

6

Vliesverfestigung

Johann Ph. Dilo, Gustav Wizemann, Holger Erth, Jochen Schreiber, Alexander Wegner, Ullrich Münstermann, Wolfgang Möschler, Alfred Watzl, Markus Pasternak, Wolfgang Schilde, Hilmar Fuchs, Peter Böttcher, Walter Zäh

6.1

Vernadelungsverfahren

Johann Ph. Dilo

Das Prinzip der mechanischen Vliesverfestigung durch Vernadeln wurde bereits im 19. Jahrhundert in England erfunden (*needle loom*). Erste „Nadelfilzmaschinen“ kamen von Bywater und danach auch von Hunter in USA. Aus Abfall- und Naturfasern hat man damals einfache Isolier- und Polsterfilze hergestellt. In der zweiten Hälfte der 50er Jahre – parallel zum Erfolg der organischen Kunstfasern – haben Dilo und Fehrer das Prinzip der „Nadelfilzmaschine“ aufgegriffen und zahlreiche konstruktive Verbesserungen eingeführt. Eine ständige, intensive Entwicklungsarbeit an Maschine, Nadel und Chemiefaser und nicht zuletzt die textile Produktentwicklung haben zum großen Erfolg des Nadelvliesverfahrens beigetragen.

Die wirtschaftliche Bedeutung der Nadelvliesstechnologie ist insbesondere auch deshalb entstanden, weil es mit diesem Verfahren möglich ist, nahezu alle Fasermaterialien zu verarbeiten. Organische Kunstfasern, Naturfasern und Reißfasern, Mineral- und Glasfasern, selbst Metallfasern werden für höchst vielfältige Anwendungen eingesetzt. Die wichtigsten Produktparten der Nadelvliesstoffe sind: Bodenbelag, Automobilinnenausstattung, Matratzen und Polsterfilze, Wischtücher, Syntheseleder, technische Filze für Dämmung und Dämpfung, Geotextilien und Dachbahnen, Filtermedien und Papiermaschinenfilze sowie Produkte für Medizin und Hygiene.

Nadelvliesstoffe haben auf Basis des Verbrauchs neuer Stapelfasern innerhalb aller Verfestigungsverfahren für *Nonwovens* einen Anteil von nahezu 50 %. Hinzu kommen genadelte Spinnvliesstoffe und Reißfaserfilze. Jährlich wächst der Verbrauch an Nadelvliesstoffen weltweit um etwa 6 % [1].

Auch in Zukunft werden sich Nadelvliesstoffe auf Stapel- und Endlosfaserbasis durch ihr breites Anwendungsspektrum behaupten; in zahlreichen mittleren und kleineren Marktsegmenten auch deshalb, weil das vielfältige Stapelfasermaterial –

mit großem Feinheitsbereich von ca. 1 dtex bis mehrere hundert dtex – die Herstellung ganz bestimmter Produkteigenschaften erlaubt. Ein sehr großer Flächenmassebereich von ca. 30 Gramm bis mehrere Kilogramm pro m² ist damit verbunden.

Für die Spinnvliesproduktion von mittleren bis hohen Flächenmassen bleibt ebenfalls nur die Vernadelung als Verfestigungstechnologie. Nach Edana wird der Verbrauch von Spinnvliesstoffen den von Stapelfaservliesstoffen bald erreicht haben. Dies ist jedoch bezogen auf überwiegend leichte thermobondierte Materialien. Die Mehrzahl der verschiedenen Nadelvliesstoffe muss man weiterhin aus den unterschiedlichsten künstlichen oder natürlichen Stapelfasermaterialien herstellen.

6.1.1

Einfluss des Vliesbildungsverfahrens

Im Stapelfaserprozess ist schon die Faseröffnung bedeutsam, da hier die Flockengröße und damit ein Teil der Vliesgleichmäßigkeit bestimmt wird. Darüber hinaus spielt die Homogenität der Fasermischung eine wichtige Rolle für die Qualität des Endproduktes. Die wichtigsten Verfahren zur Stapelfaservliesbildung sind:

- Krempel/Kreuzleger-Verfahren
- Krempelvliesdoublage
- Aerodynamische Vliesbildung

Die Endlosfaservliesbildung erfolgt im Spinnvliesprozess oder auf Basis von Multifilamentkabeln mithilfe von *Spreadern* und Kreuzlegern.

Alle Verfahren ergeben charakteristische Merkmale im Hinblick auf Vliesstruktur, Faserorientierung, Gleichmäßigkeit und Festigkeit des unvernadelten Vlieses. Jedes Vliesbildungsverfahren ist in erster Linie durch den Massenstrom bzw. Faserdurchsatz in kg/h gekennzeichnet. Der Massenstrom wird definiert durch Flächenmasse, Breite und Geschwindigkeit des Vlieses (Gleichung 6.1). Da im Verlauf des Prozesses kaum Faserverluste auftreten, kann Massenstromkonstanz angenommen werden (Gleichung 6.2).

$$\dot{m}[\text{kg/h}] = \frac{m_A \cdot b \cdot v \cdot 60}{1000} \left[\frac{\text{g}}{\text{m}^2} \cdot \text{m} \cdot \frac{\text{m}}{\text{min}} \right] \quad (6.1)$$

- \dot{m} – Massenstrom [kg/h]
 m_A – Flächenmasse [g/m²]
 b – Breite [m]
 v – Geschwindigkeit [m/min]

Bei bekanntem Massenstrom und angenommener Breite und Flächenmasse ist die Durchlaufgeschwindigkeit des Vlieses vor den weiteren Verfahrensschritten zur Verfestigung bestimmbar.

Für die Vernadelung von Stapelfaservliesen ist die Vliesbildung durch Krempel und Kreuzleger die häufigste. Im Hinblick auf die Gleichmäßigkeit des Flors und seiner Flächenmasse ist die Gleichmäßigkeit der Beschickung der Krempel über den „Speiser“ entscheidend. Der komplexe Krempelprozess selbst legt die Faserorientierung im Flor fest – ob parallel, gestaucht, wirr oder Kombinationen daraus. Die Faserorientierung in allen Raumrichtungen beeinflusst die Festigkeit in der Florebene. Die Arbeitsbreite der Krempel bestimmt die Florbreite, die zusammen mit der Legebreite des Vlieslegers und abhängig vom Verhältnis der Floreinlauf- zur Vliesabzugsgeschwindigkeit die Florlagenzahl im Vlies und den Legewinkel definiert.

$$m_F \cdot b_F \cdot v_F = z \cdot m_V \cdot b_V \cdot v_V = \text{konst.} \quad (6.2)$$

$$z \cdot m_F = m_V \quad (6.3)$$

$$z = \frac{b_F \cdot v_F}{b_V \cdot v_V} \quad (6.4)$$

- b_F – Florbreite
- b_V – Vliesbreite (Legebreite)
- m_F – Florflächenmasse [g/m²]
- m_V – Vliesflächenmasse [g/m²]
- v_F – Florgeschwindigkeit
- v_V – Vliesgeschwindigkeit
- z = Florlagenzahl

Der Legewinkel wirkt sich zusammen mit der Florstruktur selbst (wirr, gestaucht, parallel) auf die Faserorientierung aus. Er hängt ab vom Geschwindigkeitsverhältnis Vlies/Flor bzw. von der Florbreite, der Lagenzahl und der Legebreite.

$$\tan \lambda = \frac{v_V}{v_F} = \frac{b_F}{b_V} \cdot \frac{1}{z} \quad (6.5)$$

λ = Legewinkel

(z geradzahlig)

Die Anzahl der Florlagen bestimmt die nominelle Flächenmasse des Vlieses vor den Dimensionsänderungen in Längs- und Querrichtung während der weiteren Verfestigungs- und Verfahrensschritte.

Die Florlagenzahl ist aber auch maßgebend für die Flächenmassengleichmäßigkeit des Vlieses, die oft mit dem Variationskoeffizienten (CV-Wert) als Maß der relativen Streuung bei Normalverteilung angegeben wird.

$$CV_V = \frac{s_V}{\bar{m}_V} \quad (6.6)$$

- CV_V – Variationskoeffizient Vliesflächenmasse
- s_V – Standardabweichung der Vliesflächenmasse
- \bar{m}_V – mittlere Vliesflächenmasse

Sind mehrere Florlagen übereinander geschichtet (Florleger, Krempelflourdoublage), ist die Streuung der Vliesflächenmasse bezogen auf ihren Mittelwert, der CV-Wert des Vlieses also, geringer als im Einzelflor. Dieser wichtige Zusammenhang aus der Statistik wird oft herangezogen, um die Gleichmäßigkeit der Flächenmasse aus der Florlagenzahl abzuleiten. Obwohl die Gesamtstreuung zunimmt,

$$s_V = \sqrt{s_1^2 + s_2^2 + \dots + s_z^2} \quad [2] \quad (6.7)$$

wird der CV-Wert des Vlieses durch den Bezug der Standardabweichung s_V auf die Gesamtvliesmasse $z \cdot \bar{m}_z$ geringer als der CV-Wert des einzelnen Flors.

Für $s_1 = s_2 = \dots = s_z$ gilt $s_V = \sqrt{z} \cdot \sqrt{s_z^2}$ und mit $\bar{m}_1 = \bar{m}_2 = \dots = \bar{m}_z$ ist

$$CV_V = \frac{s_V}{z \cdot \bar{m}_z} = \frac{\sqrt{z} \cdot \sqrt{s_z^2}}{z \cdot \bar{m}_z}; \text{ daraus}$$

$$\frac{CV_V}{CV_1} = \frac{\sqrt{z} \cdot s_z}{z \cdot \bar{m}_z} \cdot \frac{\bar{m}_1}{s_1} = \frac{\sqrt{z}}{\sqrt{z} \cdot \sqrt{z}} = \frac{1}{\sqrt{z}} \quad (6.8)$$

- CV_1 – Variationskoeffizient Florflächenmasse
- CV_V – Variationskoeffizient Vliesflächenmasse
- \bar{m}_i – Mittelwert Florflächenmasse
- s_i – Standardabweichung Florflächenmasse
- z – Florlagenzahl

Durch die Erhöhung der Florlagenzahl lässt sich also, bezogen auf eine Florqualität, mit dem sogenannten Doublage-Effekt eine Steigerung der Vliesgleichmäßigkeit erreichen.

Wird das Vlies innerhalb einer Vliesstrecke direkt nach dem Kreuzleger verstreckt, um eine Abnahme der Flächenmasse zu bewirken, wird der umgekehrte Zusammenhang, nämlich die Zunahme des CV-Wertes (quasi Abnahme der Lagenzahl) angenommen. Der Einsatz einer „Vliesstrecke“ dient in erster Linie dazu, mit höheren Flormassen höhere Floreinlaufgeschwindigkeiten am Vliesleger zu ermöglichen. Bei konstanter Lagenzahl führt dies zu einer Erhöhung der nominellen Vliesmasse, die durch Verstrecken wiederum gemindert werden

muss. Der Durchsatz einer Gesamtanlage lässt sich so erhöhen. Eine Verringerung der Lagenzahl kann bei größeren Legewinkeln Florverzerrungen und Ungleichmäßigkeiten bedingen. Mit einer Ver Streckung in der Vliesstrecke geht auch eine Faserumorientierung einher, dort allerdings als Nebeneffekt, wo nur bei höheren Verstreckwerten größere Faserumorientierungen stattfinden. Eine effizientere Variante zur Faserumorientierung und Änderung des Festigkeitsverhältnisses in Längs- und Querrichtung erzielt man mit Einschaltung eines Streckwerks nach der Vorvernadelung (s. Abschnitt 6.1.4).

6.1.2

Vernadelungsprinzip

Ziel des Vernadelns ist es, aus einem voluminösen, weichen Vlies ein dünneres und festes Flächengebilde, einen Nadelvliesstoff, zu machen (s. Abb. 6.1).

Die Vliese verlassen die Maschinen der Vliesbildung dazu üblicherweise horizontal auf angetriebenen Bändern und werden der Vernadelungsmaschine über ein weiteres Band- und Walzensystem zugeführt.

6.1.2.1 Nadelbalkensystem

Die Kinematik der vertikalen Nadelbewegung wird in konventionellen Nadelmaschinen durch Kurbeltriebe aus Exzentern und Pleuelstangen und über Geradföhrungen realisiert.

Der Nadelbalken führt deshalb dauernd, bei jeder Umdrehung der Kurbelwelle, eine geradlinige Auf- und Abbewegung aus, die über die Zeit näherungsweise sinusförmig verläuft. Diese oszillierenden Doppelhubbewegungen erfolgen mit einer bestimmten Hubfrequenz und mit einer konstanten Amplitude, die „Hub“ genannt wird. Dieser Vertikalhub der Nadelmaschine ist normalerweise fix, die Hubfrequenz dagegen stufenlos einstellbar. Zahlreiche Nadeln sind in den sogenannten Nadelbrettern nach einem Anordnungsschema orthogonal zur Brettebene parallel zueinander aufgereiht. Das Nadelbrett selbst ist am Nadelbalken befestigt, der sich als steifer Trä ger über die Arbeitsbreite erstreckt.

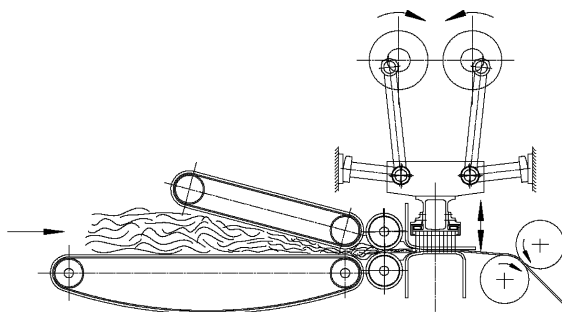


Abb. 6.1 Nadelmaschine, prinzipieller Aufbau

Für die Passage des Vlieses innerhalb der Nadelmaschine sind parallele Lochplatten horizontal angeordnet. Durchstechen die Nadeln das Vlies von oben, stützt es die untere Lochplatte als sogenannte Stichplatte gegen Einstichkräfte von oben. Die parallel darüber angeordnete Lochplatte, der Niederhalter, streift es gegen die Rückzugskräfte der Nadeln ab. Die Oberflächen von Stichplatte und Niederhalter sind glatt, führen das Vlies und bilden über ihren einstellbaren Abstand den Raum für den Durchlauf. Ein Abzugswalzenpaar treibt das genadelte Vlies über einen Klemmspalt reibschlüssig an und prägt ihm die Abzugsgeschwindigkeit ein. Solange jedoch die Nadeln im Eingriff sind, wird der Vliesdurchlauf in der Nadelzone gestoppt.

6.1.2.2 Einstichttechnologie

Bei der von oben nadelnden Maschine durchstechen die normalerweise gleich langen Nadeln eines Brettes die Vliesebene orthogonal in der Abwärtsphase der Hubbewegung; jede Nadel ist zentrisch zu ihren Bohrungen in Niederhalter und Stichplatte positioniert (s. Abb. 6.2). Die Nadeln treffen auf die Vliesoberfläche, verdrängen die Fasern mit ihrer konischen Spitze und mit ihrem meist dreikantigen Arbeitsteil und bilden so den Einstichkanal. Die auf den Kanten der Nadel angebrachten hakenartigen Kerben, die zur Spitze orientiert sind, füllen sich im kreuzgelegten Vlies mit den überwiegend horizontal liegenden, in verschiedenen Richtungen orientierten Fasern und ziehen sie in den vertikalen Einstichkanal hinein. Diese vertikalen Faserbündel aus parallel straff gezogenen Einzelfasern wirken wie Faserpfropfen, die mit Druckeigenspannungen den Reibschluss zu den umgebenden Fasern im Vlies erzeugen und wie ein Nagel oder eine Niete praktisch irreversibel eine Verbindung zwischen den Faserschichten herstellen. Mit dem Zug der Fasern nach unten werden alle Faserschichten des Vlieses verdichtet. Die Vliesdicke reduziert sich je nach Vernadelungsgrad. Der Abstand der Einzelfasern wird soweit verringert, dass der Reibschluss und bei gekräuselten Fasern ein teilweiser Formschluss die Verdichtung stabilisiert.

Abhängig von der einstellbaren Einstichtiefe und der Nadelkonstruktion werden durch die Nadelkerben mehrere Faserbündelschlingen in die Bohrungen der

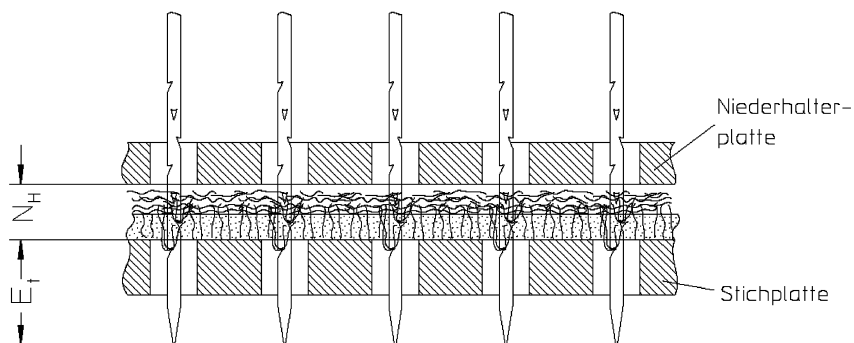


Abb. 6.2 Prinzip des Vernadelns eines Faservlieses

Stichplatte hineingestoßen. Sobald die Nadelspitzen während des Rückhubes die Vliesoberfläche verlassen und damit das Vlies für den Weitertransport freigeben, werden an der Ausstichseite überstehende Faserschlingen durch die Vorwärtsbewegung des Vlieses am Lochrand horizontal umgelegt, sodass die darauf folgenden Nadeln die flachgelegten Schlingen wiederum durchstechen und ggf. mit weiteren Faserbündeln füllen. Dies hat zur Folge, dass bei ausreichender Faserlänge und Einstichtiefe die gebildeten Schlingen miteinander formschlüssig verriegelt werden. Dieser Effekt ist manchmal beobachtbar durch die Bildung einer leichten Längsstreifigkeit an der Unterseite des Vlieses. Deshalb sind entgegen einer allgemeinen Erwartung genadelte Vliese an der Ausstichseite oft besser verfestigt als an der Einstichseite. Die Menge der transportierten Fasern in den Kerben hängt unter anderem ab von der Kerbtiefe, der Faserorientierung, dem Faserquerschnitt und der Vliesdichte.

6.1.2.3 Einstichtiefe

Ein wichtiger Vernadelungsparameter ist die Einstichtiefe E_e . Sie wird nominell definiert als Abstand zwischen Stichplattenoberkante und Position der Nadelspitze im unteren Totpunkt des Nadelbalkens. Damit ist aber noch nicht der effektive Einstichweg berücksichtigt, den jede Nadelkerbe abhängig von der Vliesdicke zurücklegt. Eine sogenannte effektive Einstichtiefe wäre also aus der Addition der nominellen Einstichtiefe und der Vliesdicke zu ermitteln.

6.1.2.4 Niederhalterstellung

Der Durchlauf des elastisch vorkomprimierten Vlieses im Spalt zwischen den Lochplatten der Nadelzone einer ersten Vernadelungsstufe wird aufgrund des Vernadelungseffekts begleitet von einer regressiven und dauerhaften Dickenabnahme (s. 6.1.3 Vlieszufuhr und Vorvernadelung).

Die Niederhalterstellung bestimmt den Abstand zwischen oberer und unterer Lochplatte. Sie wird an die Vliesdicke angepasst. Eine Einlaufschräge des Niederhalters folgt der Vliesdickenabnahme im Bereich der ersten Nadelreihen. Bei zu großem Niederhalterabstand entsteht durch den wechselnden Nadeleingriff eine Flatterbewegung des Vlieses, die die Verweildauer der Nadel, Verzüge und Vliesungleichmäßigkeiten erhöht.

Änderungen der Vliesdimensionen

Dimensionsänderungen durch den Fasertransport Je nach Faserorientierung und -lage werden von den Kerben der drei Nadelkanten Fasern aus allen Richtungen und aus allen Ebenen in den Einstichkanal gezogen. Je nach Kantenorientierung (120° , 240° , 360°) und Faserorientierung in der Vliesebene werden mehr oder weniger Fasern für die vertikale Umorientierung erfasst, die Hauptfaserorientierung dadurch ggf. verändert und richtungsabhängige Festigkeitsunterschiede in der Vliesebene gemindert (Vermischungseffekt, s. auch Zernadelung unter Abschnitt 6.1.8). Eine Hauptfaserlage wird – wie erwähnt – von der Art der Vliesbildung vorgegeben.

Die Umwandlung des voluminösen Faservlieses in einen festen Nadelfilz geht mit folgenden Dimensionsänderungen einher:

- Dickenreduzierung
- Längenänderung
- Breitenänderung

Längen- und Breitenänderung sind von zahlreichen Einflüssen geprägt. Durch das Volumen des Nadelkörpers und nachfolgend von vertikalen Faserpfropfen im Einstichkanal wird die Faservliesmasse verdrängt (Pfropfeffekt). Die so erzeugten Druckeigenspannungen wollen das Vlies in Länge und Breite wachsen lassen. Denen überlagert ist jedoch eine Kontraktion aufgrund der reibungsbehafteten Gleitbewegung der herbeigezogenen Fasern aus der Vliesebene.

