

Abschlussbericht zum InnoRegio RIO-Verbundprojekt

Regionale Naturfasern im Fahrzeugbau

Förderkennzeichen: 03I4603B
Teilprojekt 2: Untersuchung von Fasermatten

Forschungszentrum Jülich GmbH, PTJ
Herr Dr.- Reimann
Postfach 610247
10923 Berlin

Projektleiter: Dr. Manfred Pinnow
Projektbearbeiter: Dr. Rainer Rhim
DI Marion Schlawne
Christa Paul

Potsdam-Golm, 18. Novemebr 2004

1	Einleitung	3
2	Fasermatten: Fasermaterial und Herstellung	4
3	Untersuchungsmethoden / Experimentelles	5
3.1	Untersuchung der Faserlängenverteilung	5
3.2	Untersuchung der Isotropie der Fasermatten	6
3.2.1	Röntgenweitwinkelstreuung (RWWS)	6
3.2.2	Mechanische Eigenschaften	6
3.3	Untersuchung der Faserverteilung in den Fasermatten (Flächenmasse)	7
3.3.1	Standards zur Bestimmung der Flächenmasse	7
3.3.2	Ultraschalluntersuchungen zur Bestimmung der Flächenmasse – kontaktloses Verfahren ohne Einsatz von Kopplungsmedien	8
4	Ergebnisse	14
4.1	Untersuchung der Faserlängenverteilung	14
4.2	Untersuchung der Isotropie der Fasermatte	16
4.2.1	Röntgenweitwinkelstreuung (RWWS)	16
4.2.2	Mechanische Eigenschaften -Mattenstreifen	17
4.3	Untersuchung der Faserverteilung in den Fasermatten (Flächenmasse)	24
4.3.1	Bestimmung der Flächenmasse nach Standardmethode	24
4.3.2	Ultraschalluntersuchungen zur Bestimmung der Flächenmasse	25
5	Zusammenfassung und Diskussion	33

1 Einleitung

Die Eigenschaften von Fasermatten (Vliese) hängen sehr stark von der Flächenmasse (FM), der Masse von Fasern pro Flächeneinheit, ab. Ein entscheidendes Qualitätsmerkmal für den Einsatz der Fasermatten ist deshalb die Homogenität der Flächenmasse, das heißt, die gleichmäßige Verteilung der Fasern über die Fläche. Inhomogenitäten der Faserverteilung führen zur Ausbildung von Bereichen mit geringer FM, die Schwachstellen der Vlieseigenschaften darstellen, wie beispielsweise die mechanischen Festigkeit und Dehnbarkeit der Vliese. Diese Schwachstellen führen bei entsprechender Belastung bzw. Einsatz zum Versagen der Vliese in diesem Bereich. Bei der Nutzung von Teilen (Aus- und Abschnitten) aus einem Vlies bedingen diese Bereiche eine breite, unakzeptable Streuung der Materialkennwerte. Zum Beispiel führen Schwankungen der FM beim Einsatz der Vliese

- als Verstärkungsmaterial in Formpressteilen zu einem lokalen Versagen (Reißen) beim Drapieren (Spannen des Vlieses über ein Formteil) und demzufolge zu Schwachstellen im Bauteil, wenn ein Vliesbereich mit niedriger FM in einer Zone hoher Dehnung in der Pressform liegt,
- als Filter- und Dämmmatten zu lokalen Unterschieden in den Durchlässigkeiten bzw. Dämmwerten,
- als Feuchttträger (z.B. Windeln) zu Unterschieden in der Flüssigkeitsaufnahme.

Thema und Ziel des Vorhabens war die Entwicklung von Fasermatten aus Naturfasern zum Einsatz als Verstärkungsmaterial in großflächigen Verbundteilen für den Fahrzeugbau. Dort und in den entsprechenden Zulieferbetrieben wird die Entwicklung zum Einsatz großflächiger naturfaserverstärkter Verbundteile angestrebt und vorangetrieben, um die Fahrzeuge durch die Gewichtsreduzierung geeigneter Baugruppen leichter zu machen (Senkung des Kraftstoffverbrauches), zukünftige Forderungen der Altautoverwertungsrichtlinie verfahrensmäßig vorzubereiten (problemlose Recyclate) und energieaufnehmende Bauteile einzusetzen (ungewollte Zerstörungs- und Verletzungserscheinungen bei Unfällen reduzieren).

In der Hanf Fabrik Zehdenick (HFZ) wurde die Vliesbildung für Naturfasermatten über das Air-Flow-Verfahren mit anschließender Vernadelung und Bahntrennung eingesetzt und weiterentwickelt. Dabei konzentrierte sich das Arbeitsziel auf die Entwicklung und Herstellung einer homogenen und

isotropen Faserverteilung mit dem Ziel der Einstellung von möglichst richtungsunabhängigen mechanischen Festigkeitsparametern. Im Verlauf der Projektbearbeitung haben sich die Anforderungen an die Isotropie der mechanischen Eigenschaften seitens der Abnehmer der Fasermatten (Automobilzulieferer) entscheidend geändert. In der neuen Liefervorschrift von Johnson Controls Interior (JCI) wird sogar eine definiert einzustellende Differenz zwischen den Zugfestigkeiten längs und quer zur Maschinenlaufrichtung der Fasermatten gefordert, um eine optimale Drappierung der Pressformen zu gewährleisten.

Im Teilprojekt „Untersuchung von Fasermatten“ sollte der Einfluß von Material- und Maschinenparametern auf das Endprodukt Fasermatte untersucht werden, um daraus Ableitungen für die Herstellung auf der Air-Flow-Anlage zu treffen, die der Verbesserung der Qualität der Fasermatten dienen.

2 Fasermatten: Fasermaterial und Herstellung

In diesem Abschnitt soll nur kurz auf die wesentlichen Parameter eingegangen werden, die in den hier durchgeführten Untersuchungen und zur Interpretation der erzielten Ergebnisse von Relevanz sind.

Als Fasermaterial wurden Hanf-Langfasern eingesetzt, die vorwiegend aus der Produktion der Hanffabrik Prenzlau (Herr Nowotny) stammen. Diese Fasern wurden nach der Feldröste in einem mechanischen Aufschlußverfahren separiert und in Ballen angeliefert. In einer besonderen Versuchsreihe wurde das Hanffasermaterial des ATB (Agrotechnisches Institut Bornim) eingesetzt, das sich durch einen besonders niedrigen Schäbengehalt auszeichnet.

Die Herstellung der Fasermatten in der HFZ wird insbesondere durch folgende Prozeßparameter beschrieben.

- Transportgeschwindigkeit der Fache nach Abnahme von der Trommel: 1,5 m/s
- Abzugsgeschwindigkeit nach der Vernadelung: 1,6 m/s
- Vernadelung mit Nadeldurchmesse: 3,5"
- Eindringtiefe der Nadel: 15 mm

- Einsatz von 2 nacheinander angeordneten Nadelbrettern mit jeweils 1280 und 480 Nadeln, gleichmäßig verteilt über die gesamte Breite der Matten von 2 m
- Hubzahl der Nadelbretter: 200, 250 und 300 /min
- bei der o.g. Geschwindigkeit und Nadelanzahl der Fache errechnen sich aus der Hubzahl die Vernadelungs- (Stich-)dichten von jeweils 7,5; 9,5 und 11,5 /cm²
- die Materialdicke wurde auf ca. 10 mm eingestellt, das entspricht einer angestrebten Flächenmasse von 1200 g/m²

Für die Bezeichnung der jeweiligen Fasermatten wird im folgenden die Hubzahl (z.B. HF200) benutzt.

3 Untersuchungsmethoden / Experimentelles

3.1 Untersuchung der Faserlängenverteilung

Die Untersuchungen der Faserlängenverteilung erfolgten mit Hilfe einer digitalen Bilderfassung und einer Software-gestützten Bildauswertung („analySIS“ von der Soft Imaging System GmbH). Für die Bilderfassung wurde je nach Länge der Fasern ein Zoomobjektiv oder ein Mikroskop eingesetzt, mit denen das Bild der Fasern in eine Digitalkamera projiziert wurde. Die kalibrierten Bilder konnten anschließend bei sehr kurzen Fasern (< 10 mm) und entsprechender Vereinzelnung mit einer automatischen Bildauswertung ausgemessen werden. Bei mittleren Faserlängen (< 30 mm) und schlechter Faservereinzelnung wurde die Faserkontur auf den kalibrierten Abbildungen von Hand mit einem Polygonzug nachgebildet, um die Länge zu bestimmen. Bei großen Faserlängen (> 30 mm) wurden die Fasern mit Hilfe eines Lineals bestimmt. Da dieser Anteil in einem repräsentativen Faserensemble von 1000 Stück nicht sehr groß ist, war diese Verfahren praktikabel.

3.2 Untersuchung der Isotropie der Fasermatten

3.2.1 Röntgenweitwinkelstreuung (RWWS)

Die Hanffasermatten wurden am Siemens D5000 Diffraktometer in symmetrischer Transmission unter Verwendung monochromatischer (Ge(111)-Monochromator) Cu-K α -Strahlung (40 KV, 30 mA) im 2 θ Winkelbereich von 4°-60° vermessen. Zur Korrektur der Luftstreuung und instrumenteller Einflüsse wurde eine Parasitärstreu Kurve unter gleichen Bedingungen vermessen. Die Röntgendiffraktogramme wurden auf Parasitärstreuung, Absorption und Polarisation korrigiert.

Um eine vorhandene Orientierung des (004)-Reflexes (Kettenrichtungsreflex) zu ermitteln, wurden richtungsabhängige Messungen an den ganzen Matten durchgeführt, indem jede Matte zweimal in symmetrischer Transmission vermessen wurde und zwar einmal parallel zur Maschinenrichtung (M) und einmal in der dazu senkrechten Richtung (T), um beide Extrema der Orientierung zu vermessen. Die Intensität der gemessenen Streukurven differiert in Abhängigkeit von der in der jeweiligen Probenrichtung (M oder T) vorliegende Kristallorientierung.

3.2.2 Mechanische Eigenschaften

3.2.2.1 Zugprüfung der Fasermatten längs und quer zur Maschinenrichtung

Die Zugprüfung der Fasermatten wurde im zertifizierten Prüflabor des FhG-IAP auf der Zugprüfmaschine Zwick 1445 nach der DIN 63834 im Normklima durchgeführt. Hierfür wurden die Fasermatten längs und quer zur Maschinenrichtung (Lafrichtung der Faserplatte auf der Airflow-Anlage) in Streifen von 50 mm Breite geschnitten. Bei einer Einspannlänge von 400 mm wurden die Streifen mit einer Geschwindigkeit von 100 mm/min gereckt. Die Dicke der Fasermatten betrug 10 mm. Vor dem Zugprüfversuch wurden die Faserstreifen in der Länge im Abstand von 50 mm markiert, um den Ort des mechanischen Versagens des Streifens zu bestimmen. In diesen Abständen wurden die Streifen mit der Ultraschallmethode (Kap. 3.2.2) auch hinsichtlich der Flächenmasse charakterisiert. Nach Abschluss des Zugversuches konnte somit der Stelle des mechanischen Versagens der entsprechende Flächenmasse dieses Abschnitts zugeordnet werden.

