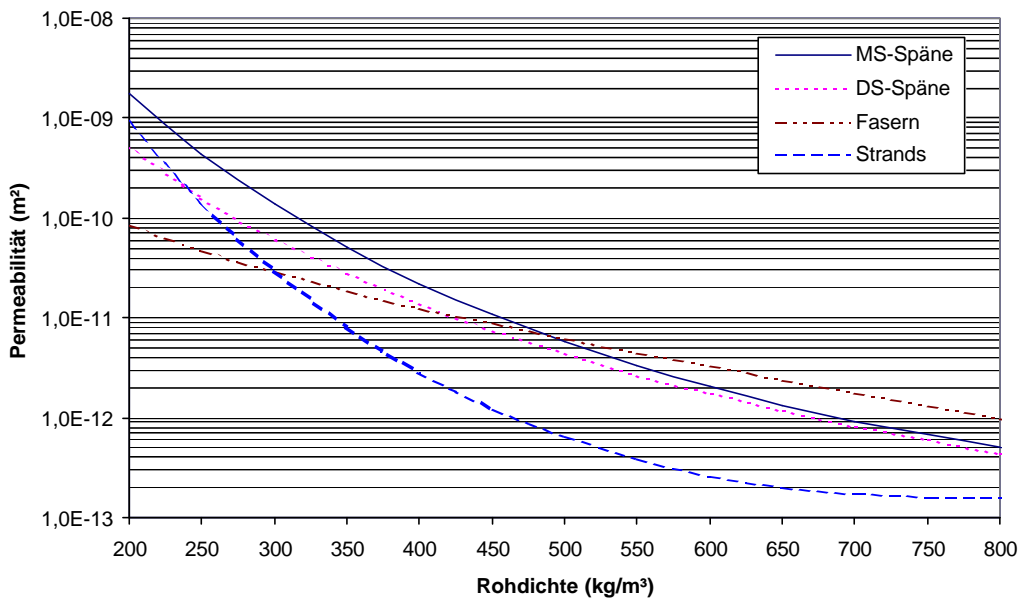


Abbildung 4: Vertikale Permeabilität von unbeleimten Matten verschiedener Materialien bei einer Feuchte von 11,3 – 13,9 % (Messvorrichtung II)

Mit zunehmender Feuchte von 6 – 7 % auf 10 – 11 % nehmen die horizontale und vertikale Permeabilität für unbeleimte Matten aus MS-, DS-Spänen und Fasern nur geringfügig ab. Bei niedriger Rohdichte ist der Unterschied durch Feuchtezunahme geringer als bei hoher Rohdichte. Man kann dies dahingehend erklären, dass bei höherer Feuchte und gleicher Rohdichte (bezogen auf trockene Holzmasse) in einem bestimmten Volumen geringfügig weniger Hohlräume in der Probe zur Verfügung stehen, da die Abmessungen der Materialien bei Feuchteerhöhung durch die Quellung in geringem Maße größer werden. Durch die Verdichtung bei hoher Rohdichte (bezogen auf trockene Holzmasse) und höherer Feuchte liegen die Materialien fester aneinander, da der Verdichtungswiderstand der Materialien mit zunehmender Feuchte sinkt (v. Haas 1998). Deshalb haben die Oberflächen der Materialien in der Probe durch die Verdichtung bei einer Feuchte von 10 % - 11% besseren Kontakt als bei einer Feuchte von 6% - 7%. Dadurch wird die Permeabilität geringer. Infolgedessen ist die Verminderung der Permeabilität bei hoher Rohdichte größer als bei niedriger Rohdichte.

Durch Zugabe eines Klebstoffes verringert sich die Permeabilität in horizontaler und vertikaler Richtung ab einer Rohdichte von ca. 300 kg/m³ für Matten aus Fasern, von ca. 500 kg/m³ für Matten aus DS-Spänen und von ca. 650 kg/m³ für Matten aus MS-Spänen. Oberhalb dieser Grenzwerte vermindern sich die horizontale und vertikale Permeabilität mit zunehmendem Klebstoffanteil. Der Einfluß des Klebstoffes auf die Permeabilität steigt dabei mit zunehmender Rohdichte an. Dies ist vermutlich darin begründet, dass durch die Verdichtung die Oberflächen der einzelnen Partikel fest aneinander liegen und durch den Klebstoff "verklebt" wurden. Infolgedessen sind die Hohlräume in der Probe bei hohem Klebstoffanteil verschlossen und dadurch die Proben weniger permeabel. Die horizontale Permeabilität von Matten aus MS-Spänen nimmt durch Klebstoffzugabe mit zunehmender Rohdichte stärker als die vertikale Permeabilität ab. Die Permeabilität von Matten aus DS-Spänen und Fasern nimmt mit zunehmender Rohdichte in beiden Richtungen einheitlich ab.