Abhängig von der überwiegenden Querorientierung der Fasern bei kreuzgelegtem Vlies beobachtet man deshalb meistens eine Querkontraktion und eine Längenzunahme (Abb. 6.3). Würde sich die Vliesmasse in ihrem Volumen als isotropes Kontinuum verhalten, gäbe es bedingt durch die Dickenabnahme und den Verdichtungsvorgang beim Nadeln eine Längen- und Breitenzunahme, sofern sich keine weiteren Spannungen in der Vliesebene überlagerten.

Die Dimensionsänderungen aufgrund des Pfropfeffektes sind für die Gleichmäßigkeit der Vliesflächenmasse unschädlich.

Dimensionsänderungen durch den Vliestransport Zuführ- und Abzugswalzenpaar treiben das Vlies an, schieben und ziehen es jeweils durch die Nadelzone. Durch den Kontakt der Vliesoberfläche mit Stichplatte und Niederhalter entstehen Reibungskräfte, z. T. leichte Formschlüsse z. B. zwischen vertikalen Faserbüscheln auf der Ausstichseite und den Bohrungsrändern der Stichplatte, sodass Widerstandskräfte bei der Passage des Vlieses durch die Nadelzone mit Zugkräften im Vlies zu überwinden sind. Längs orientierte Vliese besitzen dazu eine hohe Festigkeit in Längsrichtung.

Die mittlerweile üblichen hohen Hubfrequenzen zwingen dazu, die Abzugswalzen kontinuierlich anzutreiben. Im Dauerbetrieb sind intermittierende Walzantriebe nur bei sehr geringen Hubfrequenzen und Beschleunigungen einsetzbar. Der ständige Vliesantrieb auch während des Nadeleingriffs verursacht Vlieslängungen, die sowohl elastische als auch plastische, bleibende Anteile haben. Elastische Längungen sind unschädlich, während dauerhafte Vlieslängungen, entstanden durch Fasergleitbewegungen, sich schädlich auf die Flächenmassegleichmäßigkeit des Vlieses auswirken.

Die Längenzunahme im Vlies muss durch eine höhere Geschwindigkeit der Abzugswalzen aufgenommen werden. Das Verhältnis der Geschwindigkeiten von Abzugs- zu Einzugswalzenpaar v_2/v_1 wird als Verzugsfaktor V_f bezeichnet. Den Verzug V kann man auch als Prozentwert angeben (Gleichung 6.9).

$$V = \frac{v_2 - v_1}{v_1} \cdot 100[\%] \quad (6.9)$$

v_2 – Abzugsgeschwindigkeit

v_1 – Zuführungsgeschwindigkeit

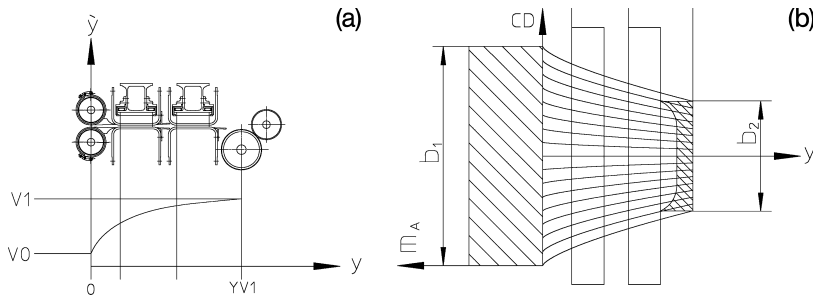


Abb. 6.3 Dimensionsänderungen Längsverzug und Quereinsprung über den Verlauf der Transportzone

Selbst ohne die Querkontraktionen des Vlieses durch den Fasertransport würde sich beim Vlies als angenommenem Kontinuum bei Längsverzug auch ein Quereinsprung ergeben. Die Ungleichmäßigkeit des Verlaufs der Querkontraktion über der Vliesbreite bedingt eine Randaufdickung des Vlieses. Dieser Effekt ist allerdings über ein Vliesprofilierungssystem vorkompensierbar (Abb. 6.4).

Vor dem Einlauf in den Leger erzeugt das Vliesprofilierungssystem zyklisch Dünnstellen, die sich über die Florbreite erstrecken. Sie werden im Vliesrandbereich positioniert und abgelegt. So entstehen dünne Vliesränder vor der Nadel-

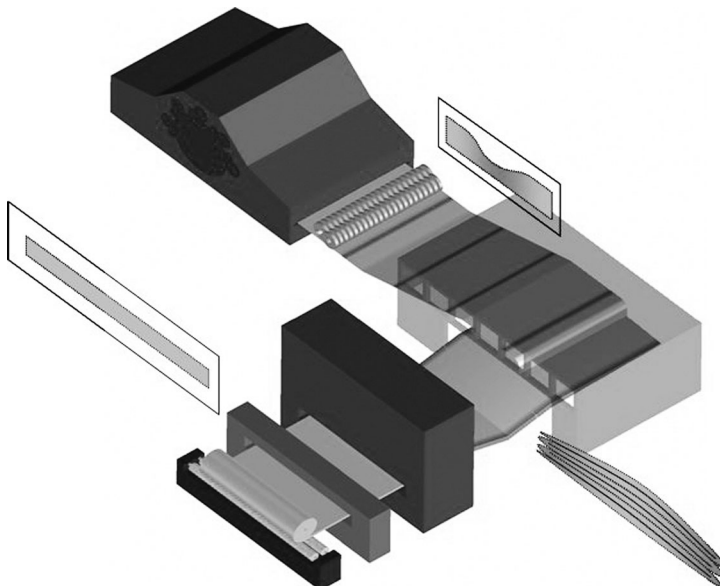


Abb. 6.4 Querprofilausgleich durch CV1-System

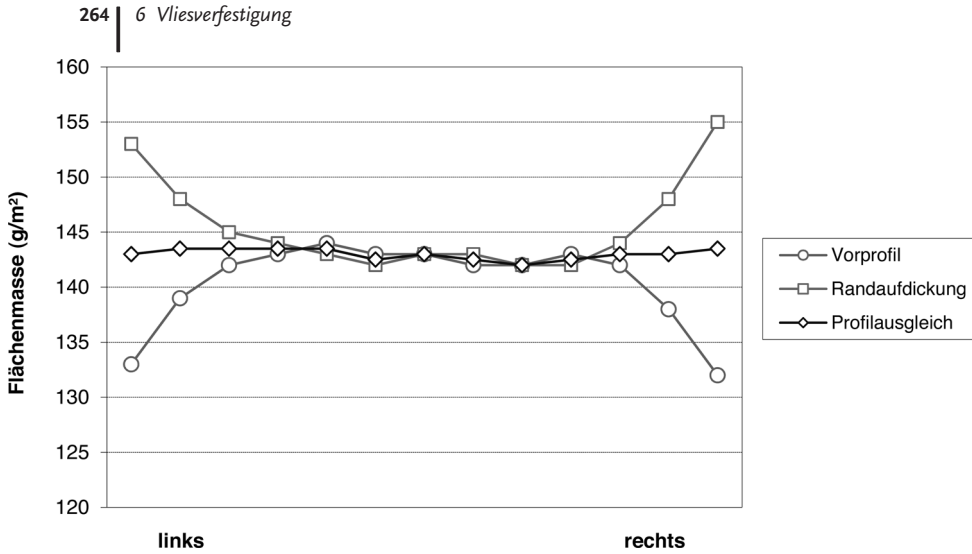


Abb. 6.5 Vliesquerprofile: Vorprofil, Randaufdickung, Profilausgleich

maschine. Die Randaufdickung des Vlieses in der Nadelzone gleicht dann das Querprofil des Vlieses wieder aus (s. Abb. 6.5).

Der wechselnde Nadeleingriff und der kontinuierliche Abzug bei konventionellen Nadelmaschinen sind genauer zu betrachten. Die Haltekräfte während des Nadeleingriffs stoppen den kontinuierlichen Vliestransport in der Nadelzone. Der Abzug verstreckt dabei das Vlies zwischen letzter Nadelreihe und Klemmspalt der Abzugswalzen. Sind die Nadeln außer Eingriff, verlagert sich die Vliesverstreckung überwiegend in den unverfestigten Teil des Vlieses vor der ersten Nadelreihe. Die pulsierenden Zugspannungen im Vlies erzeugen Dehnungskonzentrationen an Dünnstellen, die damit überproportional zur Vlieslänge beitragen und noch dünner werden, während Dickstellen im Längsprofil ihre Stärke nahezu beibehalten. Die Ungleichmäßigkeit der Flächenmassenverteilung nimmt durch Verzüge also zu.

Verweildauer Die Kinematik des Nadeleingriffs ist bedeutsam für produktivitäts- und qualitätsrelevante Einflüsse beim Vernadeln. Es ist die Dauer des Nadeleingriffs während eines Doppelhubzyklus bei kontinuierlich wirkendem Abzug des Auslaufwalzenpaars, die die erhebliche Verzerrung der Vliesebene bewirkt. Die Verweildauer der Nadeln im Vliesmaterial beginnt, wenn die Nadelspitze in die Oberfläche des Vlieses eindringt, und endet, wenn sie die Vliesoberseite wieder verlässt. Im Zusammenhang ist es deshalb wichtig, die Einflussgrößen auf die Verweildauer der Nadel im Vlies zu kennen. Plausibel ist, dass mit zunehmender Einstichtiefe und größerer Vliesdicke, die vom Niederhalterabstand adaptiert werden muss, die Nadeleingriffszeit innerhalb des Doppelhubzyklus zunimmt. Große Relevanz hat aber auch der Hub H des Kurbeltriebs selbst, da bei gegebenen Werten von Einstichtiefe und Niederhalterabstand die Phase des Nadeleingriffs zwischen Einstichbeginn und -ende umso größer wird, je kürzer der fixe Hub der Maschine ist (Abb. 6.6).

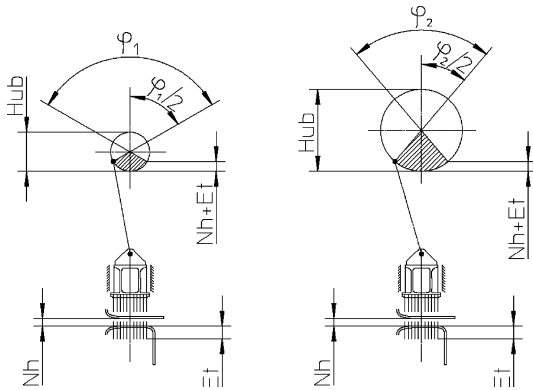


Abb. 6.6 Verweildauer pro Hub

Die Verweildauer pro Hub wird anhand der Exzentrizität der Kurbelwelle r , des Niederhalterabstands N_h und der Einstichtiefe E_t errechnet.

$$\phi = 2 \cdot \arccos\left(1 - \frac{N_h + E_t}{r}\right) \quad (6.10)$$

Diese relative Verweildauer ϕ ist also eine teils durch die Konstruktion der Nademaschine (Hub $H = 2r$) festgelegte, teils durch Veränderung der Vernadelungsparameter Einstichtiefe und Niederhalterabstand beeinflussbare Größe. Das Maß für die relative Verweildauer der Nadeln im Vlies kann als Prozentwert des gesamten Hub- bzw. Drehzyklus von 360° ausgedrückt werden. Die tatsächliche Eingriffszeit kann man dann, abhängig von der Hubfrequenz, auch berechnen und damit die Höhe der nötigen Beschleunigung der Vliesmasse in der Freihubphase ohne Nadeleingriff bestimmen.

$$t_N = \frac{1}{n} \cdot \frac{\phi}{2\pi} \cdot 60 \quad (6.11)$$

- n – Hubfrequenz [min^{-1}]
- t_N – Nadeleingriffszeit [s]

Der Hub bestimmt aber auch die dynamischen Massenkräfte in der Maschine und wird umso kürzer gewählt, je höher die Hubfrequenz sein soll. Diese legt dann zusammen mit dem Vorschub pro Hub die Liefergeschwindigkeit fest.

$$v_2 = n \cdot a \quad (6.12)$$

- a – Vorschub pro Hub [cm]
- v_2 – Liefergeschwindigkeit des Vlieses [cm/min]

Der Hub ist also indirekt produktivitätsbestimmend. Hier gibt es jedoch einen gegensätzlichen Einfluss, weil der kürzere Hub mit seiner längeren relativen Verweildauer der Nadeln im Vlies den Materialdurchlauf in der Nadelzone behindert. Der größere Verzug als Folge verschlechtert wiederum die Vliesgleichmäßigkeit.

Mit zunehmender Hubfrequenz sind bei den dann kürzeren Phasen ohne Nadeleingriff ϕ_0 große Beschleunigungen der Vliesmasse nötig, um überhaupt die Nadelzonenpassage bewältigen zu können. Dies gelingt nur deshalb, weil während des Nadeleingriffs das kontinuierlich laufende Abzugswalzenpaar das Vlies elastisch so vorspannt, dass in der Freihubphase $\phi_0 = 2\pi - \phi$ die Vliesmasse in der Transportzone zwischen Zuführ- und Abzugswalzenpaar durch ihre gespeicherte Zugspannungsenergie zum Auslauf geschnellt wird. Insofern ist auch die Hubfrequenz ausschlaggebend für die Größe der einzustellenden Differenz zwischen Abzugs- und Zuführgeschwindigkeit. Ähnliches gilt für eine Zunahme des Vorschubs pro Hub, wo ebenfalls eine Verzugserhöhung zur Steigerung der Beschleunigung einhergehen muss.

Die Minimierung der Dimensionsänderungen und damit der Flächenänderung ΔA in der Vliesebene ist wegen ihrer Bedeutung für die Gleichmäßigkeit der Flächenmasse an jeder Stelle des Prozesses eine wichtige Aufgabe. Die Größe der Flächenänderung hängt zusammengefasst u. a. ab von Vliesmasse, Faserorientierung, Verzug sowie von Hubfrequenz, Einstichdichte bzw. Vorschub pro Hub, Hub, Einstichtiefe und Niederhalterabstand. Zwischen der Änderung der Fläche und der Vliesmasse besteht außerdem eine Wechselwirkung. Eine geringere Flächenmasse mindert nämlich die Vliesfestigkeit, was insbesondere bei konstanter Niederhalterstellung wiederum die Zunahme des Verzugs begünstigt.

Auch zur Festlegung der Produktionsdaten einer Vliesbildungs- und Verfestigungsanlage sind natürlich die Dimensionsänderungen in Form von Verzügen und Einsprünge zu beachten, um so Aufschluss über die Änderungen der Flächenmasse und der Durchlaufgeschwindigkeit zu gewinnen. Wenn z. B. prozentuale Änderungen der Länge und Breite des Vlieses bekannt sind, kann daraus die prozentuale Änderung der Vliesfläche bestimmt werden. Damit ist es dann auch einfach möglich, die veränderte Flächenmasse zu errechnen, da ja Massenstromkonstanz zugrunde gelegt wurde. Für die Bestimmung der prozentualen Flächenänderung und Flächenmasse gelten die Gleichungen 6.13 und 6.14:

$$\Delta A = \Delta L + \Delta Q + \frac{\Delta L \cdot \Delta Q}{100} [\%] \quad (6.13)$$

- ΔL – prozentuale Maßänderung in Längsrichtung
- ΔQ – prozentuale Maßänderung in Querrichtung
- ΔA – prozentuale Flächenänderung

$$m_{A_2} = m_{A_1} \left(\frac{100}{\Delta A + 100} \right) \quad (6.14)$$

m_{A_2} = Flächenmasse nach der Vernadelung

m_{A_1} = Flächenmasse vor der Vernadelung

Sind die absoluten Längen- und Breitenveränderungen durch Messung bekannt, lassen sich daraus noch direkter die Flächenmassenänderungen ermitteln:

$$A_2 = A_1 \frac{l_2}{l_1} \cdot \frac{b_2}{b_1} \quad (6.15)$$

$$m_{A_2} = m_{A_1} \frac{A_1}{A_2} \quad (6.16)$$

A_2 – Fläche nach der Vernadelung

A_1 – Fläche vor der Vernadelung

l_2 – Länge nach der Vernadelung

l_1 – Länge vor der Vernadelung

b_2 – Breite nach der Vernadelung

b_1 – Breite vor der Vernadelung

Die Dimensionsänderungen der Vliesfläche sind nicht nur Grundlage zur Berechnung der Veränderungen in der Flächenmasse, sondern haben gleichzeitig auch Einfluss auf die Faserorientierung und damit auf das Festigkeitsverhalten in Längs- und Querrichtung.

6.1.2.5 Einstichdichte

Eine abgeleitete Einflussgröße von zentraler Bedeutung ist die sogenannte Einstichdichte, die sehr weitgehend zahlreiche Qualitätsmerkmale des Nadelvliesstoffs mitbestimmt wie z. B. Dicke, Rohdichte, Luftdurchlässigkeit, Festigkeit und Dehnungsverhalten. Die Einstichdichte ist die Anzahl der Einstiche pro Flächeneinheit des Vlieses und wird berechnet aus den Parametern Hubfrequenz, Nadelanzahl über dem Durchlaufweg der Vliesfläche und Durchlaufgeschwindigkeit. Die Einstichdichte ist proportional zur Hubfrequenz und Nadelanzahl und umgekehrt proportional zur Durchlaufgeschwindigkeit. Die Nadelanzahl wird als spezifische Nadelanzahl N_a pro cm Arbeitsbreite der Nadelmaschine angegeben, um die Anzahl der Einstiche pro cm^2 zu errechnen.

$$E_d = \frac{N_a \cdot n}{v} \quad (6.17)$$

E_d – Einstichdichte [$1/\text{cm}^2$]

N_a – spezifische Nadelanzahl [$1/\text{cm}$]

n – Hubfrequenz [$1/\text{min}$]

v – Durchlaufgeschwindigkeit [cm/min]

Die Formel lässt sich dadurch erklären, dass die Anzahl der Einstiche pro Flächeneinheit beim Vliesdurchlauf abhängt von der Größe der sogenannten Vorschubfläche A_v . Diese gedachte Fläche kann man z. B. annehmen mit 1 cm Breite in Arbeitsbreitenrichtung und einer Länge, die dem sogenannten Vorschub pro Hub in Durchlaufrichtung entspricht (Abb. 6.7).

Dieser Vorschub pro Hub ist definiert als Durchlaufgeschwindigkeit des Vlieses, dividiert durch die Hubfrequenz.

$$a_v = \frac{v}{n} \quad (6.18)$$

- a_v – Vorschub/Hub
- v – Durchlaufgeschwindigkeit [cm/min]
- n – Hubfrequenz Nadelbalken [1/min]

Damit ergibt sich

$$E_d = \frac{N_a}{a_v} \quad (6.19)$$

Bei jedem Hub des Nadelbalkens wird das Vlies in der Nadelzone um den Betrag des Vorschubs pro Hub in Laufrichtung vorgeschoben. Die Vorschubfläche wandert so unter den Nadeln hindurch, während alle Nadeln, die über ihrem Weg angeordnet sind, sukzessive in sie hineinstecken. Somit errechnet sich die Einstichdichte aus der Anzahl der Nadeln eines 1 cm breiten Nadelfeldes (spezifische Nadelanzahl) dividiert durch den Vorschub pro Hub. Je größer also die spezifische Nadelanzahl und je kleiner der Vorschub pro Hub, umso größer wird die Einstichdichte.

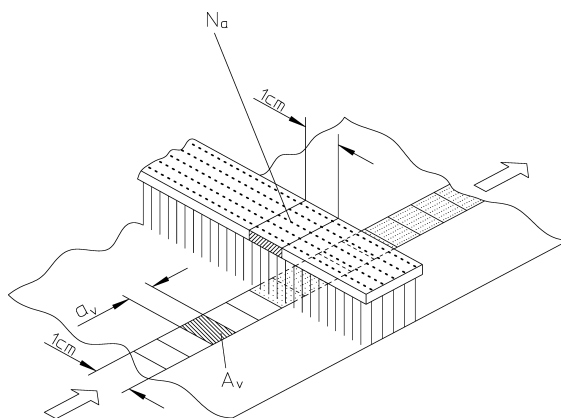


Abb. 6.7 Spezifische Nadelanzahl N_a und Vorschubfläche A_v

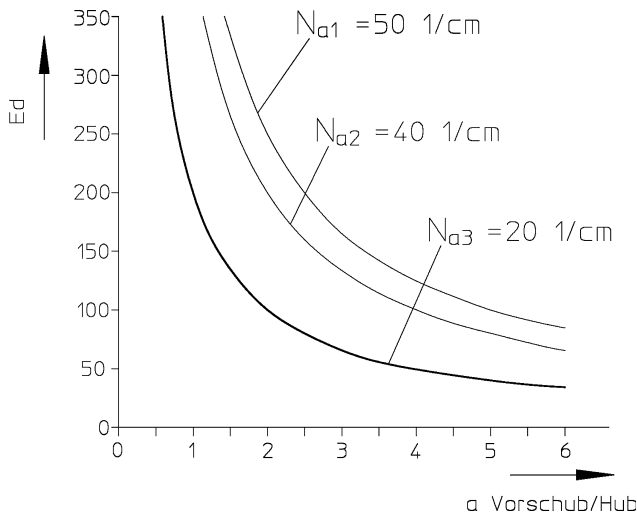


Abb. 6.8 Einstichdichte und Vorschub

Beispiel 2-Brett-Nadelmaschine:

- $N_a = 2 \times 4500 \text{ Nadeln/m Arbeitsbreite}$
- $n = 1000 \text{ H\u00fcbe/min.}$
- $v = 10 \text{ m/min.}$

$$E_d = \frac{90 \text{ cm}^{-1} \cdot 1000 \text{ min}^{-1}}{1000 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}} = 90 \text{ cm}^{-2}$$

Variiert man den Vorschub/Hub, zeigt sich in der Kurve der damit einhergehenden Einstichdichten\u00e4nderung der hyperbolische Zusammenhang (Abb. 6.8).