3.2.2.2 Stempeldurchdruckversuch

Die Stempeldurchdruckversuche wurden in der Bundesanstalt für Materialprüfung (Berlin, Dr. Seeger) nach der DIN EN ISO 12236, Ausgabe 1996-04 durchgeführt. Für diesen Versuch wurden Fasermatten mit einer Fläche von 200*200 mm² in einen Flansch mit einem Innendurchmesser von 160 mm rutschfest eingeklemmt. Durch das Zentrum der Fasermatte wurde ein zylindrischer Stempel mit einem Durchmesser von 50 mm (Stempelkante gerundet mit einem Radius von 5 mm) mit einer Geschwindigkeit von 50 mm/min bis zum Zerreißen der Matte durchgedrückt und das Druck-Dehnungsdiagramm aufgezeichnet. Die Matten wurden zuvor mit einem Gitternetz (Raster 50*50 mm²) markiert und in diesem Raster die Flächenmasse mit der Ultraschallmethode (Kap. 3.3.2) bestimmt. Mit Hilfe dieser Markierung konnte die Stelle des Versagens im Stempeldurchdruckversuchs der entsprechenden Flächenmasse zugeordnet werden.

3.3 Untersuchung der Faserverteilung in den Fasermatten (Flächenmasse)

3.3.1 Standards zur Bestimmung der Flächenmasse

Die Flächenmasse wird nach DIN EN 29073-1:1992-08 an Flächenabschnitten > 500 cm² durch Wägen bestimmt ^{1/1}. Die Flächenmasse wird im allgemeinen im Anschluss an den Produktionsprozess nach dem Herausschneiden eines entsprechenden Prüfstücks als Mittelwert aus dem Quotienten des Gewichts und der Gesamtfläche einer Fasermatte ermittelt. Inhomogenitäten werden bei dieser Art der Bestimmung je nach Größe der Prüffläche gemittelt. Dieses Verfahren ist diskontinuierlich, es stellt lediglich eine exemplarische Bestimmung der Flächenmasse dar und hat zudem die Zerstörung der Fasermatten zur Folge. Es eignet sich daher nicht für eine On-line-Qualitätskontrolle bei der Herstellung oder Verwendung von Fasermatten.

Die Homogenität der Faserverteilung der Fasermatten kann auch durch eine Dickenkontrolle erfasst werden. Die Dicke der Fasermatten wird nach DIN EN ISO 9073-2:1997-02 bestimmt und kann durch das Aufsetzen einer Messplatte in Verbindung mit einem Wegaufnehmer gemessen werden. In dieser DIN ^{1/1} werden der Prüfdruck und die Prüffläche in Abhängigkeit von der Komprimierbarkeit und der Dicke der Fasermatten festgelegt. Da die Messplatte auf die Fasermatte aufgesetzt werden muss, ist dieses Verfahren nicht geeignet, die Faserverteilung kontinuierlich im Verlauf der Vliesherstellung im Vliesleger zu erfassen. In einer Abwandlung dieser DIN könnten auch mehrere

^{1 1} W. Albrecht, H.. Fuchs, W. Kittelmann: „Vliesstoffe“, Wiley-VCH, Weinheim, 2000, ISBN 3-527-29535-6

Rollen in Verbindung mit einem Wegaufnehmer und einem entsprechenden Anpressdruck über das Vlies geführt werden. Bei einer Anordnung mehrerer Rollen quer zur Maschinenlaufrichtung kann die Vliesdicke kontinuierlich und orts aufgelöst erfasst werden. Allerdings hängen die Messergebnisse vom Kontakt zwischen der abgreifenden Rolle und der Fasermatte, also vom Anpressdruck ab, so dass das Verfahren nur an Fasermatten ab einer bestimmten Festigkeit eingesetzt werden kann. Lockere Faserlagen, wie die unvernadelte Fache oder lockere Faserflocken, können damit nicht untersucht werden. Weiterhin ist die Dicke der Fasermatte nur ein indirektes Maß für die Flächenmasse, da diese sowohl von der Anzahl der Fasern als auch von deren Verdichtung, z.B. von der Vernadelungsdichte, abhängig ist.

3.3.2 Ultraschalluntersuchungen zur Bestimmung der Flächenmasse – kontaktloses Verfahren ohne Einsatz von Kopplungsmedien

3.3.2.1 Stand der Technik

Die Ultraschalltechnik wird zur Untersuchung verschiedener Festkörper eingesetzt. Allgemein wird bei Ultraschalluntersuchungen davon ausgegangen, dass der Ultraschall (US) in den Probekörper, der sich zwischen Geber und Detektor befindet, einkoppelt und sich somit im zu untersuchenden Material ausbreitet. Dabei kann das Ein- und Auskoppeln des US-Signals durch einen direkten Kontakt zwischen Material und Sender sowie Empfänger oder auch über einen bestimmten Abstand mittels Kopplungsmedien erfolgen. Da die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schall in Festkörpern höher ist als an Luft, wird die Impulslaufzeit bei gleichem Abstand zwischen Geber und Detektor durch das Einkoppeln in einen dazwischen positionierten Festkörper verkürzt.

Als Kopplungsmedien für den US in einen Festkörper werden spezielle Flüssigkeiten oder Wasser ^{2,3} benutzt. Diese Art der Einkopplung ist jedoch nicht geeignet, um offenporige und fasrige Materialien zu untersuchen. Einerseits kann die Flüssigkeit die Poren füllen, so dass die Ausbreitung des US durch die Probe ausschließlich im Kopplungsmedium erfolgen kann. Andererseits kann die Kopplungsflüssigkeit aber auch von dem zu untersuchenden Material (z.B. Fasern) adsorbiert werden, wodurch sich dessen Eigenschaften – insbesondere die Geschwindigkeit des US - ändern können.

2 M.J. Harper, A.R. Clarke „Low frequency ultrasonic propagation through fibre reinforced, Polymeric composites“ , Ultrasonics 40 (2002) 555-560

3 J. Stanullo, S. Bojinsky, N. Gold, S. Sharpiro, G. Busse “ Ultrasonic signal analysis to monitor damage development in short fiber-reinforced polymers” , Ultrasonics 36 (1998) 455-460

Aber auch aus der Luft können die US-Wellen in einen Probekörper einkoppeln⁴. In diesem Verfahren wird die US-Anregungsfrequenz im Bereich zwischen 40 kHz und 2 MHz durchgestimmt und die Resonanzfrequenz des Festkörpers bestimmt. Die Resonanzfrequenz ist abhängig von der Art des Probenmaterials und der Probendicke, so dass Inhomogenitäten der Probendicke und Materialschäden ermittelt werden können, indem die Resonanzfrequenz orts aufgelöst ermittelt wird. Nachteil dieses Verfahrens ist, dass die US-Frequenz an jedem Messort durchgestimmt und werden muß, um so die Resonanz zu bestimmen⁴. Somit können die Messwerte nur diskontinuierlich bestimmt werden.

3.3.2.2 Messprinzip des entwickelten Verfahrens

Im folgenden wird ein kontaktloses Verfahren, ohne Verwendung eines Kopplungsmediums, vorgestellt, das mittels Ultraschallimpulsen die Bestimmung der Faserverteilung gestattet. Der Messaufbau ist im Bild 3.1 dargestellt und dient der Messung der Laufzeit (TOF, time of flight) eines Ultraschallimpulses. Das Verfahren wurde ausgehend von der Beobachtung entwickelt, dass die Ausbreitung des Ultraschalls in Fasermatten in der angegebenen Messanordnung verzögert wird und dass diese Verzögerung mit zunehmender Zahl von Fasern zunimmt.

Ein Ultraschallsignal einer definierten Frequenz (z.B. 250 kHz) wird von einem US-Geber ausgesandt und trifft nach einer Laufzeit t_0 auf den US-Detektor. Die Laufzeit des Impulses ergibt sich aus dem Geber-Detektor-Abstand (L) und der Schallgeschwindigkeit in Luft (ca. 330 m/s unter Normaldruck und bei Raumtemperatur).

In dem hier vorgestellten Verfahren werden Vliese untersucht, die durch eine Vielzahl übereinandergeschichteter Fasern bestehen und eine luftdurchdrungene (poröse) Struktur darstellen. Im Gegensatz zu den bekannten Ultraschalluntersuchungen an Festkörpern wird an den Fasermatten eine Verlängerung der Laufzeit des Ultraschallimpulses $t_x > t_0$ beobachtet. Diese Verlängerung kann nicht mit dem Einkoppeln der US-Welle in die Fasern erklärt werden, da sich in diesem Falle der US im Festkörper mit einer höheren Geschwindigkeit ausbreiten und demzufolge eine Verkürzung der Laufzeit eintreten müßte. Außerdem ist eine effektive Einkopplung aus dem Koppelmedium Luft in einen Festkörper - hier stellen die Einzelfasern den

⁴ D.W.Schindel, D.A.Hutchins " Noncontact characterization and inspection of materials using wideband air coupled ultrasound" US-Patent 5,824,908

Festkörper dar - nur unter Resonanzbedingungen bekannt [3]. Die dem Verfahren zugrunde liegenden kontaktlosen Experimente wurden jedoch mit fest eingestellten Frequenzen des Ultraschalls (von 40 bzw. 250 kHz) durchgeführt und weisen übereinstimmend eine Verlängerung der Laufzeit aus. Als Grund für die Laufzeitverlängerung werden Vielfachreflexionen an den Fasern im untersuchten Probenvolumen angenommen, so dass das US-Signal einen größeren Weg zurücklegt und somit das Auftreffen des Ultraschallimpulses auf den Detektor verzögert wird.

Die Interpretation der hier erzielten Ergebnisse geht von einer Ausbreitung des Ultraschallimpulses in den Hohlräumen der Fasermatten, also in Luft, aus. Eine Verlängerung der Impulslaufzeit kann somit nur dadurch erfolgen, daß aufgrund vielfacher Ablenkungen des Ultraschallimpulses (Wellenlänge ca. $\lambda=1,6$ mm) durch Reflexionen an den einzelnen Fasern (Durchmesser ca. 0,020...0,100 mm) der Ultraschall die Probe nicht auf direktem Wege durchdringen kann. Der zurückgelegte Weg des Ultraschalls in der Fasermatte wird somit größer. Bei gleicher Ausbreitungsgeschwindigkeit des US an Luft, also ohne Einkoppelung des US in die Fasern nimmt folglich die Laufzeit mit steigender Faserzahl zu.