Mit zunehmenden Spanfraktionen von Maschenweiten 1,0 – 1,5 mm, 1,5 – 2,0 mm, 2,0 – 3,1 mm und 3,1– 4,0 mm steigen bei niedriger Rohdichte die horizontale und vertikale Permeabilität von unbeleimten Matten aus MS-Spänen an, da die Späne bei größerer Maschenweite eine geringere Schüttdichte und einen größeren Verdichtungswiderstand haben und zueinander loser verteilt liegen als bei kleinerer Maschenweite. Infolgedessen sind die Matten aus MS-Spänen bei größerer Maschenweite und niedriger Rohdichte in beiden Richtungen durchlässiger als bei kleinerer Maschenweite. Mit größer werdenden Spänen (Maschenweiten 1,0–1,5 mm, 1,5–2,0 mm und 2,0–3,1 mm) nehmen die horizontale und vertikale Permeabilität bei hoher Rohdichte ab. Der Grund könnte darin liegen, dass durch die Verdichtung der Widerstand gegen Luftströmung zwischen den Kontaktflächen der Späne bei der größeren

Spanoberfläche größer als bei der kleineren Spanoberfläche ist. In horizontaler Richtung strömt die Luft parallel zur Oberflächenebene. Infolgedessen ist die horizontale Permeabilität bei größerer Spanoberfläche geringer als bei der kleineren Spanoberfläche. In vertikaler Richtung wird die geringfügig niedrigere Permeabilität bei hoher Rohdichte wahrscheinlich durch die Spanbreite verursacht, da die Spandicke einen nicht zu großen Unterschied aufweist. Eine Ausnahme bildet die vertikale Permeabilität der Spanfraktion 3,1–4,0 mm, wo die Permeabilität im gesamten Rohdichtebereich am höchsten ist, da diese Spanfraktion eine größere Dicke aufweist. Durch die dickeren Späne ist der Verdichtungswiderstand groß. Durch die Verdichtung werden die Hohlräume wenig geschlossen. Infolgedessen ist die vertikale Permeabilität der Spanfraktion 3,1- 4,0 mm am höchsten.

Bei niedriger Rohdichte weist die vertikale Permeabilität von unbeleimten Matten aus DS-, MS-Spänen und Fasern, die bei einer Lufttemperatur von 20°C und 80°C gemessen wurde, keinen Unterschied auf. Bei hoher Rohdichte sind die bei einer Lufttemperatur von 80 °C gemessenen vertikalen Permeabilitäten geringfügig niedriger als bei 20 °C. Durch die Erwärmung sind die Partikel weicher. Infolgedessen ist der Verdichtungswiderstand der bei einer Lufttemperatur von 80°C gemessenen Proben geringer, weil die Materialien bei höheren Temperatur durch stärkere plastische Verformung fester aneinander liegen als bei 20°C. Dies ist besonders bei hohen Rohdichten von Einfluss. Allerdings bestehen bei den vertikalen Permeabilitäten aller Materialien für beide Temperaturen (20°C und 80 °C) keine signifikanten Unterschiede (5 % Niveau).

Die mit Messvorrichtung I ermittelten Ergebnisse von Matten aus DS- und MS-Spänen sowie Fasern stimmen gut mit denen der konventionellen Permeabilitätsbestimmung (Herstellen von Platten bestimmter Rohdichte, Probenausformung und Durchflussmessung) der Untersuchungen von v. Haas (1998) überein. Größere Unterschiede zwischen beiden Methoden ergeben sich nur bei den Matten aus MS-Spänen. Es ist zu vermuten, dass dieser Unterschied auf die heterogenen MS-Späne zurückzuführen ist. Die Prüfzeit der Permeabilitätsmessung mit der Messvorrichtung I beträgt für den Rohdichtebereich von 250 bis 950 kg/m³ ca. 1,5 Std, wobei vier verschiedene Durchflussmengen in einer Richtung ermittelt werden. Bei der konventionellen Methode liegt der Zeitbedarf für die Herstellung der Platten und die Permeabilitätsmessung für eine Rohdichte bei ca. 5 Std.

Die mit Messvorrichtung II ermittelten und nach dem zweiten Modellansatz berechneten Ergebnisse stimmen gut mit denen der Messvorrichtung I und der konventionellen Methode (v. Haas 1998) überein. Ein deutlicher Unterschied zwischen beiden Methoden (Messvorrichtung I und II) ergibt sich in vertikaler Richtung bei den Matten aus MS-Spänen und niedrigen Roh-

dichten, da bei der Messung der Permeabilität mit Messvorrichtung II die Luft im oberen Bereich der Probe seitlich ausströmt, bevor sie in vertikaler Richtung in den unteren Bereich gelangt, weil der Widerstand gegen Luftströmung in horizontaler Richtung gering ist. Infolgedessen ist die mit Messvorrichtung II gemessene vertikale Permeabilität niedriger als die mit Messvorrichtung I gemessene vertikale Permeabilität. Die Prüfzeit für die Permeabilitätsmessung in beiden Richtungen mit der Messvorrichtung II bei einer Rohdichte von 200 bis 680 kg/m³ beträgt ca. 30 Minuten.

Die Ergebnisse, welche mit Messvorrichtung II bestimmt und nach dem ersten Modellansatz berechnet wurden, weisen nur teilweise eine Übereinstimmung mit den Werten der Messvorrichtung I und der konventionellen Methode (v. Haas 1998) auf. Bei der Messung der Matten aus Strands in horizontaler Richtung wurde eine gute Übereinstimmung festgestellt.

Die beiden neuen Messvorrichtungen bieten einen erheblichen Zeitgewinn und können in vereinfachter Version zur Standard-Ausstattung eines Prüflabors in der Holzwerkstoffindustrie werden.