Der Vorschub/Hub nimmt w\u00e4hrend des Vlieslaufs durch die Transport- und Nadelzone zu, weil die Durchlaufgeschwindigkeit wegen der L\u00e4ngenzunahme des Vlieses w\u00e4chst (Verzug). Grunds\u00e4tzlich nimmt man an, dass die Geschwindigkeit eines Vliesfl\u00e4chenmoduls w\u00e4hrend des Durchlaufs zwischen den Klemmstellen von Zuf\u00fchr- und Abzugswalzenpaar (Transportzone) eine degressive Zunahme erf\u00e4hrt. Bei einer linearen Zunahme der Durchlaufgeschwindigkeit k\u00f6nnte man einfach mit der mittleren Durchlaufgeschwindigkeit die Einstichdichte in Abh\u00e4ngigkeit vom mittleren Vorschub/Hub errechnen. Dies ist f\u00fcr praktische Erfordernisse auch eine ausreichende Ann\u00e4herung an die tats\u00e4chlichen Verh\u00e4ltnisse.

Die nominelle Einstichdichte aus dem arithmetischen Zusammenhang der Gleichung 6.17 ist nicht immer ein hinreichendes Ma\u00df f\u00fcr die tats\u00e4chliche Anzahl getrennt positionierter Faserb\u00fcschel, die die Verdichtung der Vliesstoffmasse bewirken. Durch Vorschubungenauigkeiten oder die Wahl ungeeigneter Vorsch\u00fcbe ergeben sich lokale Einstichkonzentrationen in der Vliesfl\u00e4che oder sogar, abh\u00e4ngig von Nadelbild und Dimensions\u00e4nderung, Mehrfachstiche in dasselbe

Einstichloch, sodass eine Minderung der Vernadelungseffizienz eintritt und gleichzeitig unschöne Oberflächenmarkierungen entstehen.

6.1.3

Vlieszufuhr und Vorvernadelung

Die beschriebenen Grundlagen des Vernadelns haben Gültigkeit für alle Vernadelungsarten. Wird eine Nadelmaschine direkt nach der Vliesbildung eingesetzt, um das noch völlig unverfestigte Vlies zu vernadeln und zu verdichten, spricht man vom Vornadeln. Darauf folgende Vernadelungsstufen werden als Nach- oder Endvernadelung bezeichnet. Für die Schwierigkeit, ein voluminöses Vliespaket großer Dicke und Weichheit dem relativ engen Zwischenraum zwischen Stichplatte und Niederhalter verzugsarm zuzuführen, gibt es verschiedene Lösungsvarianten:

1) Zuführsystem CBF (Compressive Batt Feeder)

Dieses universell einsetzbare Zuführsystem wurde von Hunter, USA, erfunden und Anfang der 80er Jahre an Dilo exklusiv lizenziert, wo man es weiterentwickelt hat. Mittlerweile haben es die meisten Nadelmaschinenhersteller im Programm. Die Hauptkomponenten der Konstruktion sind das untere Grundband, das obere Vorverdichtungsband und das Fingerwalzenpaar. Diese Zuführwalzen mit Klemmspalt zum Vliesantrieb enthalten in gleichmäßigen Abständen über die Arbeitsbreite verteilt eine Reihe von Kunststoffingern, die eine wichtige Funktion übernehmen. Das Vlies wird zunächst durch die schräg laufenden Bänder vorverdichtet und an das Zuführwalzenpaar übertragen. Der Zwickelspalt zwischen Band und Fingerwalze jeweils oben und unten kann durch eine sogenannte Transferwalze überbrückt werden, die das Vlies weitertransportiert und verhindert, dass das Vliespaket nach dem Verlassen der Bänder den Zwickelspalt elastisch füllt (Abb. 6.9). Dies hätte nämlich zur Folge, dass schneller laufende Zuführwalzen das Vlies aus dem Zwickelspalt wieder herausziehen müssten. Man will aber aus bekannten Gründen Verzüge auf jeden Fall minimieren.

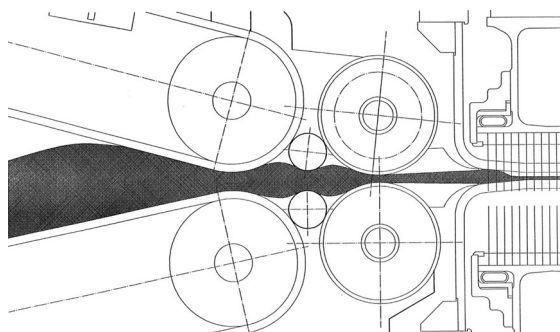


Abb. 6.9 Vlieszuführsystem CBF-Transfer

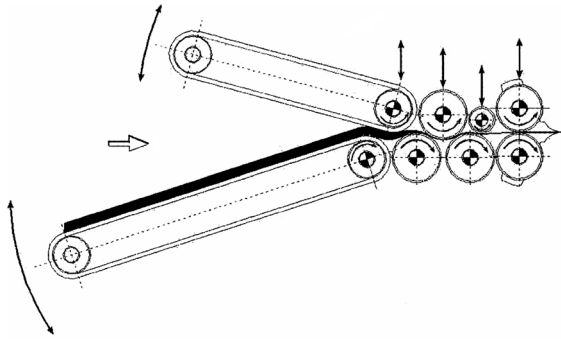


Abb. 6.10 Zuführsystem DBF

Sobald die Fingerwalzen mit ihrer strukturierten Oberfläche das Vlies form- und reibschlüssig erfassen, wird es, ausgehend von der Klemmlinie des Walzenpaares, komprimiert in den Spalt zwischen Oberfingern und Unterfingern geschoben. Die Fingeroberfläche ist glatt, sodass die Vliesmasse leicht durch diesen Zuführspalt gleitet und die Nadelzone an der ersten Nadelreihe erreicht. Diese Konstruktion hat die Probleme der Vlieszufuhr weitgehend gelöst und wird deshalb für die meisten Anwendungsfälle als Universalstandardlösung bevorzugt.

2) Zuführsystem DBF

Bei diesem Zuführsystem werden anstelle einer Transferwalze mit kleinem Durchmesser garnierte Druckwalzen eingesetzt. Diese bewirken über die Spitzen des Garniturdrahtes einen Vorverdichtungseffekt, der das Volumen des Vlieses so reduziert, dass Wiedererholung und Dickenzunahme geringer sind, wenn das Vlies den Klemmspalt der Walzen verlässt (Abb. 6.10). Mit diesen garnierten Walzen lassen sich auch gewollte Verzüge kontrolliert in die Vliesebene eintragen, um eine Flächenmassenabnahme und eine teilweise Faserumorientierung zu bewirken (Vliesstrecke).

3) Zuführbandsystem ZBS

In Ausnahmefällen, zum Beispiel bei der Verarbeitung von Mineralfasern, Glasfasern oder auch Abfallfasern, kann ein geschlossenes Bandsystem Vorteile bieten, da der Reinigungsaufwand für die Fingerwalzen entfällt. Nachteile liegen im konstruktiven Aufwand und der Anfälligkeit für Beschädigungen an den dünnen Bändern.

6.1.4

Vernadelungszone

Die Vernadelungszone innerhalb der Transportzone ist definiert als Bereich zwischen erster und letzter Nadelreihe. Das Nadelbrett als Befestigungsträger der Nadeln ist üblicherweise als Leichtbaukonstruktion aus Aluminium hergestellt und mit einer Kunststoffauflage laminiert. Rillen in ihrer Oberseite nehmen die

Nadelkrücke auf. Dies ergibt eine exakte Positionierung der Nadelkanten mit ihren Kerben relativ zur Laufrichtung des Vlieses und verhindert das Drehen der Nadeln. Ein ständiges Drehen würde den Presssitz des Nadelschaftes in der Nadelbrettbohrung lockern.

6.1.4.1 Nadelbild

Die Nadelanzahl in der Nadelmaschine wird üblicherweise pro Meter Arbeitsbreite angegeben. Diese spezifische Nadelanzahl („Nadeldichte“) reicht normalerweise von einigen hundert Nadeln pro Brett und Meter bis zu ca. 8000 Nadeln, in besonderen Fällen sogar bis ca. 20000 Nadeln. Eine häufige Standardstufung erfolgt in Tausenderschritten, jedoch sind auch beliebige Dichten spezifizierbar. Im Gegensatz zu den frühen Nadelanordnungen in Fischgrät-Diagonalen werden heute sogenannte Wirrbilder eingesetzt, die aber allesamt eine Regelmäßigkeit durch eine Reihenanordnung aufweisen. Innerhalb dieser Reihen, die sich quer zur Maschinenlaufrichtung erstrecken, haben die Nadeln einen gleichen Abstand (Teilung) zueinander. Dieser ist wählbar zwischen ca. 3,5 und ca. 35 mm. Der Abstand der Reihen in Laufrichtung muss jedoch innerhalb der Bretttiefe stark variiert werden. Es gilt das Risiko zu mindern, dass ein gewählter Vorschub pro Hub zu einem Rapport wird, der Querstreifen bildet. Möglichst sollen also ganzzahlige Vielfache des Vorschubs pro Hub nicht mit einer Reihenposition innerhalb der Nadelzone zusammentreffen. In Laufrichtung betrachtet soll die Projektion der Nadelreihen einen gleichmäßigen Abstand zwischen den Nadeln quer zur Laufrichtung ergeben.

Durch den variierten Reihenabstand und bei konstanter Teilung innerhalb einer Reihe ändert sich die tatsächliche Nadeldichte im Brett über der Bretttiefe. Die Variation des Vorschubs/Hub ergibt für jedes Nadelbild (Anordnungsschema der Nadeln im Brett) charakteristische Einstichbilder. Manchmal gibt es in weiten Vorschubbereichen mehrfaches Auftreten linearer Einstichbilder als Quer-, Diagonal- oder Längsstreifen. Sogenannte Bilderungen (Einstichmuster) ergeben sich auch durch flächige Einstichhäufungen, z. B. als Schuppen (Abb. 6.11).

Die Nadelanordnungsschemata werden mit Hilfe einer speziellen Software computergestützt entwickelt und optimiert (Abb. 6.12). Dabei können auch die

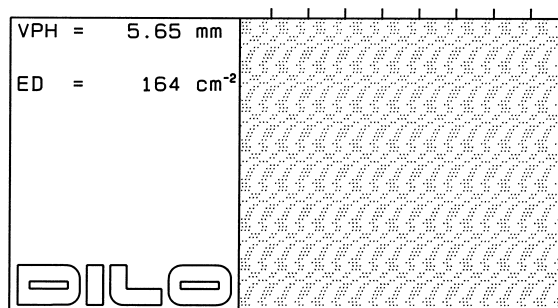


Abb. 6.11 „Einstichbilderung“

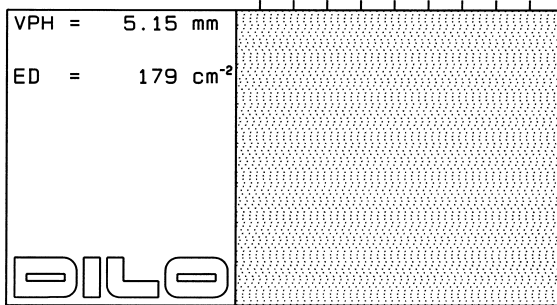


Abb. 6.12 Einstichbild „ISO“

Dimensionsänderungen im Vlies zum Beispiel Längsverzug und Quereinsprung mit ihren Auswirkungen auf die Einstichbildverläufe berücksichtigt werden.

Es bleibt aber eine Tatsache, dass der gesamte Vorschubbereich a mit $0 < a < ca. 20$ mm nur teilweise für gute bis optimale Einstichbilder genutzt werden kann. Zwischen diesen nutzbaren Vorschubbereichen liegen jedoch „schlechte“ Vorschübe, die wegen ihrer starken Oberflächenmarkierungen vermieden werden sollten. Allerdings lassen sich manche Einstichbilder auch zur Musterung der Vliesoberfläche einsetzen (Vorschubmuster). Die obere Grenze des nutzbaren Vorschubbereiches bei geradefühertem Nadelbalken hängt natürlich von der Steifigkeit des Vlieses und der Stabilität der Nadel ab. Die untere Grenze sollte über ca. 3 mm/Hub liegen, da ansonsten eine zu starke Längsstreifigkeit eintritt.

Technologisch bedeutsam ist auch, wie sich beim Durchlauf des Vlieses durch die Nadelzone das Stichbild allmählich füllt und wie man abhängig von Fasermaterial, Feinheit, Stapellänge und Kerbtiefe der Nadel die Faserbeweglichkeit erhalten kann. Es gibt den Effekt der gleichzeitigen Erfassung von Fasern durch mehrere Nadeln, wodurch die Fasermobilität und Verfestigungseffizienz gemindert wird.

Die Nadeldichte ist bei gegebener Einstichdichte und Durchlaufgeschwindigkeit auch festzulegen im Hinblick auf die davon abhängige Hubfrequenz.

Praktisch für alle Zwecke sind Nadeldichten verfügbar, um optimale Ergebnisse zu erzielen. Über die Nadelbrettbreite (Erstreckung in Materialaufrichtung) und bei einer geforderten Nadelanzahl auf dem Brett ist eine technologisch optimierte Nadeldichte wählbar. Nadelbrettbreiten reichen von ca. 90 mm bis 350 mm und im Ausnahmefall auch darüber hinaus.

Typische Konstruktionen für die Vorvernadelung sahen früher lediglich ein schmales Nadelbrett vor, um Verzüge zu minimieren. Zusammen mit modernen Vlieszuführsystemen können Nadelmaschinen mit mehreren, auch breiten Nadelzonen, bestehend aus mehreren breiten Brettern, zur beidseitigen Vor- und Fertigvernadelung beschickt werden (Universalnadelmaschine).

6.1.5

Vliesabzug

An die Nadelzone schließt sich das Vliesabzugssystem meist direkt an, üblicherweise gebildet aus einem Walzenpaar mit Klemmspalt, der sich pneumatisch der Vliesdicke anpasst. Hauptsächlich gibt es das System der Abzugswalze mit Einzelantrieb und oberer, nicht angetriebener Druckwalze. Die Oberflächenstruktur der Walzengarnitur und der Druck im Klemmspalt erhöhen die Traktion. Eine größere Entfernung zwischen Klemmspalt und letzter Nadelreihe vergrößert die Nachgiebigkeit des dazwischen gespannt laufenden Vliesstücks. Der intermittierende Nadeleingriff stört dann weniger den Vliestransport. Abzugssysteme ohne Klemmwalze beruhen auf dem Prinzip der Umschlingungsreibung. Abwandlungen haben einen Bewegungsverlauf, der das Vlies nach der Nadelzone zunächst senkrecht nach unten führt, quasi ein „Labyrinth“ bildet, sodass der Vernadelungslärm an der Auslaufseite wirksam durch Schalldämmplatten reduziert werden kann. Für eine bessere Zugänglichkeit zur Nadelzone, zu Stichplatte und Niederhalter sind Abzugssysteme in Produktionslaufrichtung abfahrbar und manchmal Träger des Absaugsystems zur Reinigung der Nadelzone.

6.1.5.1 Positiver Vliestransport

Besonders beim Vornadeln stören Verzug und Quereinsprung die Vliesgleichmäßigkeit. Konstruktiver Aufwand ist deshalb notwendig, um das weiche Vlies innerhalb der Transport- und Nadelzone aktiv in Durchlaufrichtung anzutreiben. Dimensionsänderungen werden dadurch erheblich gemindert, die Gleichmäßigkeit der Flächenmassenverteilung besser erhalten.

Zylindernadelmaschine

Asselin hat dafür eine Maschine entwickelt mit zwei angetriebenen, perforierten Walzen, die das Vlies verdichten und transportieren. Innerhalb der zwei Walzen

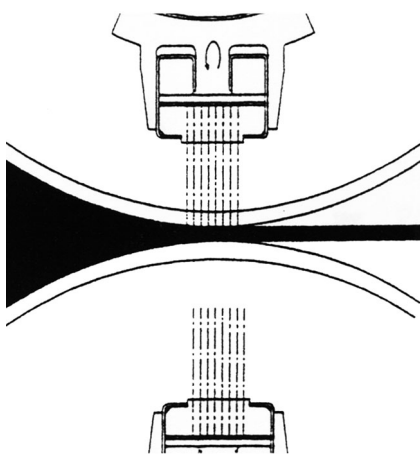


Abb. 6.13 Zylindernadelmaschine [12]

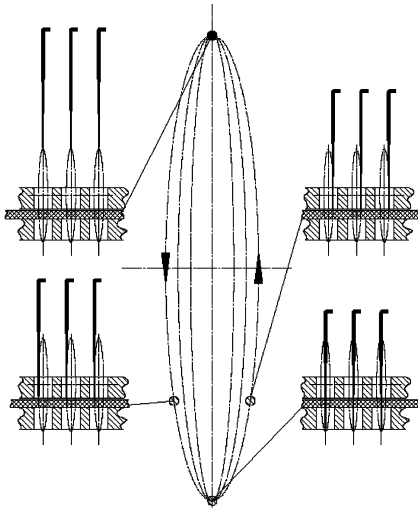


Abb. 6.14 Elliptische Nadelbewegung

sind jeweils schmale Vernadelungseinheiten untergebracht, die eine Bewegung in vertikaler und horizontaler Richtung ausführen (Abb. 6.13). Die Nadeln treffen dabei synchronisiert mit der Drehung der perforierten Walzen die jeweiligen Bohrungen und durchstechen das Vlies im weitgehend komprimierten Zustand. Der Vorschub pro Hub ist dadurch fix, die Einstichdichte festgelegt. Die Anzahl von Nadeln, die auf den schmalen Brettern unterzubringen ist, ergibt eine relativ niedrige Einstichdichte. Es werden deshalb bevorzugt gröbere Nadeln eingesetzt, um einen nachhaltigen Verdichtungseffekt zu bewirken.

Hyperpunch-Nadelmaschine

Mit der Dilo *Hyperpunch*-Technik wird der Nadelbalken ebenfalls vertikal und horizontal auf einer elliptischen Bahn bewegt (Abb. 6.14). Je nach Maschinen-

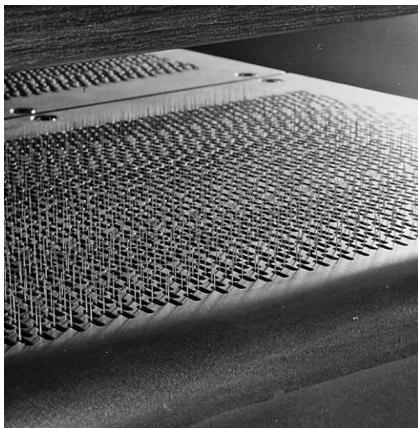


Abb. 6.15 Stichplatte für elliptische Vernadelung

Vlieslänge in Abhängigkeit vom Vorschub

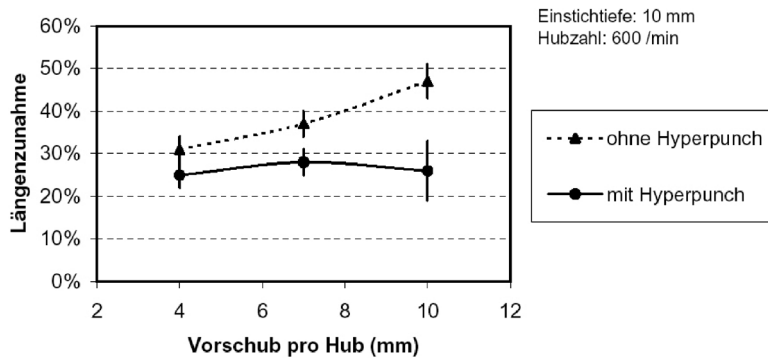


Abb. 6.16 Verzug und Vorschub pro Hub [3]

ausführung ist der Horizontalhub entweder fix oder stufenlos von null bis zum Maximum veränderbar. Niederhalter und Stichplatten einer *Hyperpunch*-Maschine sind zwar höhenverstellbar, sonst aber fest positioniert und verfügen deshalb anstelle von Rundbohrungen über längs verlaufende Schlitzte, die den Nadeln den nötigen Bewegungsraum in Laufrichtung geben (Abb. 6.15).

Durch den Eingriff der Nadeln wird das Vlies in der Nadelzone angetrieben und weitertransportiert. Sind die Nadeln außer Eingriff, übernehmen den Vliestransport das Zuführ- und Abzugswalzenpaar. Mit dieser Vernadelungstechnik lassen sich Verzüge und Einsprünge minimieren. Gleichzeitig ist die Einstichdichte in weiten Grenzen variierbar, da der Vorschub pro Hub auch größer als der eingestellte Horizontalhub der Nadeln sein kann.