Somit wird eine Veränderung der Laufzeit an unterschiedlichen Orten eines Vlieses durch eine unterschiedliche Anzahl von Fasern bzw. einer veränderten Flächenmasse im beschallten Probenvolumen verursacht und kann durch lokale Messungen zur Untersuchung der Homogenität der Faserverteilung eingesetzt werden.

3.3.2.3

Messanordnung

Die Messanordnung (Bild 3.1) besteht aus einem US-Sender (1), einem US-Detektor (2), einem Gerät zur Erzeugung des getriggerten US-Impulses (3) sowie einem PC mit Oszillograph-Funktion (4) zur Aufzeichnung des US-Signals nach Durchlaufen des Abstandes (L) zwischen (1) und (2).

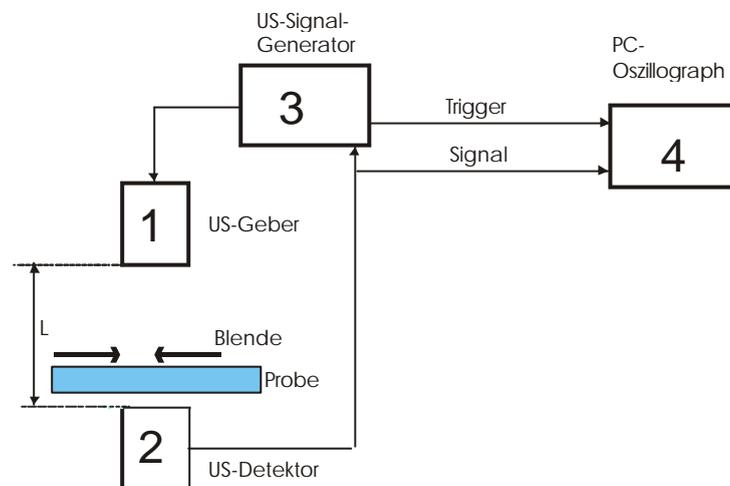
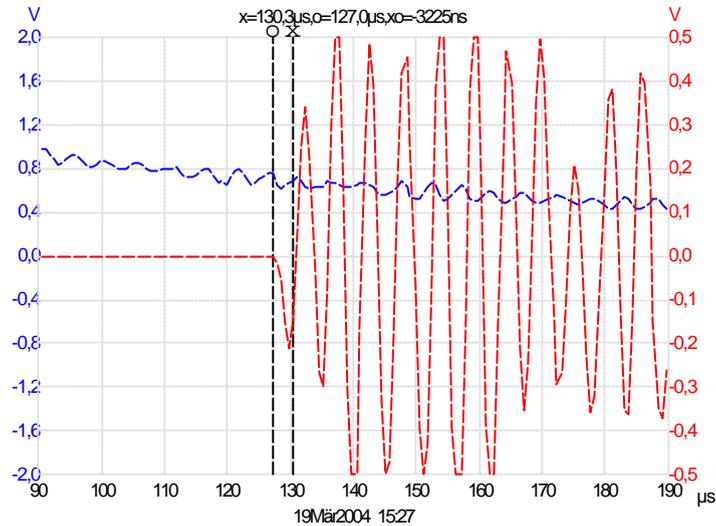


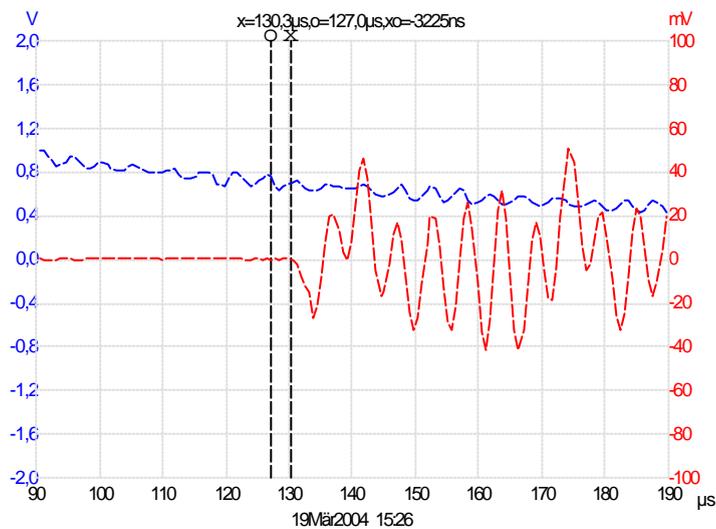
Bild 3.1

Schematischer Aufbau der Messvorrichtung

Die Probe wird in einen Rahmen gespannt und in einem geringen Abstand über dem Detektor angeordnet, so dass die untersuchte Probenfläche durch die Fläche des Empfängers vorgegeben ist. Alternativ kann eine Blende (B) aus einem für den US undurchlässigem Material mit einer Öffnung (zum Beispiel Quadrat mit einer definierten Fläche) direkt über der Probe angeordnet werden, um die untersuchte Fläche zu verkleinern und damit die lokale Auflösung der Methode zu verbessern. Die Laufzeit des US-Impulses in Luft t_0 beträgt bei einem Abstand von 41 mm ca. 127 μs . Beim Durchlaufen eines typischen Vlieses wird die Laufzeit des US-Signals $t_x = 130,3 \mu\text{s}$ um ca. $\Delta t = 3,3 \mu\text{s}$ verzögert (Bild 3.2).



a)



b)

Bild 3.2:

Laufzeiten des US-Signals von $t_0 = 127 \mu\text{s}$ an Luft (a) und von $t_x = 130,3 \mu\text{s}$ mit einem Vlies (b) bei einem Abstand zwischen Geber und Detektor von $41,4 \text{ mm}$. Die Laufzeitverzögerung für das untersuchte Vlies beträgt somit $t = 3,3 \mu\text{s}$.

Die Verzögerungszeit ist eine Kenngröße für die Anzahl der Fasern, die sich an einer bestimmten Stelle der Faserplatte zwischen Geber und Detektor befinden. Durch Auftragung der Laufzeiten (TOF) über der Fläche der Faserplatte kann somit ein Bild von der Homogenität erstellt bzw. können Schwachstellen

aufgefunden werden (Bild 3.3). Durch eine Eichmessung für den jeweiligen Fasertyp können den Verzögerungszeiten den entsprechenden Fasermassen zugeordnet werden, so dass die gemessenen Verzögerungszeiten ein Maß für die Flächenmasse (FM) der Faserplatte darstellen.

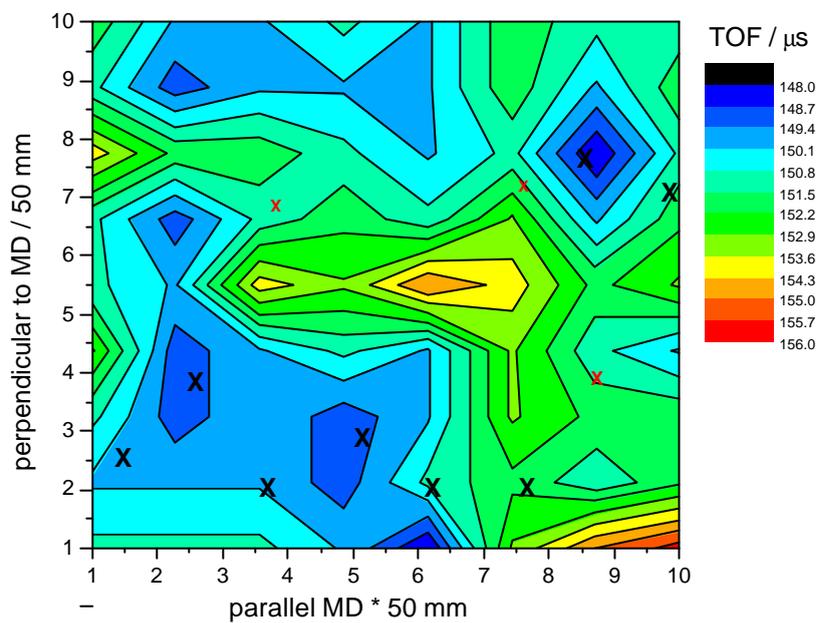


Bild 3.3:

2D-Kontur der Laufzeitverzögerung τ [μs] an einer Faserplatte mit einer Fläche von $500 \times 500 \text{ mm}^2$. Die blauen Bereiche mit der geringsten Laufzeitverzögerung stellen die Schwachpunkte (Bereiche mit der geringsten Flächenmasse) der Faserplatte dar.

4 Ergebnisse

4.1 Untersuchung der Faserlängenverteilung

Die Faserlänge und deren Verteilung im Faserwerg der angelieferten Ballen hat entscheidenden Einfluss auf wichtige Parameter der Fasermatten, die die Gebrauchseigenschaften nachhaltig beeinflussen. Jedoch kommt es im Verlauf der Fasermattenfertigung infolge von mechanischen Beanspruchungen, insbesondere bei der Ballenöffnung, Vereinzelung und Vernadelung, zu Faserbrüchen und damit zu einer Veränderung der Faserlängenverteilung. Zur Untersuchung dieser Veränderungen wurden die Fasern vor und nach der Verarbeitung untersucht.

Das Hanfwerg als Ausgangsmaterial für die Fasermattenherstellung wurde von Hand vorsichtig vereinzel. Die Fasermatten sind dagegen durch die sogenannten Pfropfen, die sich durch die Vernadelung eingebracht wurden, im trockenen Zustand nicht ohne weitere Faserbrüche zu vereinzel. Deshalb wurden die Fasermatten in Wasser mit einem Magnetrührer schonend aufgelöst und restliche Faserknäuel ließen sich von Hand ohne nennenswerten Widerstand vereinzel.

Aus dem Wasser wurden zunächst alle langfasrigen Anteile mit einem Glasstab entnommen und für die Längenmessung vereinzel und anschließend auf Filterpapier an Luft getrocknet. Dabei ist zu beobachten, dass kurze Fasern mit einer Länge bis zu etwa 5 mm im Wasser als Schwebeteilchen verbleiben. Dieser Anteil wurde aus dem Wasser herausgefiltert und anschließend in einer Trockenwaage bis zur Gewichtskonstanz getempert. Anschließend wurde der prozentuale Anteil der Trockenmasse für folgende Proben bestimmt:

- HF-Werg (Ausgangsmaterial für die Mattenherstellung):	3,51 %
- HF 200	1,33 %
- HF 250	4,18 %
- HF 300	4,42 %

Das Werg weist einen relativ hohen Anteil kurzfasrigen Materials aus. Dieser Anteil wird jedoch durch die Verarbeitung im Air-Flow-Verfahren ausgesondert. Erst durch die Vernadelung der Fasermatte entsteht wieder ein kurzfasriger Anteil. Mit zunehmender Vernadelungsdichte nimmt die Masse dieser Teilchen

zu. Sie entstehen durch Faserbrüche infolge des Vernadelns und bleiben nach dem Vernadeln im Innern der Fasermatte.

Die Faserlängenverteilung für das Hanfwerg ist sehr breit mit einem Maximum im Bereich um 40-50 mm. Es werden Fasern mit einer Länge bis zu 200 mm detektiert (Bild 4.1).

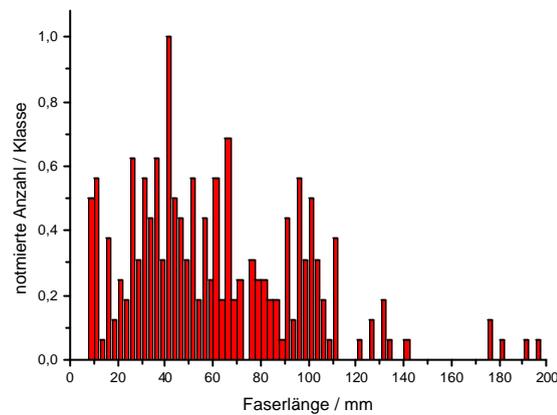


Bild 4.1

Normierte Faserlängenverteilung von Hanfwerg

Die Faserlängenverteilungen bei den unterschiedlichen Vernadelungsdichten sind sehr ähnlich. Nach dem Vernadeln sind in den Matten nur noch Faserlängen < 120 mm zu beobachten. Jedoch ist für die Fasermatte HF300 ein besonders hoher Anteil kurzer Fasern (ca. 8 mm Länge) vorhanden (Bild 4.2), was in Übereinstimmung mit den Untersuchungen der Schwebeteilchen eine hohe Faserschädigung bei dieser hohen Vernadelungsdichte belegt.

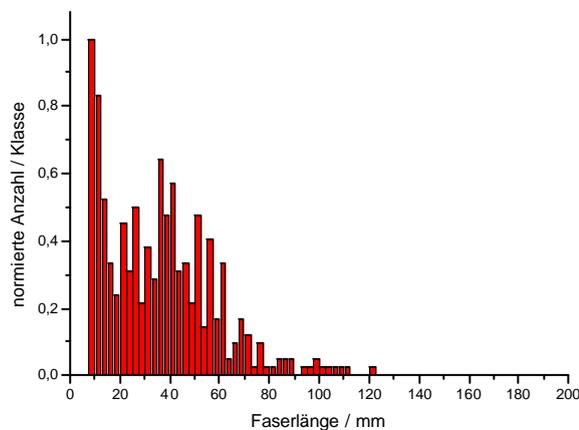


Bild 4.2

Normierte Faserlängenverteilung der Hanffasermatte HF300

Die Verteilung der Dicke der eingesetzten Hanfwergs nach Feldröste und mechanischem Aufschluss weisen ein Maximum bei ca. 90 μm (Bild 4.3) auf und dieser Wert wird durch die Verarbeitung zu Fasermatten nicht nachweislich verändert.

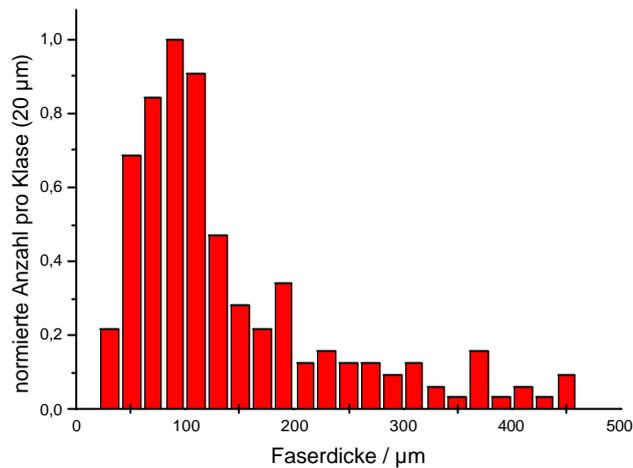


Bild 4.3 Normierte Faserdickenverteilung von Hanfwerg

4.2 Untersuchung der Isotropie der Fasermatte

4.2.1 Röntgenweitwinkelstreuung (RWWS)

Das Bild 4.4 zeigt die Diffraktometerstreucurve einer Hanffasermatte aufgenommen in den beiden Richtungen L und Q, d.h. entsprechend längs und quer zur Maschinenrichtung.

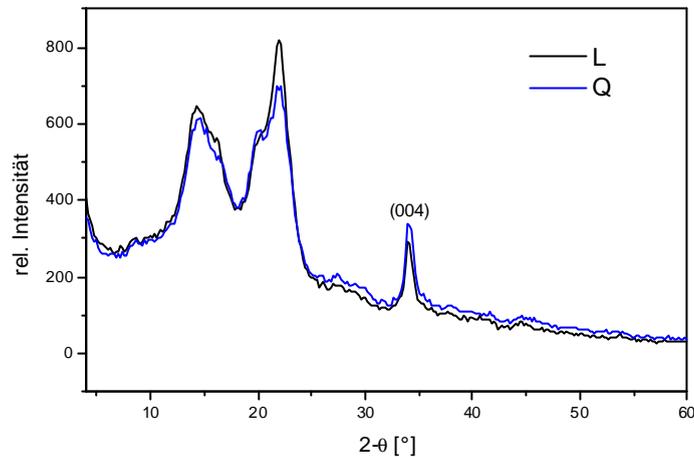


Bild 4.4

Diffraktogramme einer Hanffasermatte, aufgenommen längs (L) und quer (Q) zur Maschinenrichtung Q/20-05-02 in M- und T-Richtung

Die Hanffatte weist eine nur geringe Orientierung des Kettenrichtungsreflexes (004) auf. Aus den Diffraktogrammen ist erkennbar, dass in Q-Richtung der (004)-Reflex eine höhere Intensität im Vergleich zur L-Richtung aufweist; die Intensität des (020)-Reflexes hingegen ist leicht erhöht. Dieses Ergebnis weist eine etwas bevorzugte Orientierung der Hanffasern quer zur Maschinenrichtung aus, die durch das Anblasen der Hanffasern auf die Walze des Vlieslegers verursacht wird.

4.2.2 Mechanische Eigenschaften -Mattenstreifen

Die Untersuchungen an 10 Streifen einer Fasermatte sind im Bild 4.5 dargestellt. Die Grafik zeigt die Messwerte der einzelnen Streifen, wie sie in der Reihenfolge der Nummerierung nebeneinander aus einer Fasermatte herausgeschnitten wurden. Als Ergebnis ist festzustellen, dass auch zwischen unmittelbar benachbarten Streifen eine starke Streuung der Messwerte vorliegt.

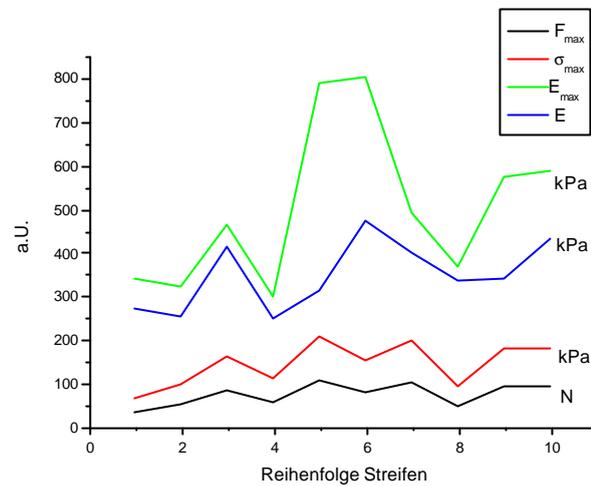


Bild 4.5

Darstellung der Messwerte der mechanischen Eigenschaften von 50 mm breiten Streifen, nebeneinander in Reihenfolge der Nummerierung aus einer Fasermatte herausgeschnitten. F_{max} – maximale Zugkraft, erreicht beim Versagen der Probe, E – Zugmodul, E_{max} und σ_{max} – Modul und Zugfestigkeit bei F_{max} .

Als Schlussfolgerung aus diesen Ergebnissen wurden die Messwerte an jeweils 10 Mattenstreifen gemittelt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen längs und quer zur Maschinenrichtung sind im Bild 4.6 grafisch zusammengefasst.

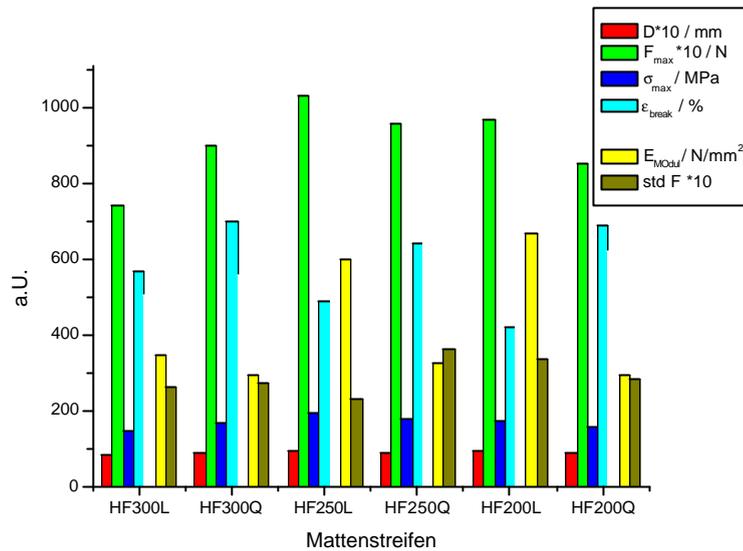


Bild 4.6

Mittelwerte der mechanische Eigenschaften von jeweils 10 Mattenstreifen. Dargestellt sind der Zugmodul E_{Modul} / kPa, die Standardabweichung der maximalen Zugkraft $std F * 10$, die Mattendicke $D * 10$ / mm sowie die Werte bei der maximalen Zugkraft $F_{max} * 10$ / N; die Zugfestigkeit σ_{max} / kPa und die Bruchdehnung ϵ_{break} / %.

Die Grafik (Bild 4.6) zeigt, dass in allen Fällen die maximale Bruchdehnung quer zur Maschinenrichtung größere Werte als in Längsrichtung aufweist und für die stärker vernadelte Probe (HF300) etwas zunimmt. Dagegen ist die Zugkraft in Maschinenrichtung für die Matten HF250 und HF200 größer als in Querrichtung. Die Beträge sind für die Probe HF250 am höchsten und nehmen bei stärkerer Vernadelung (HF300) ab, wobei sich auch das Verhältnis Q/L umkehrt. Auch der E-Modul nimmt bei stärkerer Vernadelung ab.

Die Darstellung der Masse der untersuchten Mattenstreifen, bestimmt durch das Auswägen der einzelnen Streifen und anschließende Mittelung, zeigt eine Abnahme der Masse mit zunehmender Vernadelungsdichte (Bild 4.7).