Vlieslänge in Abhängigkeit von der Hubzahl

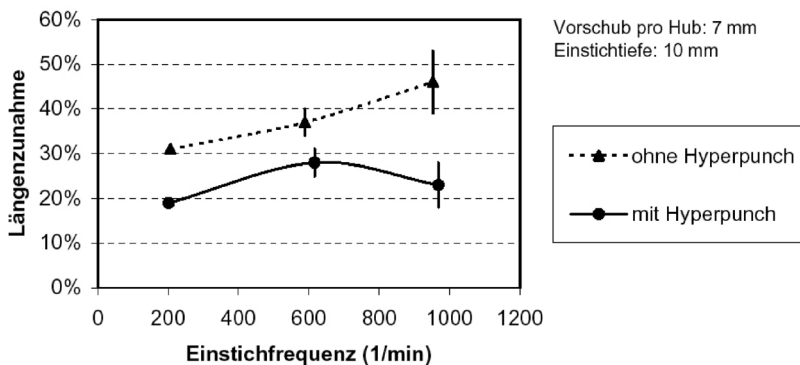


Abb. 6.17 Verzug und Hubfrequenz [3]

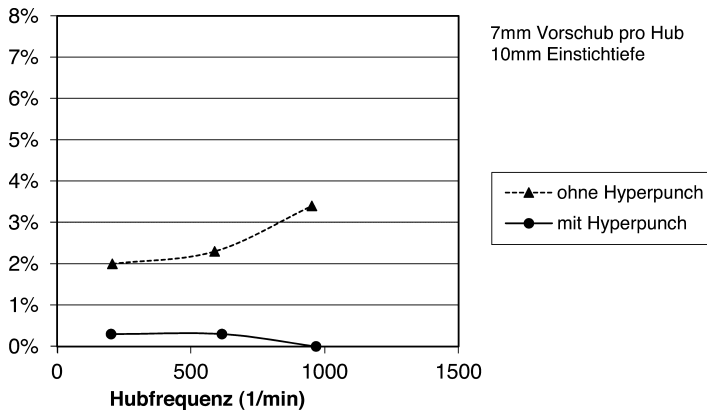


Abb. 6.18 Quereinsprung und Hubfrequenz [3]

Elliptisches Vernadeln reduziert die Dimensionsänderungen erheblich [3] (Abb. 6.16). Abhängig von den Variablen Flächenmasse (Niederhalterabstand) und Einstichtiefe, Vorschub pro Hub und Hubfrequenz sowie Vernadelungsart zeigen sich bei Längenzunahme und Quereinsprung große Unterschiede zwischen gerader und elliptischer Nadelbalkenkinematik.

Bei gerader Nadelbewegung erhöht ein steigender Vorschub die Längenzunahme wegen der Verweildauer der Nadel und durch den kontinuierlichen Vliesabzug.

Eine höhere Hubfrequenz zeigt die gleiche Wirkung, da die Zunahme der Vliesbeschleunigung nur durch eine höhere Vliesspannung (Verzug) möglich ist (Abb. 6.17).

Bei elliptischer Vernadelung sind die Dimensionsänderungen geringer und reagieren auf die Variablen Vorschub und Hubfrequenz indifferent.

Eine größere Vliesmasse besitzt eine größere Festigkeit und Dicke. Der dazu angepasste, größere Niederhalterabstand erhöht die Verweildauer der Nadel. So

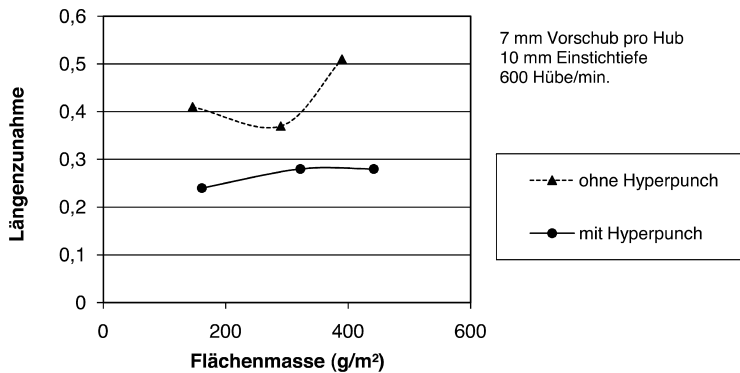


Abb. 6.19 Verzug abhängig von der Zuführ-Flächenmasse [3]

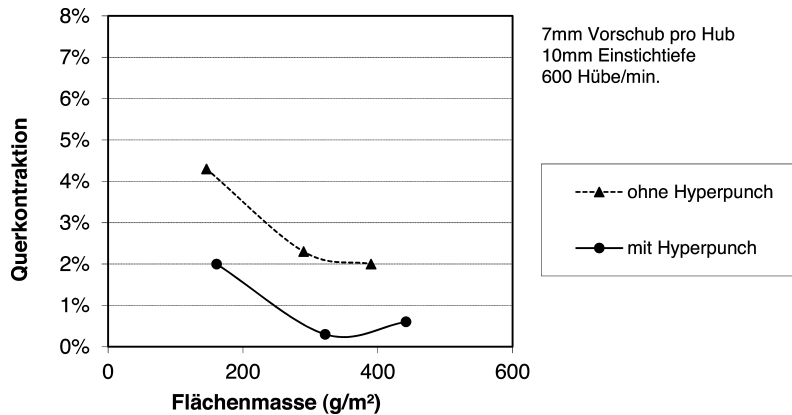


Abb. 6.20 Quereinsprung und Flächenmasse [3]

sind bei konventioneller Vernadelung eine zunehmende Längung und eine abnehmende Querkontraktion vielleicht erklärbar.

Auch eine Einstichtiefenzunahme erhöht die Verweildauer, was sich bei gerader Kinematik in größeren und bei elliptischer Kinematik in abnehmenden Verzügen niederschlägt.

Vernadeln auf Bürstenband

Ein weiteres Beispiel für den positiven Vliestransport ist die Vernadelung auf einem laufenden Bürstenband [4]. Das Bürstenband stützt das Vlies gegen die vertikalen Einstichkräfte ab und transportiert es nahezu verzugsfrei durch die Nadelzone. Die Nadeln stoßen Faserschlingen vertikal in die Borstenzwischenräume und fixieren die Vliesebene formschlüssig auf dem Bürstenband. Der Einsatz von Rückholnadeln am Auslauf des Nadelbretts trägt zur Reinigung des

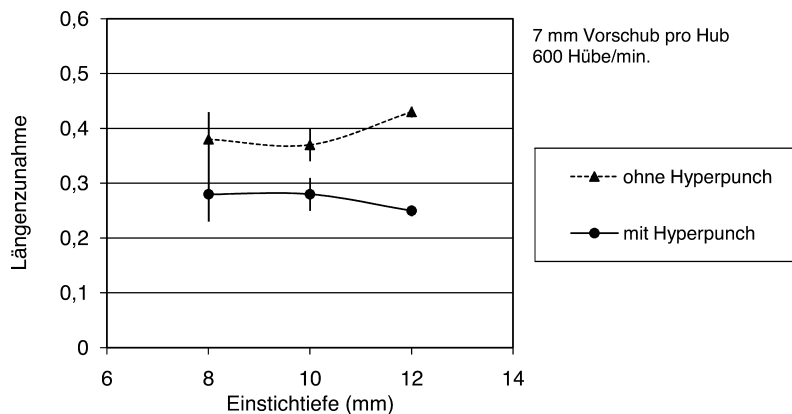


Abb. 6.21 Verzug und Einstichtiefe [3]

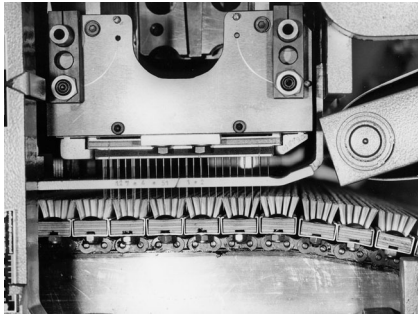


Abb. 6.22 Vernadelungszone „DI-TACK“

Bürstenbandes bei und sorgt gleichzeitig für eine bessere Vernadelung der Unterseite des Vlieses (Abb. 6.22)

6.1.5.2 Nadelvliesverstreckung

Alle Maßnahmen während des Vliestransports zur Nadelmaschine und in der Transportzone selbst sind normalerweise darauf gerichtet, unkontrollierte, schädliche Vliesverzüge zu vermeiden. Es gibt aber Anwendungen, wo Verzüge durch Verstrecken des Vlieses gewollt eingesetzt werden, um das Verhältnis zwischen Längs- und Querfestigkeit gezielt zu beeinflussen. Im Zusammenhang mit der Vliesbildung durch Krempel- und Kreuzlegeranlagen haben sich Vliesstrecken vor der Vernadelung bewährt, die in erster Linie eine Reduktion der Flächenmasse beabsichtigen, aber auch eine gewisse Faserumorientierung bewirken. Systeme jedoch, die das Vlies bewusst erst nach dem Vornadeln verstrecken, sollen über eine Faserumorientierung im kreuzgelegten Vlies das große Missverhältnis zwischen Quer- und Längsfestigkeit ausgleichen (Abb. 6.23).

In manchen Anwendungsfeldern, z. B. für Geotextilien, wird nämlich gleiche Festigkeit in Längs- und Querrichtung gewünscht. Für Bedachungsmaterialien und Beschichtungsträger ist sogar eine höhere Längsfestigkeit vorteilhaft. Für diese Fälle hat sich bewährt, das Vlies zunächst vorzunadeln, um mit den Faserbüscheln (Pfpfropfen) im Einstichkanal „Drehpunkte“ zu schaffen, die eine Faserdrehung zur

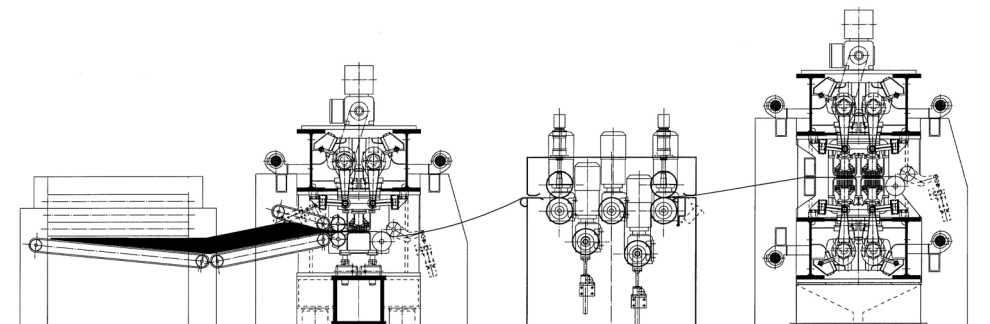


Abb. 6.23 Querschnitt Vernadelungsanlage mit Streckwerk VE

Laufriichtung begünstigen; entweder für die horizontal liegenden Faserenden der ansonsten vertikalen Einstichfaserbüschel, die im Einstichkanal angelenkt sind, oder für die umliegenden horizontalen und quer zur Laufriichtung orientierten Fasern. Werden diese Drehpunkte in Form der Faserpfropfen durch Ver Streckung und Dehnung des Vlieses in seiner Ebene in Längsrichtung voneinander entfernt, tritt der Effekt der Umorientierung ein. Die vorher überwiegend quer liegenden Fasern weisen nun auch Anteile auf, die sich längs erstrecken. Dadurch entsteht der Festigkeitsausgleich zwischen Längs- und Querrichtung (Isotropie). Eine wichtige Voraussetzung dafür ist jedoch ein optimierter Vorvernadelungsgrad. Auf ausreichende Nachgiebigkeit des Vlieses für die Längenzunahme durch das Ver Strecken ist zu achten. Der Umkehrschluss zur Wirkung der Doublage auf die Gleichmäßigkeit von Flächengebilden lässt erwarten, dass die Ver Streckung eine Zunahme der Flächenmassevariation auslöst.

$$CV_2 = CV_1 \sqrt{\frac{m_1}{m_2}} \quad (6.20)$$

- CV_2 – Wert nach der Ver Streckung
- CV_1 – Wert vor der Ver Streckung
- m_2 – Flächenmasse nach der Ver Streckung
- m_1 – Flächenmasse vor der Ver Streckung

Im Idealfall wäre mit Gleichung 6.20 die Veränderung des CV-Wertes zu errechnen. Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass „unkontrollierte“, freie Verzüge in Streckzonen großer Länge (z. B. Tiefe der Nadelzone) eine viel höhere Zunahme der Flächenmassevariation nach Abb. 6.24 ergeben.

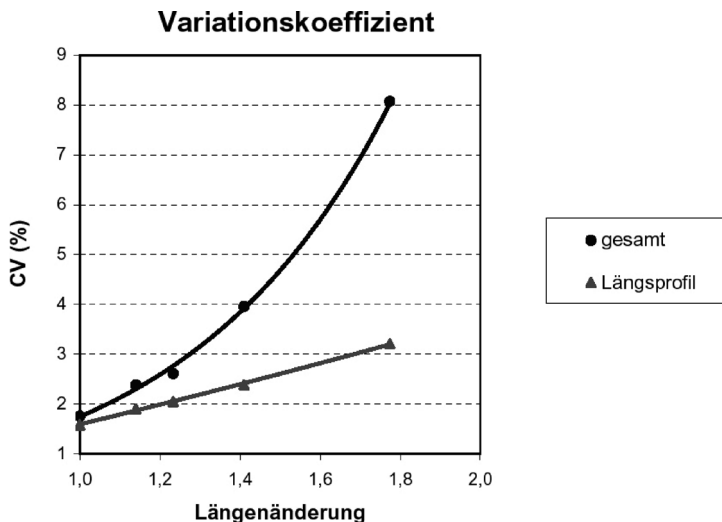


Abb. 6.24 Zunahme des CV-Wertes bei „unkontrollierter“ Ver Streckung

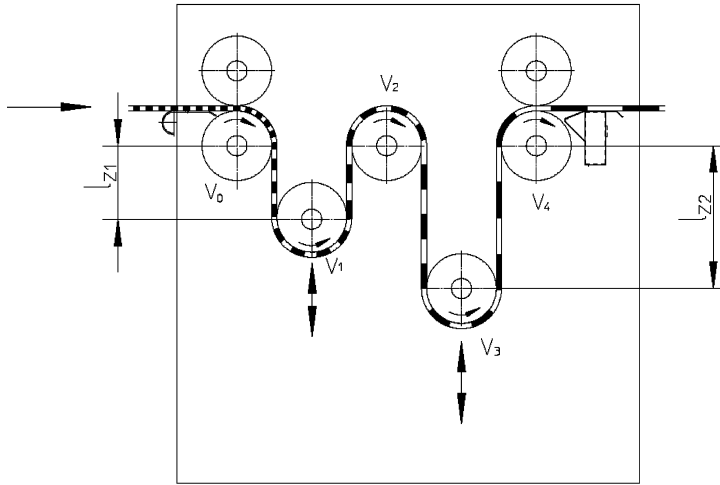


Abb. 6.25 Streckwerk VE: Streckzonen

Die Zunahme der Flächenmassevariation hält man dann in Grenzen, wenn der Verzug in das Vlies möglichst gleichmäßig („kontrolliert“) eingepreßt wird und Dünnstellen nicht überproportional zur Längenzunahme beitragen können. Hieraus ergibt sich die Forderung nach einer möglichst kurzen Streckzonenlänge, die im Verlauf der Verstreckung an die sich ändernde Faserorientierung angepasst werden kann. So schädlich, wie sich eine zu große Streckzonenlänge auf die Vliesgleichmäßigkeit auswirkt, so nachteilig wäre eine zu kurze Streckzonenlänge ($l_z < \text{Stapel-länge } L$), die die Verstreckungskräfte unnötig und ebenfalls schädlich steigern würde. Dilo hat deshalb diejenigen Streckwerke für Nadelvliese Anfang der 80er Jahre entwickelt, die auf Basis des Eitelwein'schen Prinzips der Umschlingungsreibung mit mehreren einstellbaren Streckzonen arbeiten (Abb. 6.25). Die jeweiligen Zonenlängen l_{z_i} und Verzugsfaktoren V_{f_i} können zwischen 0 und Maximum stufenlos verstellt werden. Der Gesamtverstreckungsfaktor V_f ergibt sich aus der Multiplikation der Einzelverzugsfaktoren V_{f_i} und kann je nach Aufgabenstellung und Umorientierungsgrad einen Wert zwischen unverstreckt 1,0 und maximal verstreckt ca. 2,1 annehmen. Übliche „Gesamtstreckfaktoren“ liegen bei 1,6 bis 1,8, um die Festigkeitsunterschiede zwischen Längs- und Querrichtung auszugleichen [5].

$$V_f = V_{f1} \cdot V_{f2} \cdot V_{f3} \cdot V_{f4} = \frac{v_1}{v_0} \cdot \frac{v_2}{v_1} \cdot \frac{v_3}{v_2} \cdot \frac{v_4}{v_3} = \frac{v_4}{v_0} \quad (6.21)$$

- v_i – Umfangsgeschwindigkeit Streckwalze
- $V_{f_{i+1}} = v_{i+1}/v_i$ – Einzelverzugsfaktor („Streckfaktor“)

Normalerweise werden die ersten Streckzonen kürzer und die darauf folgenden länger eingestellt. Damit der beabsichtigte, kontrollierte Längsverzug nicht zu einem großen Quereinsprung führt, sind die Walzenoberflächen mit einer speziellen Ganzstahlgarnitur belegt. Eine kurze Streckzonenlänge erhöht den Einfluss der Breithaltekräfte und mindert den Quereinsprung des Vlieses.

Es lassen sich optimale Verstreckparameter einstellen, die die Veränderung des Festigkeitsverhältnisses bei minimaler Zunahme der Flächenmassevarianz bewirken.

6.1.6

Arten der Nachvernadelung

Nach dem Vorvernadeln kommen häufig weitere Vernadelungsschritte hinzu, um das Vlies sukzessive stärker zu verdichten.

Folgende Varianten sind aufzuführen:

- Einseitige Vernadelung mit einem oder mehreren Nadelbrettern von oben oder unten (Abb. 6.26a).
- Die zweiseitige Vernadelung des Vlieses von oben und unten (Abb. 6.26b). Dies geschieht entweder durch jeweils einseitig nadelnde Maschinen, die nacheinander von oben und unten nadeln oder durch Nadelmaschinen, die innerhalb eines Maschinenrahmens nacheinander sowohl von oben als auch von unten nadeln können („Doppelnadelmaschinen“).
- Beidseitiges Vernadeln (Abb. 6.26c).

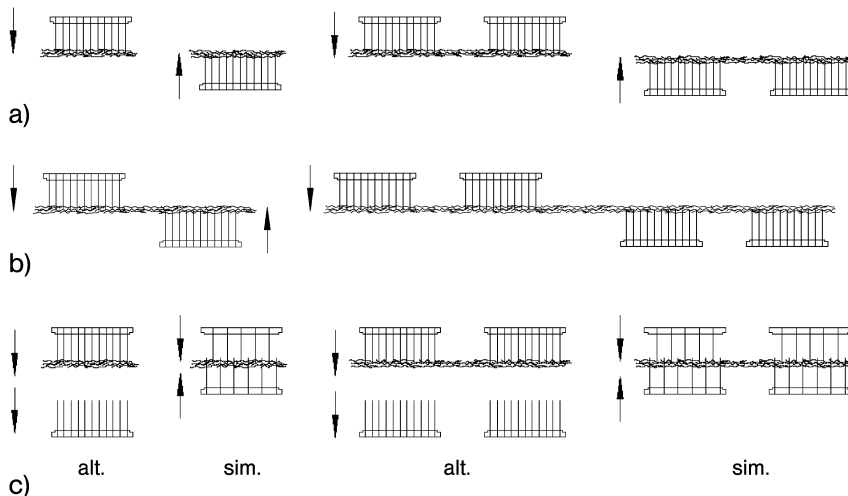


Abb. 6.26 a) Einseitige Vernadelung, b) Zweiseitige Vernadelung, c) Beidseitige Vernadelung alternierend bzw. simultan

Doppelnadelmaschinen mit gegenüberliegenden (übereinander angeordneten) Nadelbrettern nadeln mit je einem Brett von oben und unten oder mit je zwei Brettern von oben und unten. Mit jeweils mehr als zwei Nadelbrettern sind heute keine Konstruktionen mehr üblich.

6.1.6.1 Beidseitig alternierend

Dies bedeutet, dass sich beide Nadelbretter jeweils in die gleiche Richtung im globalen Koordinatensystem bewegen, entweder beide aufwärts oder beide abwärts. Diese Vernadelungsart, beidseitig alternierend, hat sich für die meisten Anwendungen beidseitiger Vernadelung durchgesetzt, um so jeweils die volle Nadeldichte der sich gegenüberliegenden Nadelbretter nutzen zu können.

Das beidseitig alternierende Nadeln erzeugt im Vergleich mit dem zweiseitigen Nadeln aber einen besonderen Vernadelungsablauf. Die Vorschubfläche des Vlieses wird nämlich mit Beginn des Eintritts in die Nadelzone stets abwechselnd durch Nadelreihen des oberen und unteren Brettes weiter verdichtet. So bleibt über eine längere Strecke innerhalb der Nadelzonenpassage die Fasermobilität und Verdichtbarkeit des Vlieses erhalten. Es ist deshalb zu erwarten, dass die beidseitige Vernadelung das Vlies stärker verdichtet als die zweiseitige, wo zunächst eine Seite komplett vor der zweiten Seite vernadelt wird. Das beidseitig alternierende Vernadeln bringt ein identisches Erscheinungsbild beider Oberflächen, während das zweiseitige Vernadeln nacheinander immer unterschiedliche Einstich- und Ausstichseiten ergibt.