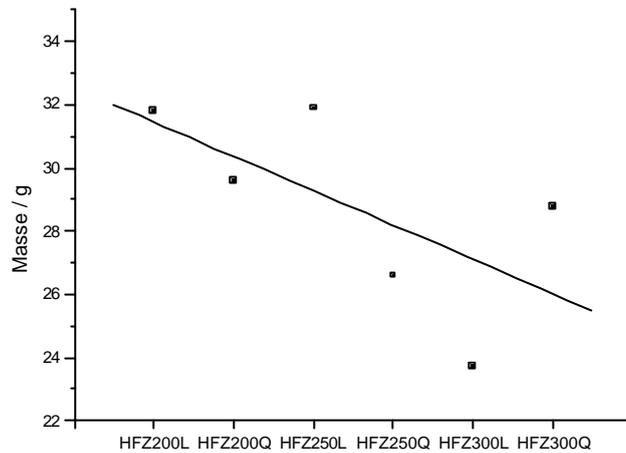
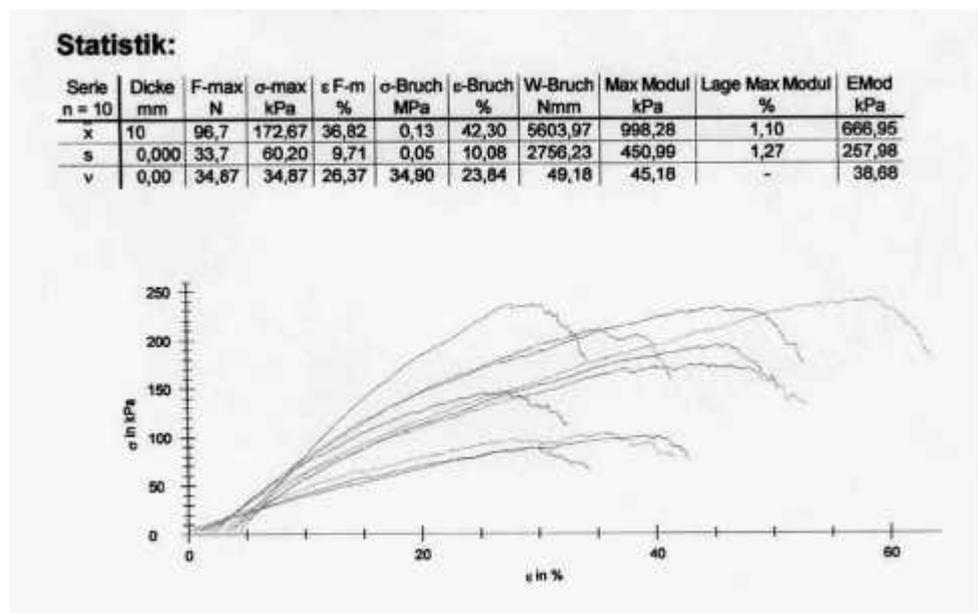


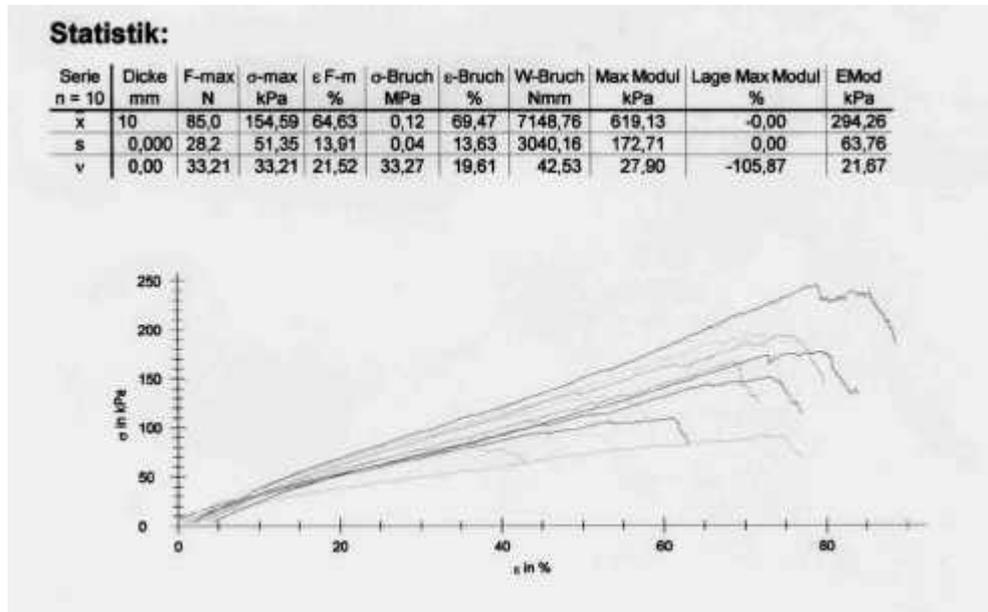
Bild 4.7

Darstellung des Mittelwertes der Masse von 10 Mattenstreifen (5*50 cm²) für die unterschiedlich vernadelten Fasermatten.

Auch im Verlauf der Spannungs-Dehnungs-Kurven der Mattenstreifen wurde anisotropes Verhalten festgestellt. Im Bild 4.8a weist das Spannungs-Dehnungs-Diagramm der Mattenstreifen längs zur Maschinenrichtung der Probe HF200L eine ausgeprägte konkave Kurvenform, während quer zur Maschinenrichtung (Bild 4.8b, HF200Q) eine schwache konvexe Kurvenform zu beobachten ist.



a)



b)

Bild 4.8

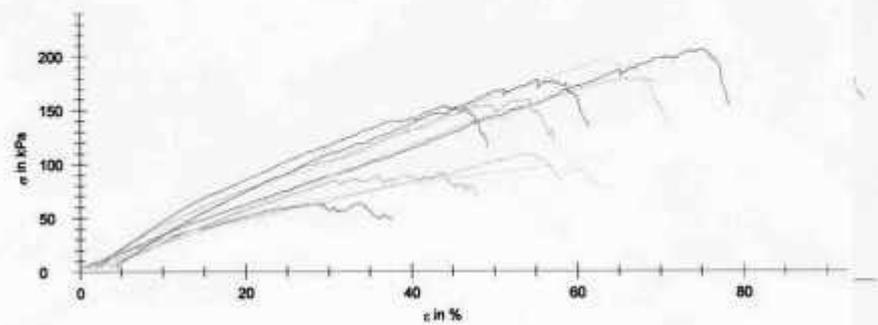
Spannungs-Dehnungs-Diagramm von 10 Mattenstreifen der Probe HF200, die längs a) und quer b) zur Maschinenrichtung geschnitten wurden

In beiden Diagrammen ist eine starke Streuung der Messwerte zu erkennen, die statistisch aufbereitet in den Tabellen aufgelistet (x – Mittelwert, s – Standardabweichung, v – Abweichung in %) und im Bild 4.6 grafisch dargestellt wurden.

Für die stark vernadelte Fasermatte HF300 ist in Maschinenrichtung eine Abschwächung des konkaven Verlaufs zu beobachten (Bild 4.9a).

Statistik:

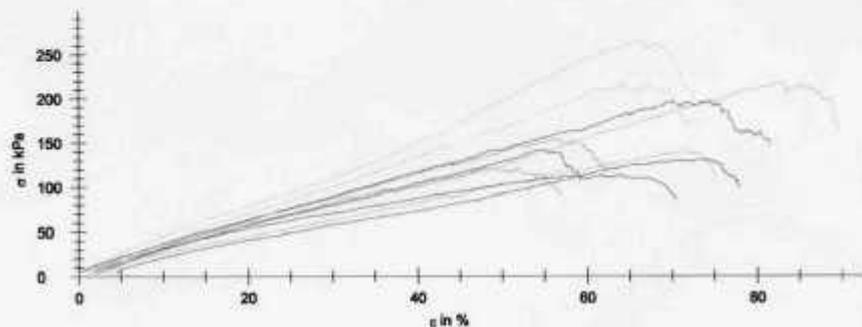
Serie	Dicke	F-max	σ -max	ϵ F-m	σ -Bruch	ϵ -Bruch	W-Bruch	Max Modul	Lage Max Modul	EMod
n = 10	mm	N	kPa	%	MPa	%	Nmm	kPa	%	kPa
x	10	73,6	144,28	52,44	0,11	57,31	5289,99	503,88	1,17	348,10
s	0,000	25,4	49,71	11,71	0,04	11,83	2343,64	184,67	1,13	79,44
v	0,00	34,45	34,45	22,33	34,35	20,64	44,30	36,65	-	22,82



a)

Statistik:

Serie	Dicke	F-max	σ -max	ϵ F-m	σ -Bruch	ϵ -Bruch	W-Bruch	Max Modul	Lage Max Modul	EMod
n = 10	mm	N	kPa	%	MPa	%	Nmm	kPa	%	kPa
x	10	90,2	170,20	63,46	0,13	69,59	7317,51	557,50	0,67	293,46
s	0,000	27,1	51,07	10,32	0,04	10,05	2534,04	204,28	1,44	55,24
v	0,00	30,01	30,01	16,27	29,90	14,44	34,63	36,64	-	18,82



b)

Bild 4.9

Zugfestigkeit-Dehnungs-Diagramm von 10 Mattenstreifen der Probe HF300, die längs a) und quer b) zur Maschinenrichtung geschnitten wurden

Zum Vergleich ist im Bild 4.10 das Spannungs-Dehnungs-Diagramm eines Konkurrenzproduktes abgebildet, das an Mattenstreifen (5*50 cm²) quer zur Maschinenrichtung aufgenommen wurde.

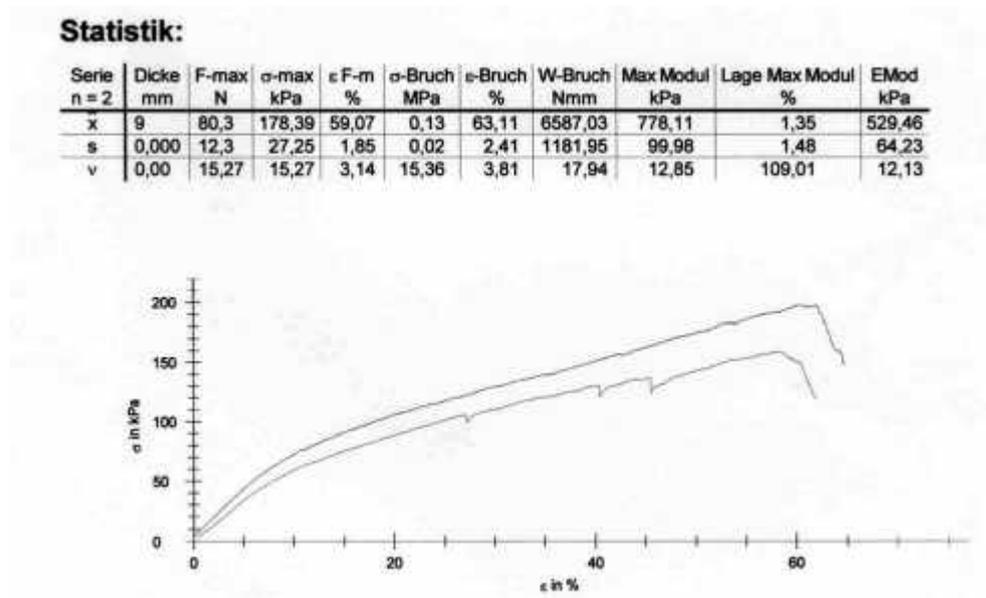


Bild 4.10

Spannungst-Dehnungs-Diagramm von 2 Mattenstreifen eines Konkurrenzproduktes, das quer zur Maschinenrichtung geschnitten wurde

Das Spannungs-Dehnungs-Verhalten des Konkurrenzproduktes ist durch zwei näherungsweise lineare Abschnitte geprägt. Die ermittelten Kennwerte der HFZ - Proben erreichen die Kennwerte des Konkurrenzproduktes bzw. übertreffen diese teilweise. Obwohl auch bei nur 2 Proben des Konkurrenzproduktes schon eine Streuung der ermittelten Kennwerte zu beobachten ist, so ist die Streuung an den HFZ-Proben nicht akzeptabel und die Ergebnisse der Untersuchung der Ursachen wird im folgenden Abschnitt vorgestellt.