Der Erfolg der beidseitigen Vernadelung liegt darüber hinaus an wirtschaftlichen Vorteilen, weil innerhalb eines Maschinenrahmens quasi zwei Nadelmaschinen Platz sparend integriert sind.

6.1.6.2 Beidseitig simultan

Die simultane Vernadelungsart, die bei beidseitig arbeitenden Nadelaggregaten gewählt werden kann, erfordert, dass abwechselnd oben und unten eine gegenüberliegende Nadelreihe in den Brettern herausgelassen wird, um dadurch bei halber Nadeldichte die Nadelbretter gleichzeitig aufeinander zu bewegen zu können, das obere Brett nach unten, das untere Brett nach oben. Eine volle Nadelbestückung hätte natürlich Nadelkollisionen und Nadelbruch zur Folge. Simultan beidseitiges Vernadeln ist zwar weniger verbreitet, aber bei Anwendungen bedeutend, wo man Vliesvolumen erhalten will, wie zum Beispiel für Isolationsmaterialien aus Natur- oder Mineralfasern. Moderne Doppelnadelmaschinen sehen eine schnelle Umschaltbarkeit zwischen alternierender und simultaner Betriebsweise vor.

6.1.6.3 Vernadelungslinie

Neben den Parametern der einzelnen Nadelmaschine sind die Einstellwerte einer gesamten Vernadelungslinie, die aus mehreren hintereinander aufgestellten Nadelmaschinen besteht, zu betrachten (Abb. 6.27). Natürlich kann man eine Nadelmaschine auch mehrfach durchfahren, um eine stufenweise Erhöhung der Einstichdichte, ggf. bei veränderten Hubfrequenzen, Einstichtiefen, Niederhalter-



Abb. 6.27 Vernadelungslinie

stellungen und Verzügen vorzunehmen. Eine solche Betriebsweise dient dann der Flexibilität einer Anlage, wenn diese Nadelmaschine außerhalb der Linie steht, um vorgenedelte Vliese fertig zu nadeln.

In einer Vernadelungslinie werden oft eine einseitig nadelnde Vornadelmaschine und dann jeweils abwechselnd von oben und unten einseitig nadelnde Maschinen kombiniert, um so eine zweiseitige Vernadelung durchzuführen.

6.1.6.4 Vernadeln mehrschichtiger Vliese

Während einschichtige Nadelvliese aus nur einem Fasermaterial oder aus homogenen Mischungen mehrerer Faserkomponenten bestehen, kann man beliebige mehrschichtige Nadelvliesstoffe aus den unterschiedlichsten Materialien kombinieren, um damit wichtige Vlieseigenschaften zu konstruieren. Ein „Sandwich-Aufbau“ aus einzelnen Vlieslagen, oft in Verbindung mit Geweben oder Fadengelegen, wird häufig zur Steigerung der Anwendungsvielfalt genutzt. Oft sind innerhalb der verschiedenen Lagen und Schichten einer Filzkonstruktion sehr unterschiedliche Funktionen zu erfüllen. Meist gibt es eine Nutz- oder Schauseite und eine von der Nutzung und Abnutzung abgewandte Seite. Typische Anwendungen sind Filterstoffe und Papiermaschinenfilze, wo z. B. eine feine Vliesseite zusammengeknüpft wird mit einem Gewebeträger, der große Zugspannungen oder überhaupt starke mechanische Beanspruchungskräfte überträgt.

Bei Mehrschichtvliesen tritt eine Steigerung der Verdichtbarkeit ein, wenn immer wieder Lagen frischen Vlieses mit hoher Faserbeweglichkeit zugeführt werden. Außerdem erhöht der Doublage-Effekt die Gleichmäßigkeit der Flächenmasse.

Anlagentechnisch bedeutet dies, dass z. B. zwei Vliesbildungseinheiten je eine Vlieslage liefern, die getrennt vorvernadelt und dann zusammen nachvernadelt werden. Stationen zur Gewebeabrollung sind zwischen den Vliesbildungseinheiten

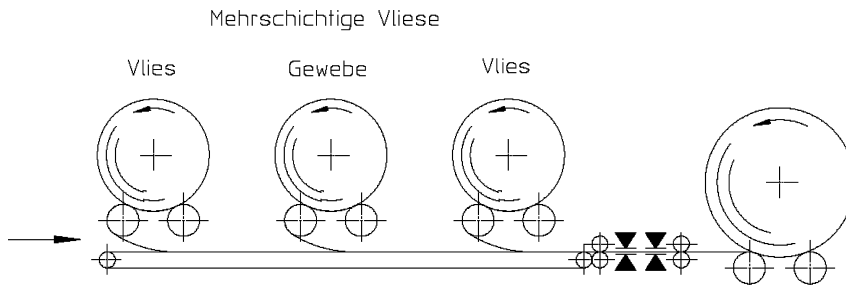


Abb. 6.28 Vernadeln mehrschichtiger Vliese

ten unterzubringen. Zur Erhöhung der Flexibilität können Anlagen jeweils ein Grundvlies vornadeln und dann in getrennten Endvernadelungsstufen über geeignete Abwickelstationen Gewebe- und Vliesrollen zusammennadeln (Abb. 6.28).

6.1.6.5 Hochleistungsvernadelung

Die Grenzen der Einstellparameter der Nadelmaschinen, die die Durchsatzleistung bestimmen, hat man in den letzten Jahrzehnten durch konstruktive Verbesserungen stetig erweitert. Damit wurde ein modernes Hochleistungsverfahren geschaffen, das sich viele Anwendungsfelder erschlossen hat. Zu nennen sind in erster Linie Hubfrequenzen bis in Regionen um 3000 Hübe/Minute, Nadeldichten von mittlerweile bis ca. 20 000 Nadeln/m/Brett und Durchlaufgeschwindigkeiten des Vlieses bis ca. 150 m/Minute. Die Leistungssteigerungen waren insbesondere durch die Forderungen der Spinnvliesindustrie ausgelöst, die für mittlere bis hohe Flächenmassen auf die Vernadelung nicht verzichten kann.

Nadelmaschinenkonstruktion

Die Abb. 6.29 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer klassischen Nadelmaschine mit ihren Funktionselementen. Die Nadelaktion erzeugt wegen des Durchstichwiderstandes Kraftreaktionen, die über den Nadelbalken und die Pleuelstangen auf die Lager der Exzentereinheiten wirken. Dort werden sie von der oberen Rahmentraverse aufgenommen. Der Maschinenrahmen besteht aus oberer und unterer Traverse und den beiden Seitenteilen und ist in sich geschlossen. Die Einstichkräfte, die von der Stichplatte gestützt, auf die untere Rahmentraverse abgetragen werden, heben sich durch Zugkräfte mit den Kraftreaktionen der oberen Traverse in den Seitenteilen des Rahmens gegenseitig auf. Unausgeglichene Restkräfte

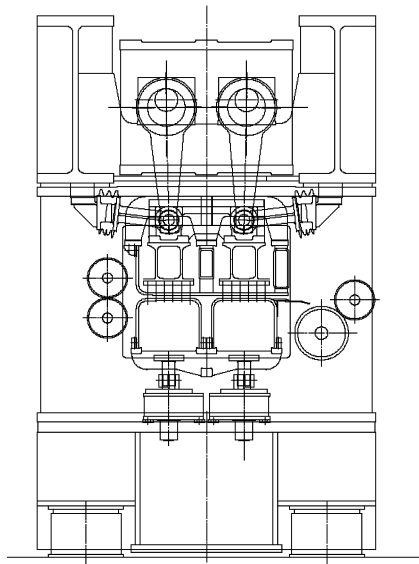


Abb. 6.29 Querschnitt Nadelmaschine

werden durch eine federnde Aufstellung der Maschine zum Boden hin isoliert. Nadelbalken und Nadelbrett in Hochleistungs-nadelmaschinen bestehen z. B. aus Aluminium oder Kohlefaserkompositwerkstoffen, um die bewegten Massen zu reduzieren. Reibungsarme Wälzhebelführungen und die Kühlung der Lagerstellen in den Hauptwellensträngen sind weitere Maßnahmen, um die Hubfrequenzen zu steigern.

Bei hohen Hubfrequenzen wirken zahlreiche zeitveränderliche Kräfte auf die gesamte Maschinenstruktur. Der Nadeleinstichkraftverlauf und die oszillierenden Massenkräfte haben ein breites Frequenzspektrum, das eine hohe Steifigkeit des Maschinenrahmens wie auch aller anderen Bauelemente bedingt. Ein großer Frequenzabstand zwischen schwingungsanregenden Betriebskräften und den Eigenfrequenzen der Maschinenteile ist notwendig. Alle Lager- und Führungsstellen müssen gut gegen das Eindringen von Faserstäuben und gegen das Austreten von Schmierstoff abgedichtet sein. Die Lager sind vorzugsweise dauergeschmiert oder einer automatischen Schmierstoffversorgung angeschlossen.

Auch die Gestaltung der Steuerungs-, Bedien- und Automatisierungstechnik einer modernen Nadelmaschine und der gesamten Anlage hat großen Einfluss auf die Produktivität. Zum Stand der Technik zählen wartungsfreie, drehzahlveränderliche Drehstromantriebe, eine vibrationssichere Sensorik und Verkabelung sowie eine automatische Synchronisierung und Drehzahlregelung. Obligatorisch ist heute eine Computersteuerung zur Bedienerführung über Grafikmenü mit Wartungs- und Fehlermeldungen. Eine Datenbank wird integriert zur Speicherung der Vernadelungsparameter, die bei Wiederholfertigung von gleichen Nadelvliesstoffen über eine Rezepturverwaltung wieder aufgerufen werden können.

Varianten der Nadelbalkenkinematik

Konstanter Vertikalhub (Konventionelle Vernadelung) Kurbelwellen und Reihen von vertikalen Pleuelstangen treiben den Nadelbalken oszillierend auf und ab. Die eindimensionale gerade Bewegung der Nadeln wird durch sogenannte Geradföhrungen des Nadelbalkens realisiert. Dabei haben sich Hebel- und Stangenföhrungen als Standard durchgesetzt und erlauben Hubfrequenzen bis weit über 2000 Hübe/Minute.

Elliptische Vernadelung Wird ein weiterer Wellenstrang ergänzt, dessen horizontal liegende Pleuel gemeinsam mit den vertikalen am Balken beweglich angeschlossen sind, entsteht durch die Überlagerung einer vertikalen mit einer horizontalen Bewegungskomponente entsprechender Phase und gleicher Frequenz eine ebene Nadelbalkenbewegung; ist der Horizontalhub kleiner als der Vertikalhub, wird eine elliptische Bewegung erzeugt. Im Zusammenhang spricht man deshalb auch vom elliptischen Vernadeln [6].

Diese Nadelbalkenkinematik hat sich insbesondere dann bewährt, wenn entweder geringe Dimensionsänderungen beim Vorvernadeln oder hohe Durchlaufgeschwindigkeiten und minimale Dimensionsänderungen bei Endvernadelungsaufgaben anstehen. Der Vorteil liegt darin, dass sich die Nadel während ihres

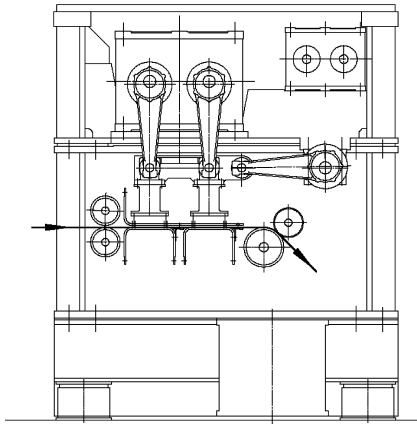
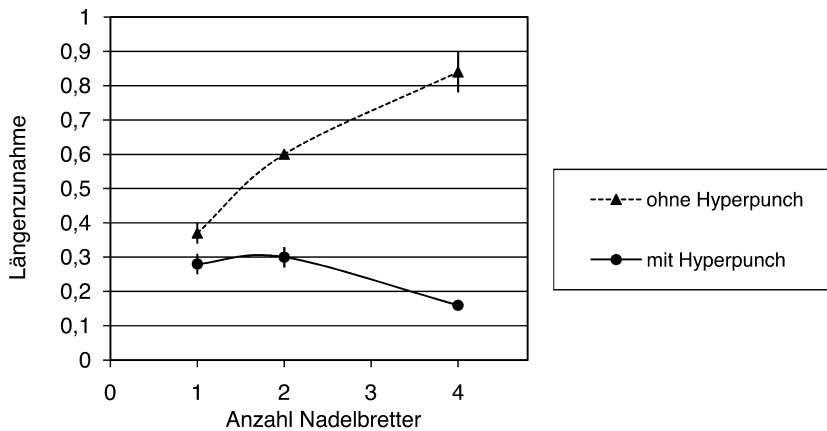


Abb. 6.30 Dilo „Hyperpunch“-Maschine DI-LOOM HSC

vertikalen Einstechens auch horizontal und simultan mit dem Vlies bewegt und den Vliestransport in der Nadelzone nicht mehr nennenswert aufhält. Daraus ergeben sich ein stark reduzierter Längsverzug und demzufolge auch eine geringere Querkontraktion des Vlieses sowie ein besserer Erhalt der Vliesmassengleichmäßigkeit. Horizontale Verzugskräfte auf die Nadeln werden vermindert, sodass sich daraus eine geringere Nadelbruchgefahr ergibt. Der Durchmesser der Einstichlöcher im Vlies wird kleiner mit positiver Auswirkung auf die Optik der Vliesoberfläche (Abb. 6.30).

Der Nadeleingriff hat beim elliptischen Nadeln einen aktiven Anteil an den Antriebskräften zum Transport des Vlieses durch die Nadelzone – insbesondere auch dann, wenn von oben und unten beidseitig alternierend vernadelt wird.



Anzahl Nadelbretter: 1, 2 von oben
 4 beidseitig alternierend

Abb. 6.31 Verzug und Vernadelungsart [3]

Die Unterschiede der Dimensionsänderungen zwischen elliptischer und konventioneller Vernadelung werden besonders deutlich, wenn man die Vernadelungsart variiert (Abb. 6.31).

Bei einseitiger Vernadelung wächst bei konventioneller Vernadelung abhängig von der Brettanzahl der Längsverzug. Der Wechsel zu vier Nadelbrettern mit alternierender, beidseitiger Vernadelung (2 Bretter von oben, 2 Bretter von unten) erhöht den Längsverzug weiter degressiv, während er bei elliptischer Vernadelung absinkt. Dieser Effekt ist erklärbar durch den zusätzlichen Transport, den das Vlies bei elliptischer Vernadelung durch die horizontale Nadelbewegung zweier Vernadelungseinheiten erfährt.

Während eines kompletten einseitigen Einstichzyklus mit einem Verweilanteil im Vlies von ca. einem Drittel (120°) der Gesamtnadelbewegung und folglich einem Freihubanteil von ca. 240° lassen sich mindestens Vorschübe pro Hub erzielen, die dreifach höher als der Horizontalhub sind. Selbst über dieses Maß hinaus lassen sich die Vorschübe pro Hub steigern, allerdings unter Inkaufnahme höherer Verzüge.

Die Nadeln brauchen für ihren horizontalen Bewegungsanteil geschlitzte Stichplatten und Niederhalter. Deshalb sind die Nadeln hintereinander angeordnet.

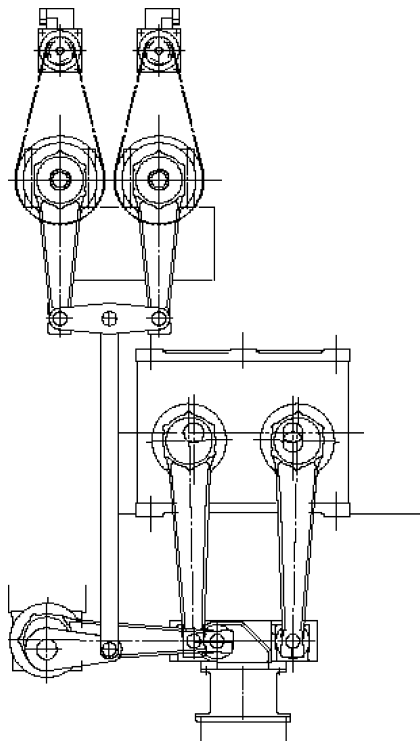


Abb. 6.32 Kinematik Nadelmaschine DI-LOOM HV mit einstellbarem Horizontalhub

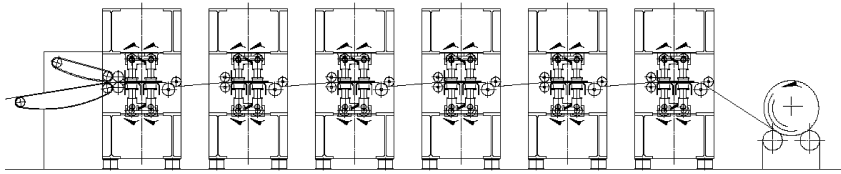


Abb. 6.33 Vernadelungslinie *Hyperlacing*

Ebene Nadelbalkenkinematik – Konstanter Vertikal- und Horizontalhub In Verbindung mit hoher Hubfrequenz von $3000 \text{ }^1/\text{min}$ und großem Horizontalhub von ca. 15mm sind Durchlaufgeschwindigkeiten um 150 m/min erreichbar. Selbstverständlich nimmt die Einstichdichte bei zunehmendem Vorschub pro Hub ab, sodass die höheren Durchlaufgeschwindigkeiten auch Mehrfachanordnungen von Hochleistungsnadelmaschinen erforderlich machen können.

Ebene Nadelbalkenkinematik – Veränderliche Hübe Variable Horizontalhübe werden in erster Linie durch stufenlose Phasenverstellung zwischen Hilfsantriebswellen bzw. durch Phasenverstellung zwischen den Hauptwellen und der Horizontalwelle realisiert. Sie dienen der Anpassung an den gewählten Vorschub/Hub (Einstichdichte). Wegen der geringen Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Vlies und Nadel ist so eine Minimierung der Verzüge bei der Vorvernadelung möglich [7] (Abb. 6.32).

Ebene Nadelbalkenkinematik – Kreisbahnförmige Nadelbalkenbewegung Die Nadelbalkenbewegung erfolgt hier translatorisch auf einer ebenen Kreisbahn bei ständig vertikaler Orientierung der Nadeln (Dilo *Cyclopuncher*) [8]. Dazu sind zwei Kurbelwellen direkt am Nadelbalken ohne Pleuelstangen angeschlossen. Ein elastisches Glied zwischen den Lagerstellen vermeidet die im Maschinenbau gefürchtete Doppelpassung. Die Einfachheit der Konstruktion hat die Kosten pro Vernadelungseinheit gesenkt und schafft so die Voraussetzung für eine wirtschaftliche Anwendung des so genannten *Hyperlacing*-Verfahrens (Intensivvernadelung). Die *Hyperlacing*-Technologie [9] nutzt das Prinzip des Einzelfasertransports (Abb. 6.33). Die Kerbtiefe der Nadel wird dem Faserquerschnitt so angepasst, dass gezielt eine bestimmte Anzahl, vorzugsweise eine Einzelfaser, erfasst wird. Folglich ist für eine gute Fasereinbindung und Vliesverfestigung eine extreme Steigerung der Nadeldichte und der Einstichdichte nötig. In Verbindung mit dem Direkttransport des Vlieses durch den alternierenden oder simultanen Eingriff der Nadeln von beiden Seiten ist bei geringen Verzügen die Herstellung besonders leichter Vliesstoffe aus feinen Fasern möglich für Anwendungen in Hygiene und Medizin. Die *Hyperlacing*-Produkte besitzen einen textilen und weichen Griff, gute Fasereinbindung und hohe Abriebfestigkeit.

6.1.7

Papiermaschinenbespannungen (PMF)

Für Papiermaschinenfilze mit Abmessungen von zum Teil über 60 m Länge, 10 m Breite und 2 kg/m² Flächenmasse gelten höchste Qualitätsanforderungen. Die Gleichmäßigkeit von Flächenmasse und Filzoberfläche und eine hohe Abriebfestigkeit sind wichtige Kriterien. Der Gewebeträger ist oft mehrlagig aufgebaut.

6.1.7.1 PMF-Vorvernadelung

Zunehmend haben sich in den letzten Jahren das Verfahren der Vorvernadelung des Vlieses und ein davon getrennter *Finish*-Vernadelungsprozess zum Mehrschichtaufbau aus Vlies und Gewebe durchgesetzt. Die Vorvernadelung kreuzgelegter Vliese erfolgt bis zu Arbeitsbreiten von nahezu 16 m (Abb. 6.34).

Besondere Anforderungen werden auch an die Gleichmäßigkeit der vorgenedelten Vliese gestellt. Deshalb sind heute zur Minimierung der Verzüge zunehmend Vornadelmaschinen mit elliptischer Nadelbalkenkinematik eingesetzt. Die nur leicht vorgenedelten, weichen Vliese werden gewichtsentlastet aufgewickelt. So kann man Dehnungen und Verzerrungen in der Vliesebene infolge des Auflagedrucks zwischen Vliesrolle und Wickelwalzen minimieren.

6.1.7.2 PMF-Endvernadelung

Die vorgenedelten Vliesrollen werden dann in der Endvernadelungsmaschine wiederum gewichtsentlastet, bei minimalem Auflagedruck abgewickelt und mit einer Gewebeträgerbahn zusammengenadelt.

Ein Spannwagen hält die endlose Gewebebahn unter großer Vorspannung von ca. 50 N/cm wegen ihrer Länge zum Teil in Mehrfachschleifen (Abb. 6.35 und 6.36). Im Umlauf werden dann einige Lagen Vlies aufgenadelt und verfestigt. Anfang und Ende des Vlieses sollen übereinander liegen. Man muss die Enden in einer Übergangszone zur Vliesdickenreduktion manuell so zupfen, dass eine Schäftung

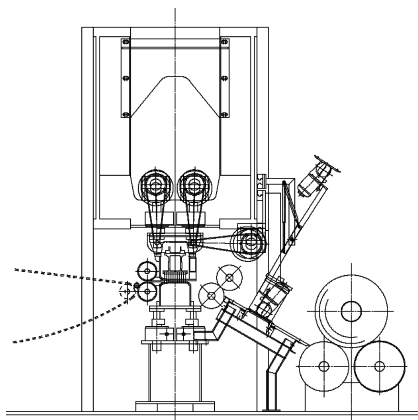


Abb. 6.34 PMF-Vorvernadelung DI-LOOM
OD-I HVSP



Abb. 6.35 Papiermacherfilz-Herstellung, „Endvernadelung“

(„Spleiß“) mit weitgehend gleichmäßiger Dicke und Dichte entsteht. Der Gewebeträger wird zweiseitig mit Vlies beaufschlagt und von außen nach innen wie auch von innen nach außen genadelt. Der so entstehende mehrschichtige, verstärkte Filz muss dann noch in mehreren Umläufen (Passagen) endvernadelt werden, um die

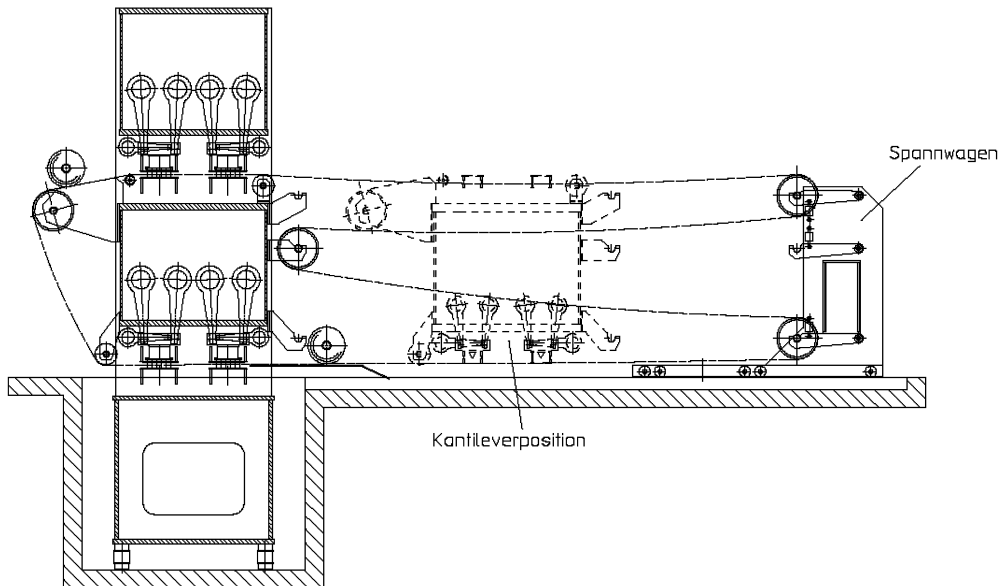


Abb. 6.36 Papiermacherfilz-Maschine, Querschnitt

gewünschte Dichte, Festigkeit und Oberflächengüte zu erzielen. Die Einzelfasern brauchen gegen Abriebskräfte eine gute Einbindung in der Vlies- und Gewebestruktur.

Die *Finish*-Nadelmaschinen für die Papierfilzherstellung haben große Abmessungen mit Arbeitsbreiten bis ca. 15 m, Höhen von ca. 14 m und ein Gesamtgewicht bis ca. 750 t. Es handelt sich um die größten Textilmaschinen überhaupt (Abb. 6.35). Auch für diese wichtige Sparte hat man sowohl die Nadeldichten im Brett wie auch die Hubfrequenzen enorm gesteigert, sodass mittlerweile bis zu ca. 1200 Hübe/Minute verwirklicht wurden. Zur Qualitätssteigerung des Vlieses und zur Produktivitätserhöhung werden heute Papiermacherfilz-Maschinen überwiegend mit elliptischem Nadelbalkenantrieb konfiguriert. So können auch hohe Vorschübe pro Hub gefahren werden, die bei einer Geradföhrung des Nadelbalkens zu ungünstigen Oberflächenrauigkeiten und – wegen des steifen, mehrlagigen Gewebeträgers – zu höherer Nadelbruchgefahr föhren würden. Zum Aufziehen des endlos gemachten oder endlos gewebten Trägers wie auch zur Entnahme des fertigen endlosen Filzes muss sich der geschlossene Maschinenrahmen öföfnen lassen. Zur Filzentnahme fährt der Spannwagen auf die Maschine zu, um so die Filzbahn zu entspannen und sie mithilfe der rückwärts laufenden Antriebswalze auf einen ausklappbaren Tisch zu täfeln. Dann wird die mittlere Traverse entweder aus dem Maschinenrahmen herausgeschwenkt oder komplett translatorisch mit Hilfe des Spannwagens aus der Maschine herausgefahren und einseitig in der Kantilever-Konsole eingehängt. Ein quer laufendes Band unterstötzt das seitliche Abziehen des Filzes. Der Aufzug des neuen Gewebes auf die Mitteltraverse erfolgt mithilfe einer Bekranung und Schlepp-einrichtung über der Kantilever-Position (s. Abb. 6.36).

6.1.7.3 BELTEX-Verfahren

Anstelle vorgenadelter Vliesrollen können auch vorgenadelte, end- und nahtlose Filzschläuche aufgezo-gen werden. Das BELTEX-Verfahren [10] nutzt dazu über-wiegend längsorientierte Flore, die als vier- oder fünf-lagiges Vliesband dem Vernadelungsaggregat zugeföhrt werden (Abb. 6.37). Zwei Spezialwalzen spannen das genadelte Vlies aus und treiben es in Umlauf- und in Abzugsrichtung an. Der so entstehende Filzschlauch wächst aus dem abzugsseitig öföfnen Vernadelungs-

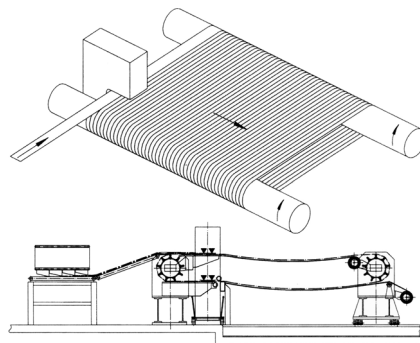


Abb. 6.37 Anlagenprinzip zum Vernadeln von Papiermaschinenbespannungen nach dem BELTEX-Verfahren [10]

aggregat allmählich heraus. Die kontinuierliche Vliesbildung und Vernadelung erzeugt einen spiralförmigen und gewindeförmigen Vliesaufbau. Durch den dauernden Umlauf und die ständige Vlieszufuhr wird der Filz von beiden Seiten intensiv verdichtet und verfestigt. Dieser nahtlose Filzschlauch wird nach Entnahme aus der Beltex-Anlage separat mit Hilfe der erwähnten Bekranung über den Gewebeschlauch an der *Finish*-Nadelmaschine aufgezogen. Der Spannwagen hält Filz und Gewebe während der Vernadelung straff. Es entstehen so längs orientierte Papiermaschinenfilze mit besonderen Eigenschaften im Hinblick auf Gleichmäßigkeit, Verdichtung, Abriebfestigkeit und mit besonderen Entwässerungs- und Starteigenschaften.

6.1.8

Modifizierte Vernadelungstechniken

6.1.8.1 Rundvernadelungsverfahren

Neben der horizontalen Flachvernadelung mit ebenen, parallelen Lochplatten als Vernadelungszone gibt es Varianten dieser Anordnung, um für spezielle Vernadelungseffekte die Einstichgeometrie relativ zur Vliesfläche zu verändern oder um Nadelvliese mit besonderer Form zu erzeugen. Das Prinzip der ebenen Vernadelungszone wurde mit der Erfindung des RONTEX Rundvernadelungsverfahrens [11] erstmals verändert (Abb. 6.38 und 6.39). RONTEX nutzt eine Stichunterlage mit kreisrundem Querschnitt, entweder eine angetriebene Scheibenwalze für einen positiven Vliestransport in Umfangsrichtung oder einen perforierten, feststehenden, glatten Stichdorn, um rohr- bzw. schlauchförmige, endlose und nahtlose Rundfilze zu nadeln. Die Vliesbewegungs kinematik sieht vor, Vliestreifen mit geringer Flächenmasse um den Stichdorn herum bei gleichzeitiger Vernadelung aufzuwickeln und seitlich in Richtung der Wickelachse, quer zur Vlieszufuhr richtung, abzuziehen. Bei längsorientierter Faserlage des zugeführten Vlieses entsteht ein Filzrohr mit spiralsicher und gewendelter Faserlage. Durch den schichtweisen Aufbau der Wanddicke des Schlauchfilzes sind besonders hohe Verdichtungen zu erzielen, da ständig frisches Material in Lagen mit hoher Faserbeweglichkeit von außen zugeführt wird. Der Durchmesser- und Wandstärkenbereich ist groß und reicht je nach Maschinentyp von ca. 6 mm Innendurch-

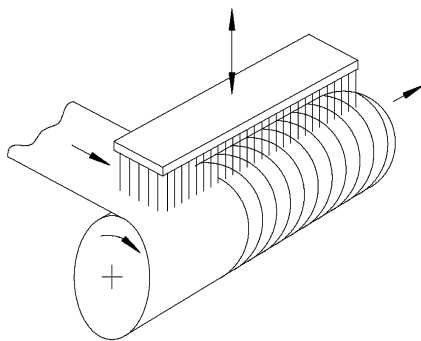


Abb. 6.38 Vernadelungsprinzip RONTEX

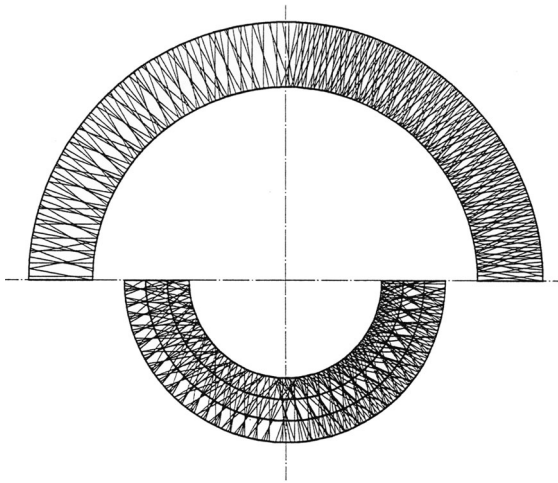


Abb. 6.39 Änderung des Einstichwinkels beim Rundvernadeln, System RONTEX

messer bis zu mehreren Dekametern. Die rohrförmigen Schlauchfilze werden überwiegend für technische Anwendungen eingesetzt, zum Beispiel als Filtermedium oder Walzenbezugsstoff. Für hoch spezialisierte Anwendungen ist das RONTEX-Verfahren durchaus verbreitet. Nach dem ähnlichen OR-Verfahren lassen sich auch gewickelte Schläuche oder sogar zylindrische, runde Vollkörper fixer Länge nadeln mit einem sehr großen Verhältnis von Außen- zu Innendurchmesser. Solche Halbzeuge z. B. aus Kohlefasern dienen, in Scheiben geschnitten, der Herstellung von Bremscheiben für Flugzeuge.

6.1.8.2 Schrägvernadelungsverfahren

Die einfachste Änderung der orthogonalen, ebenen Einstichgeometrie ist die Veränderung des Einstichwinkels durch eine schräge Neigung der Stichplatte und des Niederhalters, die ansonsten ihre plane Form beibehalten. Dieses sogenannte Schrägvernadeln hat interessante theoretische Aspekte, ist aber aus konstruktiven und wirtschaftlichen Gründen nicht verbreitet.

Abweichend von der horizontalen Anordnung der Stichplatten und des Niederhalters wird eine Neigung α zur horizontalen Durchlaufrichtung eingeführt. Die Nadelanordnung im Brett, in Sonderheit ihr Reihenabstand, die Einstichtiefe, der Niederhalterabstand und der Vorschub pro Hub, sollen zum Vergleich bleiben. Eine gleiche Einstichtiefe jedoch erfordert entweder unterschiedlich lange Nadeln, um der Neigung der Stichplatte zu folgen, oder ein zur Stichplatte paralleles schräges Nadelbrett. Man sieht, dass trotz eines gleich bleibenden orthogonalen Abstandes zwischen Stichplatte und Niederhalter der Weg der Nadel durch die schräg geneigten Platten und durch das Vlies im Verhältnis $1 : \cos \alpha$ länger wird (Abb. 6.40). Dadurch nimmt die Verweildauer der Nadel im Vlies zu. Die Nadel-einstichkräfte, wenn vertikal nach unten gerichtet, führen auf der geneigten Stichplatte zu einer Hangabtriebskraftkomponente im Vlies. Diese Kraftkomponente

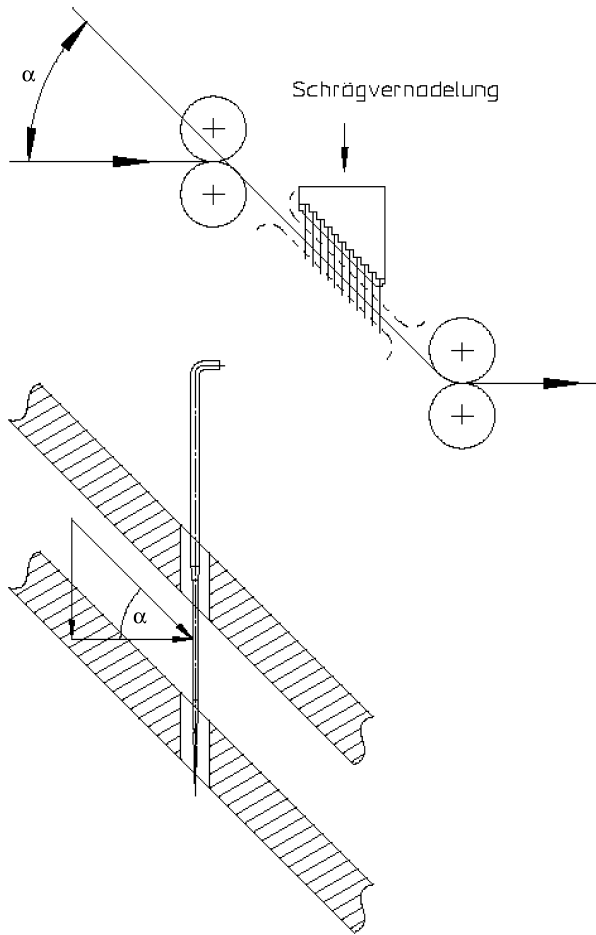


Abb. 6.40 Schrägvernelung

treibt das Vlies nach unten an und führt zwischen Einzugs- und Abzugswalzenpaar zu Vliesdehnungen, weil sie durch Zugkräfte im Vlies gestützt werden muss. Mit Vlieslängungen jedoch könnten auch Nadelbrüche entstehen.

Die Durchlaufgeschwindigkeit, die durch Einzugs- und Abzugswalzenpaar ins Vlies eingeprägt wird, wechselt bei gleichem Betrag lediglich die Richtung zwischen Einlauf und Auslauf. Da bei geneigter Ausführung der Weg durch die Nadelzone wie auch der Weg zwischen den einzelnen Nadelreihen länger wird, braucht das Vlies im Verhältnis $1 : \cos \alpha$ auch etwas mehr Zeit, die Nadelzone zu durchlaufen. Da aber bei konstanter Hubfrequenz und Durchlaufgeschwindigkeit der Vorschub pro Hub gleich bleibt und ebenso die Anzahl der Nadeln in der Nadelzone, bleibt auch die Einstichdichte gleich. Der Nachteil der längeren Ver-

weildauer der Nadeln im Material wird dadurch relativiert, dass die Kraftkomponente, die die Nadeln verbiegt, auch wieder um den Faktor $\cos \alpha$ reduziert ist.

Neben diesen grundsätzlichen, physikalischen Betrachtungen der Wirksamkeit der Kräfte auf die Nadeln und das Vlies lässt sich natürlich noch die technologische Auswirkung des Schrägvernadelns diskutieren. Dem schrägen Einstichverlauf schreibt man zu, dass er durch die schräg geneigten Faserpfropfen eine Längsfestigkeitserhöhung und eine höhere Vliesverdichtung bewirkt. Auch sind andere Dimensionsänderungen im Vergleich mit dem konventionellen Vernadeln zu erwarten.

Bekannt geworden ist neben der „OR“-Vernadelung von Dilo das „H1-Verfahren“ von Dr. E. Fehrer mit gewölbten Stich- und Niederhalterplatten. Durch variierte Krümmungsradien hat man variable Einstichwinkel im Verlauf der Nadelzone realisiert, um so den Effekt von schrägen, sich überkreuzenden Faserpfropfen zur Festigkeitserhöhung zu nutzen.

Wegen des konstruktiven Aufwandes und der Auswirkung der Hangabtriebskomponente in der Nadelzone konnten sich die Sonderverfahren zur Schrägvernadelung allgemein nicht durchsetzen. Die konventionelle Vernadelung auf ebener Stichplatte erlaubt durch geringfügige Erhöhung von Einstichtiefe und Einstichdichte ähnliche technologische Ergebnisse.

6.1.9

Einflussparameter für Nadelvliesstoffeigenschaften

Wichtig ist es, den Gesamtprozess aus Vorbereitung, Vliesbildung und Verfestigung zu betrachten. Für die Qualität des Endproduktes spielt eben auch die Faseröffnung, Fasermischung und die Art der Vliesbildung eine wichtige Rolle. Nur bei vollständiger Beachtung der Qualität des unverfestigten Vlieses (Eingangsgrößen) ist die Auswirkung der Vernadelungsparameter (Übertragungsgrößen) auf die Qualität des verfestigten Vlieses (Zielgrößen) einzuschätzen.

Die geometrischen und physikalischen Eigenschaften der Nadelvliesstoffe bestimmen die Gebrauchs- und Weiterverarbeitungseigenschaften. Für die Anwendung sind oft Merkmale der Oberfläche entscheidend wie z. B. Gleichmäßigkeit, Einstichbild, Struktur und Rauigkeit. Für die Gebrauchseignung bestimmend sind z. B. Abrieb- und Pillingresistenz, textiler Griff, Saugfähigkeit und Weichheit.

Außer den geometrischen Größen der Oberfläche, der Vliesstoffbreite und -dicke sind folgende physikalische Eigenschaften maßgebend: Flächenmasse, Dichte, Gas- und Flüssigkeitsdurchlässigkeit, die Festigkeit in Längs- (MD) und Querrichtung (CD), das Festigkeitsverhältnis MD : CD, Steifigkeit (Anfangsmodul), Dehnung und Elastizität (z. B. Wiedererholungsfähigkeit nach Belastung). Wichtig für die Weiterverarbeitung sind z. B. Nahtausreißfestigkeit, Beschichtbarkeit, Delaminierungsresistenz, usw.

Die physikalischen Eigenschaften des verfestigten Vliesstoffes lassen sich nur z. T. über die Vernadelungsparameter bestimmen.

In vielen Fällen wird auch nicht nur mechanisch durch Vernadeln verfestigt, sondern noch zusätzlich thermisch oder chemisch, um so die Gebrauchseigenschaften der Nadelvliesstoffe zu verändern.

Neben den Vernadelungsparametern sind die Eigenschaften des Fasermaterials wichtige Einflussgrößen. Hier sind zuerst die sogenannten substanzgebundenen Eigenschaften der Fasern anzuführen: Höchstzugkraft, Höchstzugkraftdehnung, E-Modul und Faserstoffdichte.

Von großem Einfluss ist die Fasergeometrie. Die Feinheit (Titer T_F) legt in Verbindung mit der Faserstoffdichte die Querschnittsfläche bzw. bei rundem Querschnitt den Faserdurchmesser fest.

$$d_F = \sqrt{\frac{T_{tF} \cdot 4}{\pi \cdot \rho \cdot 10^4}} \quad (6.22)$$

d_F – Faserdurchmesser [mm]

T_{tF} – Faserfeinheit [dtex]

ρ_F – Faserstoffdichte [g/cm³]

Für das Gebiet der Stapelfaserverarbeitung sind natürlich die Stapellänge L , ggf. die Stapellängenverteilung und die Kräuselung (Anzahl der Bögen pro cm Länge) wichtig. Die Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften werden daneben von der Oberflächenstruktur der Faser, ihrer Querschnittsform und von Präparation (Avivage) und Mattierung (MG in %) beeinflusst.