4.3 Untersuchung der Faserverteilung in den Fasermatten (Flächenmasse)

4.3.1 Bestimmung der Flächenmasse nach Standardmethode

Die Bestimmung der Flächenmasse erfolgte zunächst durch Wägen. Es wurde eine Fläche von 50*50 cm² der Probe HF200 untersucht. Um die lokale Verteilung der Flächemasse zu bestimmen wurde jedoch in Abweichung von der DIN nur eine Flächenabschnitte von 5*5 cm² untersucht. Die Fasermatte wurde mit diesem Rastermaß zerschnitten und die ermittelten Massen in einer Matrix entsprechend ihrem Ort in der Fasermatte zusammengesetzt. Nach einer Interpolation der Messwerte ergibt sich ein 2-dimensionales Bild der Flächenmasse, wie im Bild 4.11 dargestellt. Die Farbskala von Blau bis Rot überstreicht den Bereich der Flächenmasse entsprechend von 600 bis 1900 g/m².

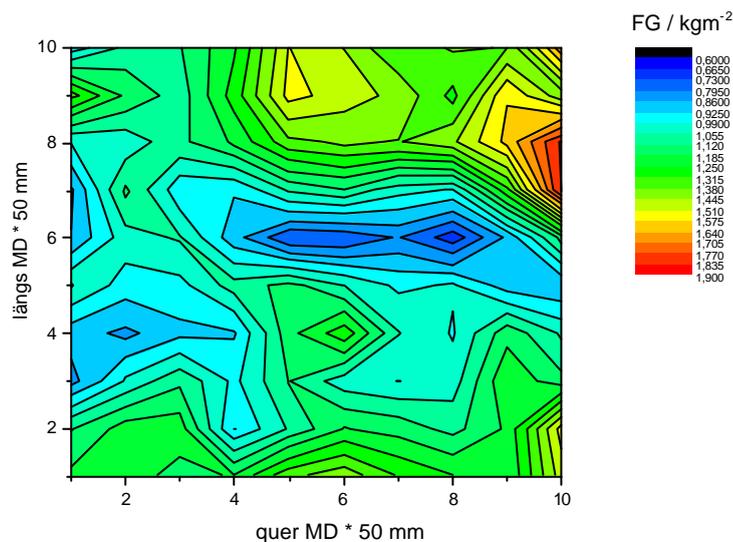


Bild 4.11

2-dimensionale Darstellung der Verteilung der Flächenmasse Fasermatte HF200 in einem quadratischen Ausschnitt mit einer Kantenlänge von 50 cm

Das Bild 4.11 zeigt, dass schon in einem relativ kleinen Ausschnitt schon große Schwankungen der Flächenmasse auftreten, so dass blaue Bereiche als Schwachstellen und rote Bereiche mit hoher Flächenmasse deutlich differenziert werden können. Die entscheidenden Nachteile dieser Untersuchungsmethode bestehen in der Zerstörung der Fasermatten und einem Fehler beim Zuschneiden der Rasterflächen insbesondere bei sehr weichen (nicht oder schwach vernadelten) Fasermatten, so dass die Rasterflächen zusätzlich

ausgemessen werden müssen und insgesamt ein hoher Zeitaufwand entsteht. Damit ist diese Methode für den praktischen Einsatz in der Produktion nicht akzeptabel.

4.3.2 Ultraschalluntersuchungen zur Bestimmung der Flächenmasse

In den Ultraschalluntersuchungen wurden die Fasermatten bzw. die herausgeschnittenen Streifen analog zur Standardmethode in einem Raster von $5 \times 5 \text{ cm}^2$ vermessen. Die im folgenden dargestellten Untersuchungsergebnisse wurden im wesentlichen mit einem US-Geber und –Empfängerpaar durchgeführt, das mit einer Frequenz von 250 kHz arbeitet und jeweils einen Durchmesser von 20 mm aufweist. Es muss somit berücksichtigt werden, dass bei den punktuellen Messungen nicht die gesamte Rasterfläche erfasst werden konnte. Der Nachteil dieses Paares ist eine geringe Leistung, die die Durchschallung dichter Fasermatten ($> 1200 \text{ g/m}^2$) verhindert. Zum Abschluss des Projekts standen jedoch US-Wandler (Geber und –Empfänger bei 40 kHz) mit einer deutlich höheren Leistung und einem Durchmesser von 60 mm zur Verfügung, die die Durchschallung von Fasermatten mit einer Grammaturn bis zu 2500 g/m^2 gestatten, so dass der praxisrelevante Bereich der Flächenmasse mit dieser Technik sicher erfasst und gegebenenfalls auch über eine Rasterfläche von $5 \times 5 \text{ cm}^2$ gemittelt werden kann.

4.3.2.1 Eichung der US-Messungen auf die Flächenmasse

Für die Eichung der US-Messungen auf die Flächenmasse wurde ein Zylinder mit einer Höhe von 3 cm und einem Durchmesser deutlich größer, als der der US-Wandler, benutzt. Dieser Zylinder wurde mit einer definierten Masse von Hanfwerg, identisch mit dem Ausgangsmaterial für die Mattenherstellung, gleichmäßig gefüllt. Aus der Masse der eingewogenen Fasern und der Grundfläche des Zylinders berechnet sich die jeweils untersuchte Flächenmasse. Der Einfluss der Flächenmasse auf die Laufzeitverzögerung und die Dämpfung des US-Signals sind im jeweils im Bild 4.12 und 4.13 dargestellt. Für beide Messungen können die Daten durch einen linearen Fit sehr gut dargestellt werden. Da messtechnisch die Erfassung der Verzögerungszeit sicherer und auch eine software-gestützte, kommerzielle Lösung verfügbar ist, wurde für die Auswertung der Untersuchungen die Laufzeitverzögerung herangezogen.

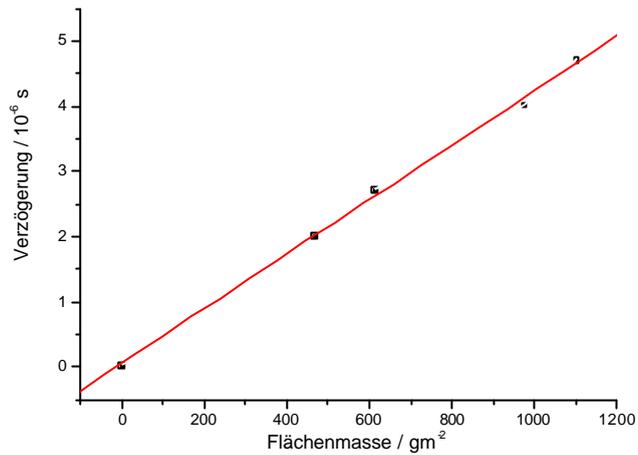


Bild 4.12: Verzögerung der Laufzeit des US-Signals in Abhängigkeit vom Flächengewicht von gestapeltem Hanffaserwerk

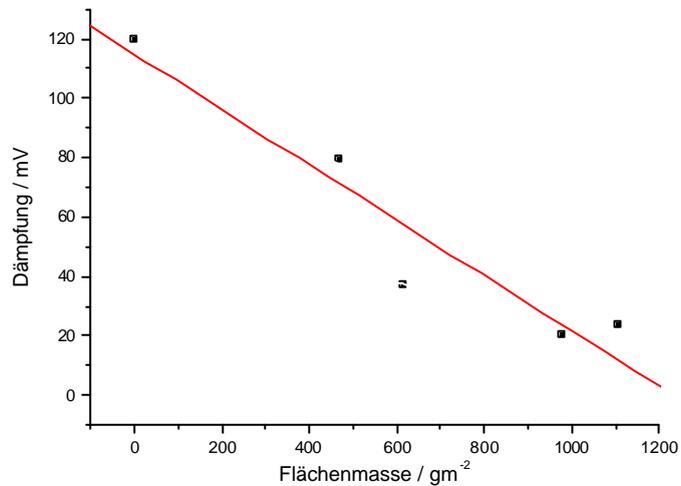


Bild 4.13: Dämpfung der US-Signals in Abhängigkeit von der Flächenmasse des gestapelten Hanffaserwerks

4.3.2.2 **Ultraschalluntersuchung der Hanffasermatten**

Im Bild 4.14 ist die 2-dimensionale Darstellung der Laufzeiten (TOF) des US-Signals am Beispiel der Fasermatte HF200 abgebildet. Kurze Laufzeiten (blau) geben die Bereiche geringer Flächenmasse wieder, entsprechend kennzeichnen längere Laufzeiten (rot) die Bereiche hoher Flächenmasse.