6.1.9.1 Vernadelungsparameter

Die Vernadelungsparameter sind unabhängige Einflussgrößen für abhängige Zielgrößen, die Nadelvliesstoffeigenschaften beschreiben. Generell ist zu unterscheiden zwischen fixen Einflussgrößen, die von der Maschinenkonstruktion festgelegt sind, und variablen, die durch die Einstellungen der Maschinen- oder Verfahrensparameter gewählt werden. Die Vielfalt von Parametern und ihre jeweilige Spanne sind sehr groß und deshalb die Anzahl der Kombinationen mit ihrem unterschiedlichen Einfluss immens. Nach wie vor müssen daher durch Labor- oder Technikumsversuche die Auswirkungen von Parametervariationen ermittelt werden. Theoretische Zusammenhänge wurden durch statistische Versuchsauswertungen mit Korrelations-, Regressions- und Varianzanalysen beschrieben. Grundlagen hat man insbesondere am Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen unter Lünen-schloß erarbeitet.

Ziel der Vernadelung ist die Verfestigung der Vliese. Diese lässt sich nur über eine Verdichtung erreichen, die sich in erster Linie durch die Dickenabnahme während der Vernadelung ausdrückt. Die Verdichtung bewirkt eine Erhöhung der Faser-Faser-Reibung. Dadurch steigt die Festigkeit des Vlieses, während seine Luftdurchlässigkeit abnimmt.

Die fixen Vernadelungsparameter sind in erster Linie die Vernadelungsart (einseitig, zweiseitig oder beidseitig, simultan oder alternierend), das Nadelbild und die Nadeldichte (Teilung, Reihenzahl, Reihenabstand), die wirksame Nadelbretttiefe (im Sprachgebrauch „Nadelbrettbreite“), der vertikale Hub des Nadelbalkens, für elliptisches Vernadeln der maximale Horizontalhub, der Bohrungsdurchmesser oder die Schlitzbreite und -länge in den Stichplatten und ggf. der Einstichwinkel.

Die unabhängigen und veränderlichen Maschinenparameter, die als Einflussgrößen bei der Vernadelung wirken, sind Zuführgeschwindigkeit v_1 , Abzugsgeschwindigkeit v_2 , Hubfrequenz f , Einstichtiefe E_t , Niederhalterabstand N_h , die Einstichdichte E_d als abgeleitete Größe von Nadeldichte N_d und Vorschub pro Hub a sowie die Nadelart (durch schnellen Nadelbrettwechsel bedingt kann die Nadelart als variable Einflussgröße gelten).

Die folgenden Bilder (Abb. 6.41 bis 6.45 [12, 13]) zeigen einige funktionale Abhängigkeiten zwischen den Vliesstoffeigenschaften Festigkeit R_H , Rohdichte ρ und Luftdurchlässigkeit L_D und den Variablen Flächenmasse m_A , Faserfeinheit T_t , Faserlänge L , Nadelfeinheit N_f , Einstichtiefe E_t und Einstichdichte E_d .

Mit zunehmender Flächenmasse und sonst gleichen Vernadelungsbedingungen erhöhen sich Längs- und Querfestigkeit linear, die Rohdichte degressiv. Die Luftdurchlässigkeit nimmt mit größerer Flächenmasse regressiv ab (Abb. 6.41).

Die Dicke des Vlieses steigt proportional zur Flächenmasse (Abb. 6.42).

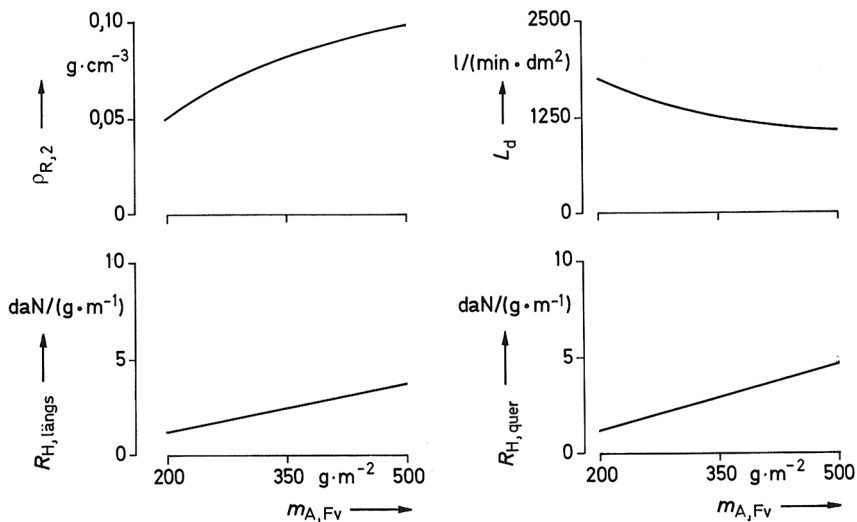


Abb. 6.41 Rohdichte $\rho_{R,2}$, Luftdurchlässigkeit L_D und feinheitsbezogene Höchstzugkraft R_H , bezogen auf Flächenmasse und Streifenbreite für Längs- und Querrichtung in Abhängigkeit von der Soll-Flächenmasse des Faservlieses m_A , [13] Nadelfeinheit $N_f = 0,50$ mm (38 gauge), CB-

Nadeln geprägt; Einstichfrequenz $E_f = 1800$ min^{-2} , Einstichtiefe $E_t = 15$ mm, Einstichdichte $E_d = 200$ cm^{-2} Faservlies, querorientiert, vorvernadelt = 35 cm^2 , PA-6-Fasern, halbmatt, 17 dtex, Faserlänge = 80 mm

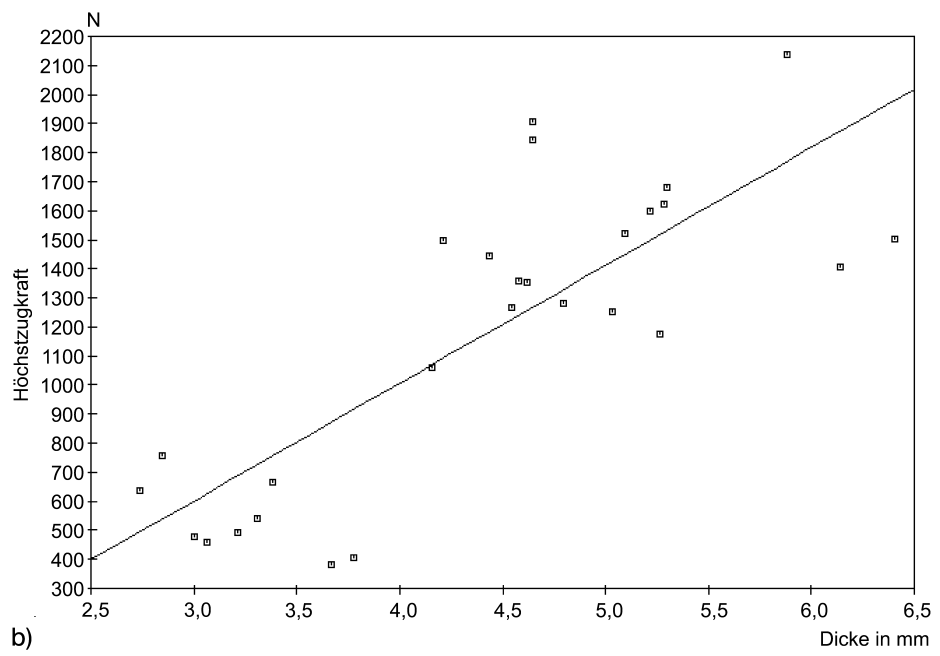
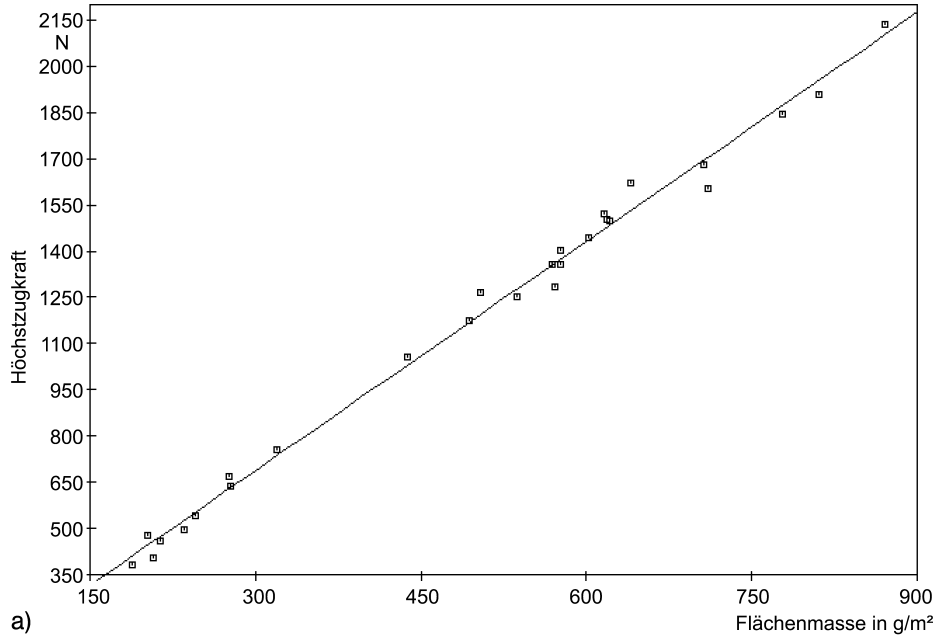


Abb. 6.42 a) Mittlere Höchstzugkraft in Abhängigkeit von der Vliesstoffmasse, b) Mittlere Höchstzugkraft in Abhängigkeit von der Vliesstoffdicke [12]

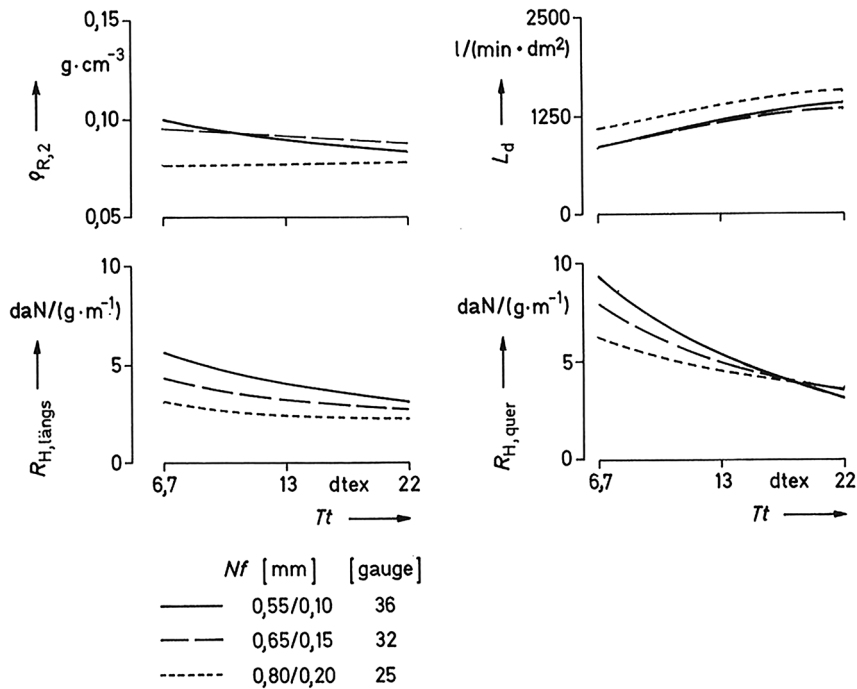


Abb. 6.43 Rohdichte $\rho_{R,2}$, Luftdurchlässigkeit L_D und feinhheitsbezogene Höchstzugkraft $R_{H,}$ bezogen auf Flächenmasse und Streifenbreite für Längs- und Querrichtung in Abhängigkeit von der Faserfeinheit T_t und verschiedenen Nadelfeinheiten N_f (RB-Nadeln geprägt) [13] Einstichtiefe $E_t = 11$ mm, Einstichdichte $E_d =$

240 cm^{-2} , Anzahl der Passagen $N_{\text{pass}} = 4$, Nadeldichte $N_d = 60 \text{ dm}^{-2}$, Materialvorschublänge $l_v = 2,5$ mm; Faservlies, querorientiert, vorvernadelt = 35 cm^{-2} , Soll-Flächenmasse $m_A = 350 \text{ g}/\text{m}^2$, PA-6-Fasern, halbmatt, Faserlänge = 80 mm, gleiche Avivage

Größere Fasern mindern die Vliesstoffdichte und Festigkeit regressiv. Sie steigern die Dicke des Vliesstoffs und seine Luftdurchlässigkeit (Abb. 6.43).

Größere Faserlängen bewirken eine größere Vliesstoffdichte, eine höhere Festigkeit bei kreuzgelegten Vliesen, besonders in Querrichtung, und eine niedrigere Luftdurchlässigkeit (Abb. 6.44).

Kräuselung und Mattierung haben keine hohe Signifikanz, sodass deren Einfluss auf Festigkeit, Dichte und Luftdurchlässigkeit praktisch vernachlässigt werden kann. Der Einfluss auf die Nadelkräfte jedoch ist bei mattierten Fasern beachtenswert.

Eine größere Einstichtiefe steigert die Rohdichte linear und erhöht die Längsfestigkeit degressiv. Die Querfestigkeit kulminiert und nimmt mit weiterer Steigerung der Einstichtiefe dann wieder ab. Die Luftdurchlässigkeit vermindert sich entsprechend der Dichtezunahme (Abb. 6.45).

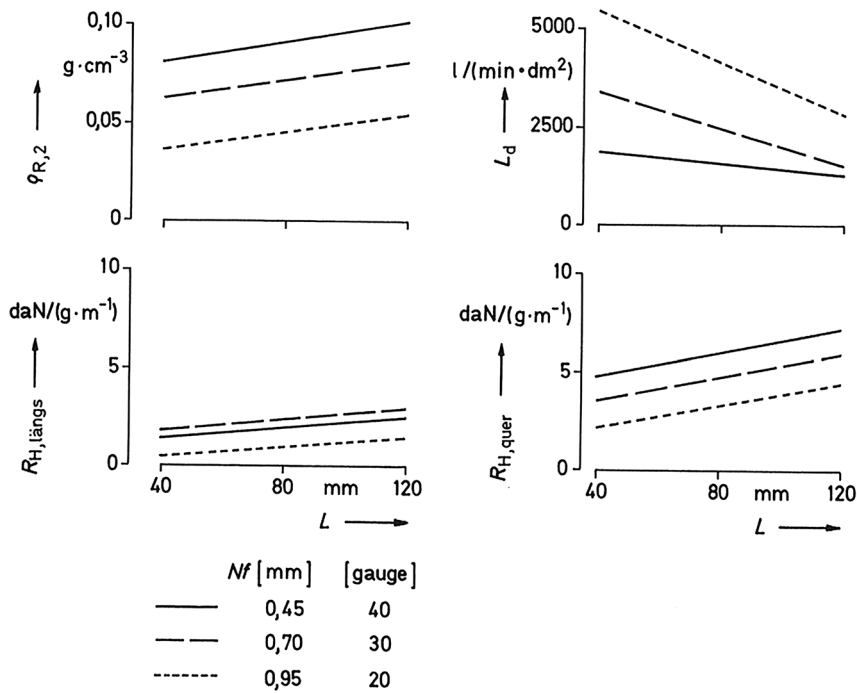


Abb. 6.44 Rohdichte $\rho_{R,2}$, Luftdurchlässigkeit L_D und feinheitsbezogene Höchstzugkraft $R_{H,2}$, bezogen auf Flächenmasse und Streifenbreite für Längs- und Querrichtung in Abhängigkeit von der Stapellänge L für verschiedene Nadelfeinheiten N_f (RB-Nadeln gestochen) [13]
 Einstichtiefe $E_t = 15$ mm, Einstichdichte $E_d = 90$ cm⁻², Faservlies, querorientiert, Soll-Flächenmasse $m_A = 500$ g/m², PA-6-Fasern, 11,3 dtex

Ein Anstieg der Einstichdichte erhöht die Rohdichte und Festigkeit und senkt die Luftdurchlässigkeit. Voigtländer [12] beschreibt den korrelativen Zusammenhang zwischen Vliesstoffdichte, Einstichdichte und Einstichtiefe mit

$$\rho_V = a_2 \cdot E_d^{C_2 \cdot E_t} \quad (6.23)$$

ρ_V – Vliesstoffdichte
 a_2, C_2 – Konstante

Für die Vliesverdichtung und damit -verfestigung ist die Auswahl der Nadel von größter Bedeutung. Mit der sogenannten Nadelfeinheit N_f sind die Querschnittsfläche des Arbeitsteils und auch die Standardkerbentiefen festgelegt; allerdings kann man die Kerbentiefe bei Spezialnadeln abweichend vom Standard wählen. Die Kerbentiefe ist ein Maß für die maximale Anzahl der transportierbaren Fasern einer bestimmten Feinheit (Abb. 6.46). Böttcher beschreibt dies mit der vorliegenden Formel.

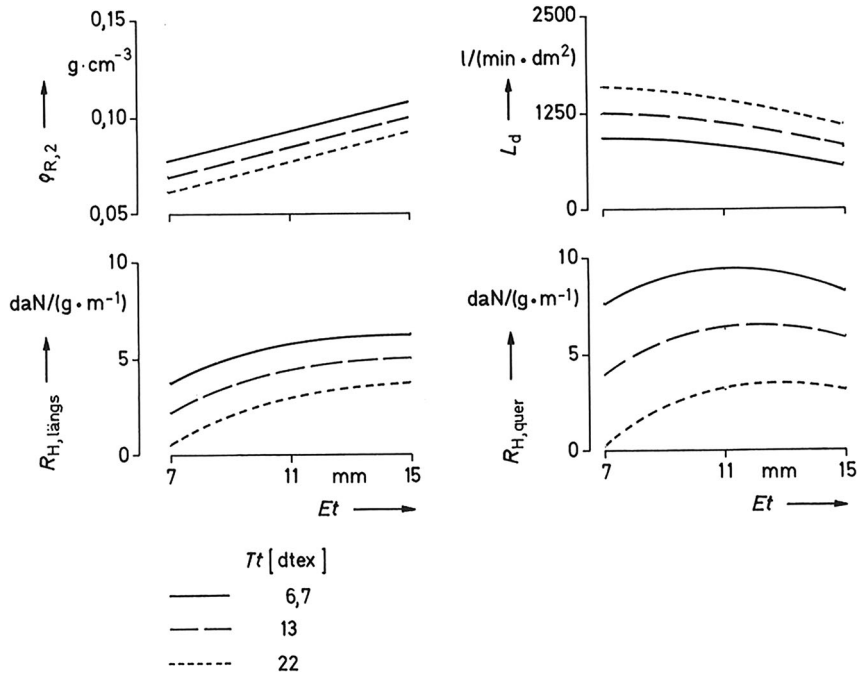


Abb. 6.45 Rohdichte $\rho_{R,2}$, Luftdurchlässigkeit L_D und feinheitsbezogene Höchstzugkraft R_H , bezogen auf Flächenmasse und Streifenbreite für Längs- und Querrichtung in Abhängigkeit von der Einstichtiefe E_t und verschiedener Faserfeinheiten T_t [13]
 Nadelfeinheit $N_f = 0,55/0,10$ mm (36 gauge), RB-Nadeln geprägt; Einstichdichte $E_d = 240 \text{ cm}^{-2}$, Anzahl der Passagen $N_{\text{pass}} = 4$, Nadeldichte $N_d = 60 \text{ dm}^{-2}$, Materialvorschublänge $l_v = 2,5$ mm, Faservlies, querorientiert, vorvernadelt = 35 cm^2 , Soll-Flächenmasse $m_A = 350 \text{ g/m}^2$, PA-6-Fasern, halbmatt, Faserlänge = 80 mm, gleiche Avivage

$$N_{F,PF} = \frac{A_{WH}}{A_F} \cdot 0,67 K_{WH} \quad [12] \quad (6.24)$$

- $N_{F,PF}$ – Faseranzahl im Faserpfropfen
- A_{WH} – Faseraufnahme­fläche der Kerbe [mm^2]
- A_F – Querschnittsfläche einer Faser [mm^2]
- K_{WH} – Korrekturfaktor abhängig von Anzahl durchstechender Kerben

Die Nadelfeinheit mit ihrer Kerbtiefe wird in erster Linie entsprechend der Faserfeinheit gewählt. Feinere Nadeln erhöhen Rohdichte und Festigkeit und reduzieren die Luftdurchlässigkeit des Vliesstoffs.



Abb. 6.46 Fasertransport durch Nadelkerbe (mit freundlicher Genehmigung der Fa. Groz-Beckert KG)

Dimensionsänderungen

Die Dimensionsänderungen des Vlieses sind u. a. von Faser- und Vernadelungsparametern abhängig und wirken sich auf Flächenmasse und Festigkeit des Vlieses aus.

Voigtländer hat eine Formel ermittelt, die die Flächenmassenänderung in Abhängigkeit von Einstichdichte E_d und Einstichtiefe E_t darstellt.

$$\Delta m_A = a_1 \cdot E_d^{C_1 \cdot E_t} \quad (6.25)$$

Bei der Ermittlung der Konstanten wäre u. a. die Verweildauer der Nadel mit zu berücksichtigen. Eine Berechnung des Verzuges auf Basis formelmäßiger Zusammenhänge ist jedoch nicht möglich.