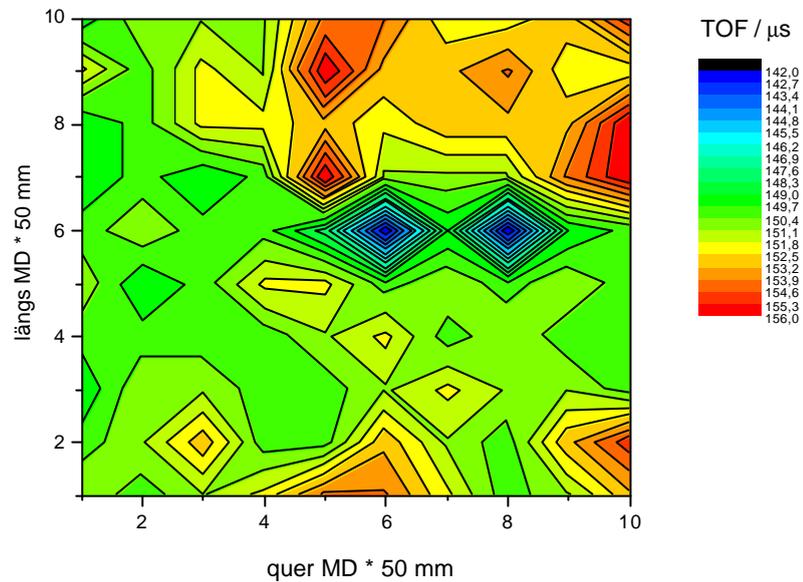


Bild 4.14

2-dimensionale Darstellung der Laufzeiten in der Fasermatte HF200 in einem quadratischen Ausschnitt mit einer Kantenlänge von 50 cm

Die Messungen für das Bild 4.14 wurden an den Rasterflächen durchgeführt, die auch für die Bestimmung der Verteilung der Flächenmasse (Bild 4.11) ausgewogen wurden. Die gute Übereinstimmung in den Bildern 4.11 und 4.14 belegt die Eignung der US-Methode für die Beurteilung der Homogenität der Flächenmasse in den Fasermatten. Geringe Abweichungen sind auf die kleine Fläche der US-Wandler zurückzuführen bzw. umgekehrt auf das Auswiegen von Rasterflächen von $5 \times 5 \text{ cm}^2$ Größe. Bei Differenzbildung der TOF-Werte mit der Laufzeit an Luft t_0 für den eingestellten Abstand der US-Wandler kann die Laufzeitverzögerung und mit der Eichkurve (Bild 4.12) die Flächenmasse berechnet werden.

4.3.2.3

Zusammenhang zwischen mechanischem Versagen und den in Ultraschalluntersuchungen detektierten Schwachstellen

- Zugtest an Mattenstreifen

Für diese Untersuchungen wurde eine Fasermatte von 50*50 cm² mit einem Raster von 5*5 cm² markiert und in den markierten Flächen mittels der US-Methode auf Schwachstellen der Flächenmasse untersucht. Das Ergebnis dieser Untersuchungen ist in der Darstellung der Verzögerungszeiten im Bild 4.15 abgebildet.

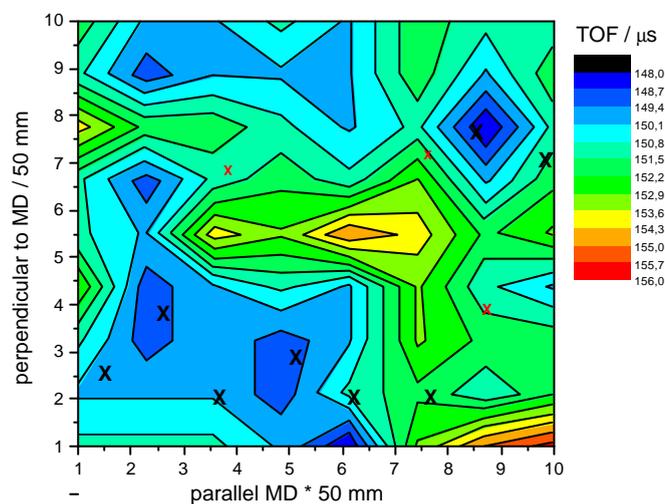


Bild 4.15

2-D Darstellung der Laufzeiten im US-Experiment an einer Fasermatte. Mit einem Kreuz sind die Bereiche markiert, in denen die vertikal herausgeschnittenen Mattenstreifen im Zugtest versagen.

Nach der US-Untersuchung wurde die Fasermatte in Streifen von jeweils 5 cm Breite und 50 cm Länge - im Bild 4.15 entsprechend in vertikaler Richtung - geschnitten und in Reihenfolge ihrer Lage in dieser Matte nummeriert. Anschließend wurde der Zugtest durchgeführt und anhand der Markierungen die Rasterfläche ermittelt, in der der Faserstreifen versagt - zu erkennen an der höchsten Dehnung aller markierten Flächen. Diese Flächen wurden anschließend im Bild 4.15 mit einem Kreuz markiert. Im Bild 4.15 ist zu erkennen, dass die Mattenstreifen jeweils im Bereich der geringsten Flächenmasse versagen.

In einem weiteren Schritt wurden die Versagensabschnitte an den markierten Rasterlinien herausgeschnitten. Nach Bestimmung der Flächenmasse durch Wägen bzw. durch Umrechnung der Verzögerungszeiten können die

mechanischen Kennwerte – hier der E-Modul und die maximale Zugkraft der Streifen – über der Flächenmasse des Versagensabschnittes aufgetragen werden (Bild 4.16).

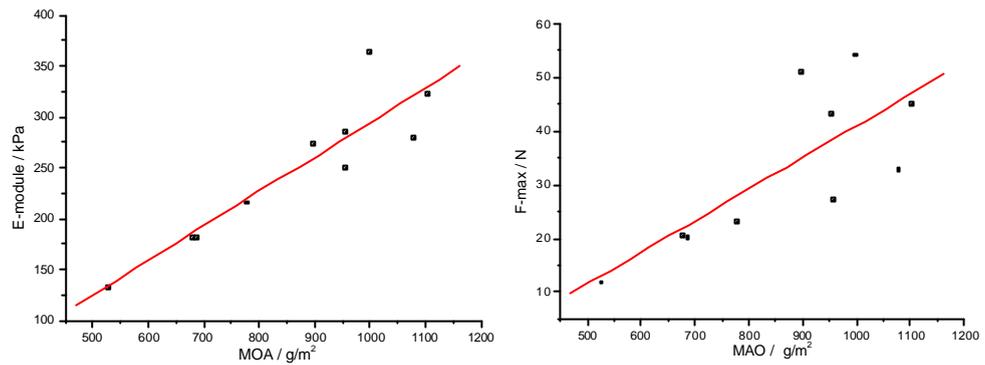


Bild 4.16

Auftragung des E-Moduls und der maximalen Zugkraft über der lokalen Flächenmasse des Rasterabschnitts (MOA - mass of area), in dem der Streifen im Zugtest versagte.

Die Darstellung in Bild 4.16 zeigt, dass die Ergebnisse im Gegensatz zur Darstellung in Bild 4.5 einen systematischen Verlauf zeigen und sich gut durch einen linearen Fit darstellen lassen.

Diese Ergebnisse zeigen, dass die Inhomogenität der Faserverteilung in den Fasermatten, erfasst durch die ungleichmäßige Verteilung der Flächenmasse, der entscheidende limitierende Parameter für die mechanischen Eigenschaften ist.

- **Stempeldurchdrückversuch an quadratische Fasermatten**

Der Kurvenverlauf eines Stempeldurchdrückversuchs ist für die Fasermatte HF300 im Bild 4.17 dargestellt. Auch in diesem Test zeigt sich eine breite Streuung der mechanischen Kennwerte.

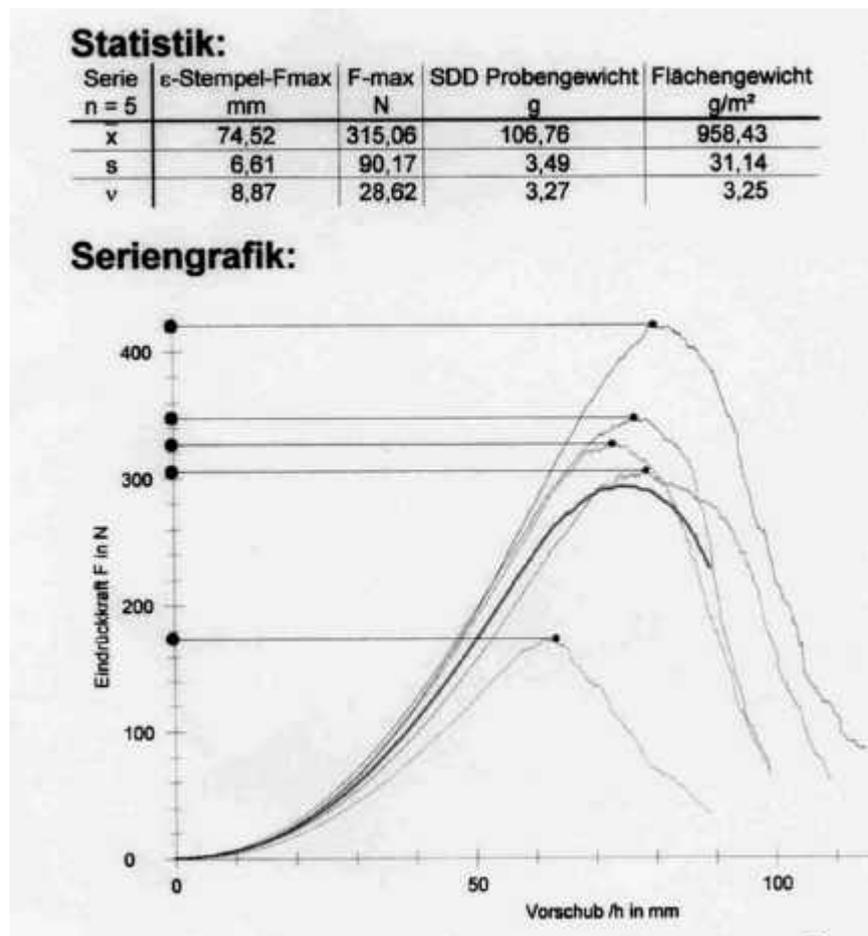


Bild 4.17

Darstellung der Eindrückkraft des Stempels über der Dehnung der eingespannten Fasermatte HF300 an 5 Proben

Die Ergebnisse an den verschiedenen untersuchten Fasermatten sind im Bild 4.18 grafisch zusammengefasst.

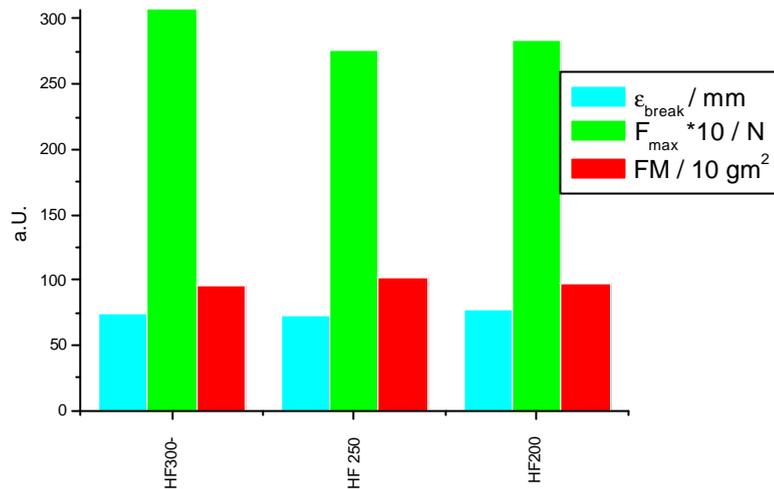


Bild 4.18

Grafische Darstellung der statistischen Ergebnisse des Stempeldurchdruckversuches an den untersuchten Fasermatten

Bei einer vergleichbaren mittleren Flächenmasse der untersuchten Fasermatten ist die maximale Durchdruckkraft der Fasermatte HF300 etwas erhöht, während die Dehnung etwas niedriger liegt als in den anderen beiden Fasermatten. Dieses Ergebnis deutet eine umgekehrte Tendenz zu den Zugversuchen an den Mattenstreifen (Bild 4.5) an.

Es wurde deshalb der Einfluss von Schwachstellen der Flächenmasse auf das Versagen im Stempeldurchdruckversuch untersucht. Im Bild 4.19 ist das Ergebnis der Ultraschalluntersuchungen als 2-dimensionale Karte der Laufzeiten dargestellt. Das abgebildete Gitternetz wurde auf den Fasermatten mit Farbe markiert und die Felder unten links mit A1 beginnend schachbrettartig nummeriert, so dass der Schwachstellen (blau) in dieser Fasermatte den Zeilen 1 und 2 zugeordnet werden können. Die geringste Flächenmasse wird im Feld D2 angezeigt mit einem Gradienten in Richtung des Feldes C2.

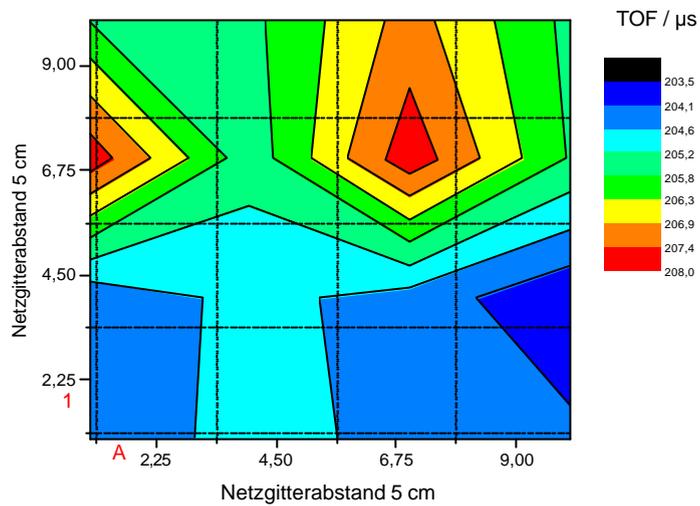


Bild 4.19

2-dimensionale Darstellung der US-Laufzeiten der Fasermatte HF2300 in einem Raster von 5*5 cm².

Im Stempeldurchdrückversuch wird die Fasermatte im Bereich zwischen dem Stempel und dem Spannflansch sehr stark gedehnt. In diesem Bereich kommt es zum Zerreißen der Fasermatte (Bild 4.20).



Bild 4.20

Fotografische Abbildung der Fasermatte HF250 nach dem Durchdrücken des Stempels mit Versagen im Bereich der höchsten Dehnung zwischen Stempel und Spannflansch

Die Fotografie von der Innenseite mit der Markierung des Gitters zeigt, dass das Zerreißen der Fasermatte im Feld C2 erfolgt, das in den Bereich der höchsten Dehnung hineinragt (Bild 4.21). Dieses Feld wurde in der vorangegangenen US-Untersuchung mit dem angrenzenden Feld D2 auch als Bereich mit der geringsten Flächenmasse identifiziert.

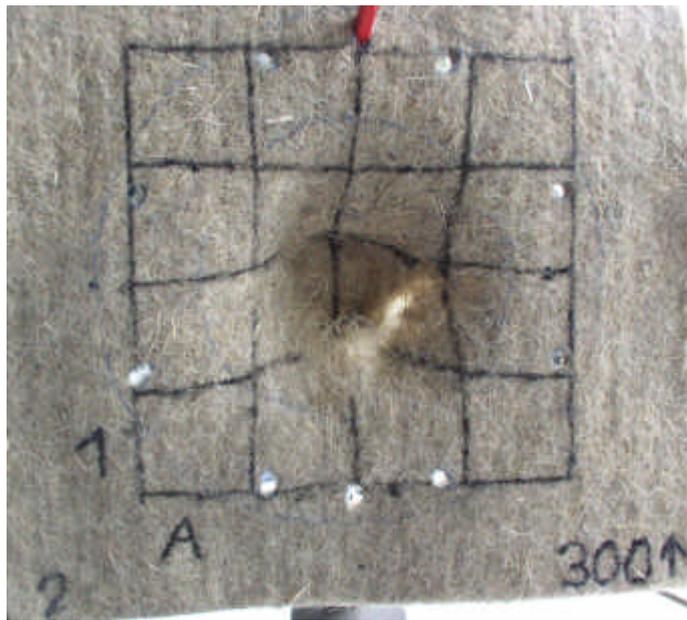


Bild 4.21

Fotografische Zuordnung des Bereichs des mechanischen Versagens im Stempeldurchdruckversuch zum Feld C2

5 Zusammenfassung und Diskussion

Für die Herstellung der Fasermatten wurden Hanffasern nach Feldröste und mechanischem Aufschluss eingesetzt, das durch Fasern mit einer Länge bis 200 mm und einem Maximum der Faserverteilung bei ca. 40 mm charakterisiert ist. Die Fasermatten wurden nach dem Air-Flow-Verfahren mit unterschiedlicher Vernadelungsdichte hergestellt. Das Fasermaterial zeigt mit höherer Vernadelungsdichte einen zunehmenden kurzfasrigen Anteil, der sowohl als ausgeschwemmte Faser Masse (Faserlängen kleiner 5 mm) aber auch in der Faserlängenverteilung im Bereich von 8-10 mm nachgewiesen wurde. Außerdem sind die langen Faseranteile (>120 mm) nach der Vernadelung nicht mehr vorhanden, so dass eine deutliche Einkürzung bzw. Schädigung des Fasermaterials vorliegt.

In den Röntgenstreu曲ven konnte anhand des (004) – Kettenrichtungsreflexes eine schwache Orientierung der Fasern quer zur Maschinenlaufrichtung, hervorgerufen durch das Anblasen der Fasern im Air-Flow-Verfahren auf die Ablegetrommel, nachgewiesen werden. Eine deutliche Anisotropie wurde weiterhin in den mechanischen Eigenschaften längs und quer zur Maschinenlaufrichtung der Fasermatten beobachtet. Dieses Verhalten ist besonders ausgeprägt bei niedriger Vernadelungsdichte ($7,5 \text{ cm}^{-2}$). Das Optimum der mechanischen Eigenschaften in den Streifentests ist bei einer Vernadelungsdichte von $9,5 \text{ cm}^{-2}$ erreicht. Bei der höchsten Vernadelungsdichte ($11,5 \text{ cm}^{-2}$) nimmt die maximale Zugkraft zwar ab, aber die maximale Dehnbarkeit nimmt in Maschinenlaufrichtung bei annähernd linearem Kurvenverlauf des Spannungs-Dehnungs-Diagramms zu. Als Grund sind entsprechend die gegenläufigen Prozesse der Einkürzung des Fasermaterials einerseits und die durch eine dichtere Vernetzung verbesserte Haftung der quer zur Maschinenlaufrichtung liegenden Fasern andererseits zu sehen.

Die mechanischen Eigenschaften, ermittelt im Spannungs-Dehnungs-Experiment an Mattenstreifen, als auch im Stempeldurchdruckverfahren weisen große statistische Streuungen auf. Infolge dieser Streuungen werden die Einflüsse der Faserlängenverteilung oder der Orientierung teilweise verdeckt, wie an den Ergebnissen des Stempeldurchdruckversuchs zu erkennen ist, die mit den Ergebnissen aus dem Test der Mattenstreifen nicht in Übereinstimmung sind.

Bei der Suche nach den Ursachen für die starken Streuungen der Messwerte wurde die Homogenität der Faserverteilung eingehend untersucht. Hierfür wurde ein neues Ultraschallverfahren entwickelt, das auf der Messung der Laufzeit eines Ultraschallsignals beruht. Die Verzögerung der Laufzeit beim passieren des Ultraschalls durch eine Fasermatte ist ein Maß für die Flächenmasse von Fasern an der untersuchten Stelle. Mit dieser Methode kann mit entsprechender Auflösung ein Profil der Faserverteilung in der Fasermatte aufgenommen und Schwachstellen in der Flächenmasse aufgezeigt werden. Sowohl in den Streifentests, als auch im Stempeldurchdruckverfahren korrelieren die Bereiche mit der niedrigsten Flächenmasse mit den Orten des Versagens (Zerreißen) bei mechanischer Spannungs-Dehnungs-Beanspruchung. Werden mechanische Kennwerte des Spannungs-Dehnungs-Tests in Bezug zu den Flächenmassen der Versagensbereiche gesetzt, so lassen sich diese Abhängigkeiten mit einem linearen Verlauf fitten.

Diese Inhomogenität der Flächenmasse ist auch eine Erklärung für die widersprüchlichen Ergebnisse aus dem Stempeldurchdruckversuch und dem Test der Mattenstreifen. Während bei den Mattenstreifen infolge der Aufreihung der einzelnen Bereich (Reihenschaltung) immer der Bereich mit der geringsten Flächenmasse das Versuchsergebnis entscheidend prägt, werden beim Stempeldurchdruckversuch die Bereiche unterschiedlicher Flächenmasse

praktisch nebeneinander (in einer Parallelschaltung) belastet, so dass hier Bereiche mit hoher Flächenmasse stärker zu den mechanischen Eigenschaften beitragen.

Für Untersuchungen zur weiteren Vertiefung des Verständnisses über den Einflusses der Parameter der Fasern, deren Orientierung und Vernadelung, muss somit unbedingt die Homogenität der Flächenmasse der Fasermatten verbessert werden. Erst damit können die Streuungen der Messwerte reduziert werden, so dass der Einfluss der o.g. Parameter deutlicher hervortritt.

Das in diesem Projekt entwickelte Ultraschallverfahren zur Bestimmung der Flächenmasse wurde zum Patent (DE 10 2004 050 961 .1). Es ist geeignet, in einer kontaktlosen, kontinuierlichen Messung die Flächenmasse von Fasermatten lokal aufgelöst zu erfassen. Damit ist eine zerstörungsfreie online-Kontrolle der Faserverteilung in Fasermatten im Produktionsprozess, sowohl an der unvernadelten Fache im Vliesleger, als auch im vernadelten Endprodukt möglich. Damit eröffnet sich die Möglichkeit einer online-Qualitätskontrolle, die als elektronische Karte des Flächengewichts mit der Ware ausgeliefert werden kann. Darüber hinaus kann die Methode aber auch zur Prozesssteuerung und damit zur Qualitätsverbesserung eingesetzt werden, indem die Homogenität der Flächenmasse schon bei der Vlieslegung und/oder in der vernadelten Ware erfasst und zur gezielten Einstellung der Air-Flow-Anlage genutzt wird.