Die unschädlichen Dimensionsänderungen – hervorgerufen durch den Pfropfeffekt – sind gleichzeitig nach Lünenschloß [13] „ein Kriterium für die erreichbare Verdichtung und Verfestigung des Faservlieses“. „Grundsätzlich gilt, dass beim Vernadeln quer orientierter Faservliese die Länge zunimmt und die Breite abnimmt.“ Dadurch erhöht sich die Längsfestigkeit bei gleichzeitiger Minderung der Querfestigkeit. Nach Lünenschloß [13] kann „in wenigen Ausnahmefällen bei Vernadelung grober Fasern mit feinen Nadeln in Längsrichtung eine Verkürzung eintreten, andererseits kann bei kurzen Fasern eine Verbreiterung des Vlieses vorkommen. Größere Nadeln, eine geringere Faservliesmasse, eine höhere Einstichtiefe und -dichte, feinere und kürzere Fasern verursachen normalerweise eine größere Maßänderung in Längsrichtung. Dabei übt die Nadelfeinheit den stärksten Einfluss aus. Für die Maßänderung in Querrichtung sind Faserfeinheit und -länge weit weniger einflussreich als in Längsrichtung. Dies gilt ebenfalls für die Nadelfeinheit. Von größerer Bedeutung ist hier die Einstichtiefe.“

Die Längenzunahme und der Breiteneinsprung beeinflussen auch direkt die lokalen Einstichdichten beim Durchlauf durch die Nadelzone.

Zernadelung

Die sogenannte Zernadelung als Auswirkung einer zu hohen Vernadelungsintensität führt zu einem Festigkeitsabfall des Vlieses und könnte auf mehrere Ursachen zurückgeführt werden:

Eine starke Umorientierung der horizontalen Fasern der Vliesebene in die Vertikale als Faserbüschel (Pfropfen). Die horizontalen Faserenden, die in der Vliesebene verbleiben, sind dann einfach kürzer und tragen kleinere Kräfte über die Faser/Faser-Reibung ab. Eine andere Erklärung ist das Überschreiten der Verdichtbarkeit des Vlieses. Dieser Vorgang sollte aber eher als Übernadeln bezeichnet und getrennt betrachtet werden von einem Zernadeln, das durch Faserbruch ausgelöst wird. Faserbruch tritt ein durch Überschreiten der Faserfestigkeit. Mögliche Ursachen sind die gleichzeitige Mehrfacherfassung einzelner

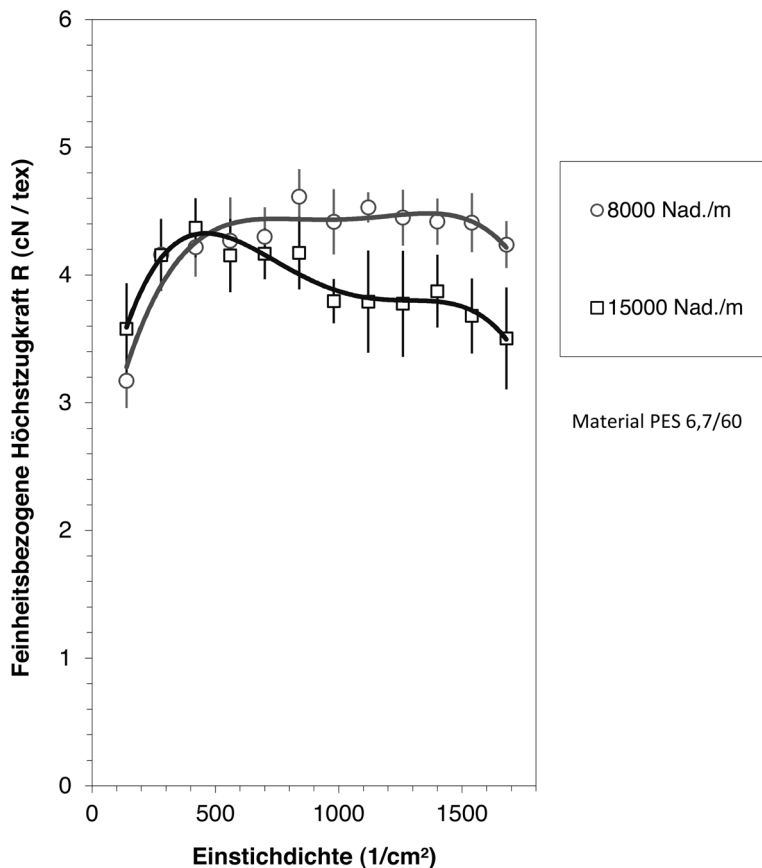


Abb. 6.47 Mittlere Festigkeit abhängig von Einstichdichte und spezifischer Nadelanzahl

Fasern durch benachbarte Nadeln und Faserschädigungen (Abrasion), die vom Kerbeneingriff herrühren. Zernadeln kann insbesondere bei schwächeren Fasern wie z. B. Naturfasern oder Viskose oder bei Glas- und Keramikfasern mit geringer Querfestigkeit eintreten und wird gemildert z. B. durch verrundete Kerben ohne *Kick-up* bzw. durch feinere Nadeln.

Bei festen organischen Chemiefasern in Verbindung mit verrundeten Kerben ist die Zernadelung innerhalb der praktischen Grenzen üblicher Einstichdichten nicht zu beobachten.

Eine Übernadelung wäre schon darin zu sehen, wenn die Steigerung der Einstichdichte nicht mehr zu einer Zunahme der mittleren Festigkeit – gebildet aus dem Mittel der Längs- und Querfestigkeit – führt. Dieser Fall tritt ein, wenn Einstichdichten bei geringer Nadelteilung über ca. 500 Einstiche/cm² hinaus gesteigert werden (Abb. 6.47).

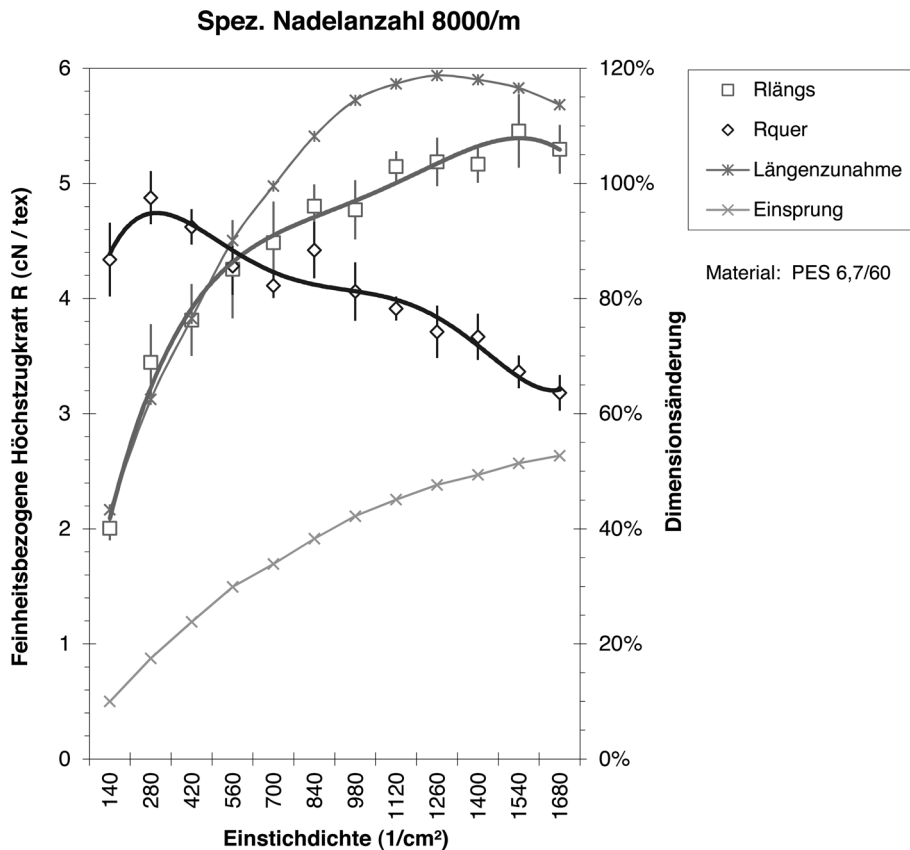


Abb. 6.48 Festigkeitsausgleich mit Dimensionsänderung l, q

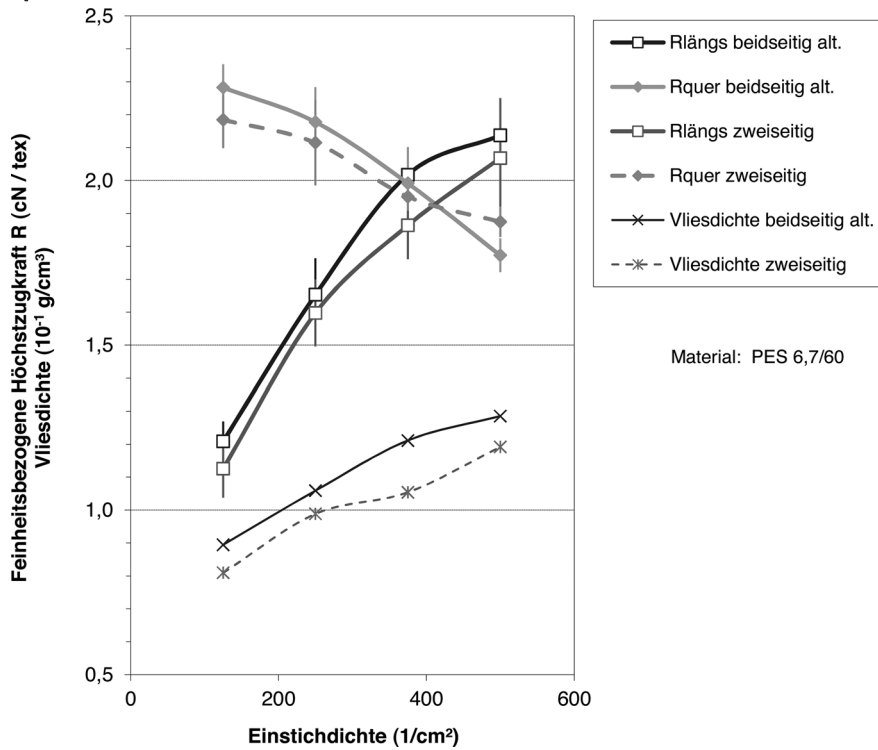


Abb. 6.49 Festigkeits- und Dichteverlauf abhängig von Einstichdichte und Vernadelungsart

Unter dem Einfluss großer Dimensionsänderungen und durch den Vermischungseffekt des Nadelns selbst tritt der Festigkeitsausgleich zwischen Längs- und Querrichtung, auch abhängig von der Nadeldichte und zahlreichen anderen Einflüssen, bei einseitiger Vernadelung etwa ab 600 Einstichen/cm² ein (Abb. 6.48).

Die Längsfestigkeit steigt danach degressiv noch weiter an, während die Querefestigkeit nahezu linear abfällt. Die Dimensionsänderungen längs und quer steigen pro Passage auch nur degressiv. Genauso nimmt die Dicke des Vliesstoffs pro Passage regressiv ab. Bei zweiseitiger und beidseitiger Vernadelung findet der Festigkeitsausgleich erheblich früher, ab ca. 350 Einstichen/cm², statt.

Der Vergleich zwischen zweiseitiger und beidseitiger Vernadelung zeigt eine höhere Vliesstoffdicke zugunsten der beidseitig alternierenden Vernadelungsart (Abb. 6.49).

Der degressive Verlauf der Veränderung von Längsfestigkeit, Längszunahme, Quereinsprung und Dickenabnahme, abhängig von der variablen „Einstichdichte“, zeigt die Wirkungsgrenzen zunehmender Vernadelungsintensität.

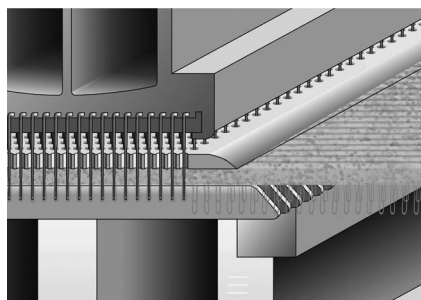


Abb. 6.50 Strukturierungsprinzip DI-LOOP

6.1.10

Oberflächenstrukturierung

Ende der 60er Jahre hat R. Dilo Entwicklungen begonnen, die den glatten Nadelfilzbodenbelag durch eine strukturierte Oberfläche interessanter machen sollten, und hat erste Maschinen auf den Markt gebracht, die erfolgreich nach seinem DI-LOOP Verfahren arbeiteten (Abb. 6.50).

Strukturierungsverfahren DI-LOOP

Der Grundgedanke der Oberflächenstrukturierung sieht vor, das vorgeadelte, glatte Nadelflies einer erneuten Nadelung zu unterziehen; dieses Mal nicht, um eine weitere Verfestigung des Vlieses zu erreichen. Vielmehr will man das vorverdichtete Nadelflies z. T. als Faservorrat für die Polbildung nutzen. Die überwiegende Faserquororientierung, die vom Kreuzleger herrührt, und die Nadelorientierung spielen dabei eine entscheidende Rolle für die Art der Oberflächenstruktur. Spezielle Gabelnadeln stoßen in Verbindung mit einer völlig anderen Stichunterlage, einem Lamellenrost, vertikale Schlingen aus dem Nadelflies in die Lamellenzwischenräume. Der Vernadelungsvorgang formt dabei lauter eng nebeneinander liegende Faserschlingenreihen. Die Schlingen selbst liegen in Laufrichtung dicht bei dicht und können sich dann voll ausprägen, wenn die Gabel an der Nadelspitze so orientiert ist, dass die Zinken hintereinander in Laufrichtung liegen (Rippenstruktur, Abb. 6.51).

Vorzugsweise werden dann die quer orientierten Fasern zwischen den Zinken erfasst. Wird die Gabelnadel um 90° verdreht eingesetzt, erfassen die zwei Gabelzinken, die nun nebeneinander liegen, überwiegend den geringeren Teil der mehr längs liegenden Fasern im Vlies und es entsteht eine veloursartige Nuttschicht.

Die Gabelnadeln sind im Brett, in einer Matrix also, in Reihen quer und parallel zur Laufrichtung des Vlieses und zu den Lamellen des Lamellentisches angeordnet. Bei richtiger Wahl des Vorschubs kommt quasi Einstich hinter Einstich zu liegen. Dazu sollten ganzzahlige Vielfache des Vorschubs nicht mit den Reihenabständen in Laufrichtung koinzidieren. Die Nadelkräfte, die die Fasern beim Durchstoßen des vorverdichteten Vlieses als Polschlingen herauslösen, sind erheblich größer als bei der konventionellen Vernadelung zum Verfestigen des Vlieses. Die Maxima

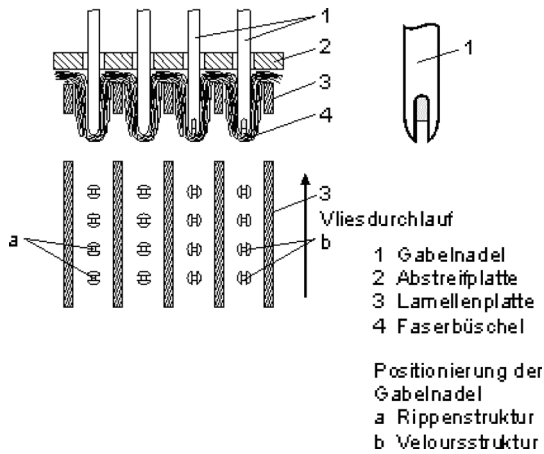


Abb. 6.51 Formen der Faserbündel zur Polstruktur und Gabelnadelstellung für Rippen- und Veloursstruktur

der Einstichkräfte von Gabelnadeln liegen zum Teil bis zu ca. zehnmals höher als bei Verfestigungsnadeln.

Dies gilt zumindest in der ersten Nadelreihe, wenn das Vlies noch die volle Stärke hat und Fasern noch nicht in die Vertikale umorientiert sind. Obwohl der grundsätzliche Aufbau einer Strukturierungsmaschine mit Ausnahme der Stichunterlage einer konventionellen Nadelmaschine ähnelt, müssen der Maschinenrahmen und alle Kraft leitenden Elemente mit ihren Querschnitten an diese hohen Betriebskräfte statisch und dynamisch angepasst sein. Ein ausreichender Abstand zwischen den Eigenfrequenzen der Maschinenstruktur und den anregenden Frequenzen (Fourierspektrum) des Nadeleinstichkraftverlaufs ist zu beachten.

Maßnahmen, die der Erhöhung der Faserbeweglichkeit dienen, wie zum Beispiel kürzere Stapellänge und geeignete Avivagen, verbessern die sogenannte Ausnadelung (Polbildung). Wird ein Vlies mit Gabelnadeln strukturiert, entstehen zwei Schichten: die glatte Grundsicht und die sogenannte Pol- oder Nuttschicht mit vertikal stehenden Faserbündeln und Faserschlingen. Die Zugkräfte, die in die Vliesebene durch das Abzugssystem eingeleitet werden, müssen die Reibkräfte zwischen Lamellen und Polvlies überwinden und dehnen die Grundsicht. Es kommt so zu einer Verringerung der Poldichte, da die Abstände zwischen den Schlingen größer werden. Diesem ungünstigen Effekt wird dadurch entgegengewirkt, dass man die Ausnadelung, die u. a. von der Einstichtiefe abhängt, begrenzt oder die Vliesmasse erhöht.

Mit dem DI-LOOP Verfahren hat man auch Musterungstechniken eingeführt. Die Nadeln im Brett müssen dazu entsprechend der gewünschten Musterung in der Matrix des Bohrbildes bestückt werden. Damit entsteht beim Einstich im Vlies eine Musterung als Abbild des Nadelanordnungsschemas im Brett. Da jeweils völlig unstrukturiertes, glattes Material durch den Eilgang bzw. den Musterungsrapport unter das Nadelbrett gefahren wird, entstehen in dieser Betriebsweise die

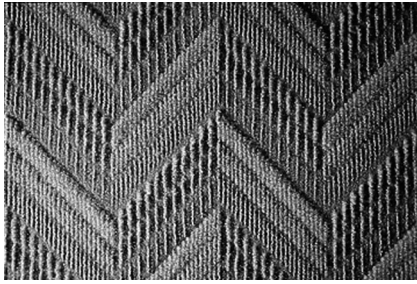


Abb. 6.52 DI-LOOP Reliefmuster

höchsten Nadeleinstichkräfte. Meistens werden mehrere Einstiche mit kurzem Vorschub pro Hub gemacht, um die Musterungswirkung auszuprägen. Danach erfolgt entweder ein Absenken des Lamellentischs (hydraulisch) oder ein Anheben des Nadelbalkens (elektromechanisch), um die Nadeln außer Eingriff zu bringen. Mit dem Eilgang des Ein- und Abzugswalzenpaares wird dann erneut ein Rapport gefahren, der der genutzten Nadelbrettbreite entspricht. Auch sind Nadelanordnungsschemata bekannt, wo der Musterungsrapport nur einem Teil der Brettbreite entspricht. Dies kann eine bessere Überdeckung des Musters ohne Sichtbarkeit des Rapports bewirken.

Wird der Lamellentisch servohydraulisch bewegt, können wahlweise unterschiedlich programmierte Tischhub- bzw. Einstichtiefensequenzen gefahren werden, um dreidimensionale Effekte, sogenannte Reliefmuster, zu erzeugen (Abb. 6.52). Die Sichtbarkeit der Musterungen und ihre ästhetische Wirkung insgesamt lassen sich verbessern, wenn mehrschichtige und mehrfarbige, vorgeadelte Nadelvliese der Maschine zugeführt werden.

6.1.10.1 Strukturierung mit positivem Vliestransport

Strukturierungsverfahren DI-LOFT

Die DI-LOFT Maschine hat durch den Einsatz einer rotierenden Scheibenwalze, die einen positiven Vliestransport in der Nadelzone bewirkt, die Vliesverzüge reduziert und damit auch geringere Flächenmassen ermöglicht [14]. Mit mehreren Nadelaggregaten und der jeweiligen Zufuhr zusätzlicher Lagen Vlies gelingt eine erhebliche Poldichtensteigerung, da jeweils ein frischer beweglicher Polfaservorrat eingenedelt werden kann (Abb. 6.53). Dieses Prinzip der Vliesdoublierung für die Strukturierung hat wichtige Erkenntnisse zur verbesserten Polbildung gebracht.

Strukturierungsverfahren DI-LOUR

Die DI-LOUR Maschine nutzt ein laufendes Bürstenband mit geschlossener, homogener Borstenoberfläche als Stichunterlage. Eine wirre Anordnung von Spezialnadeln (Kronennadeln, feine Gabelnadeln) und eine hohe Dichte in der Nadelreihenprojektion (Querdichte) konnten die Poldichte erheblich steigern [15]. Beim Einstechen werden die Polschlingen aus dem vorgeadelten Material heraus in die Zwischenräume der Borsten gestoßen. Das Polmaterial verbleibt dort während des Laufs durch die Nadelzone und verhindert, dass sich das Vlies mit

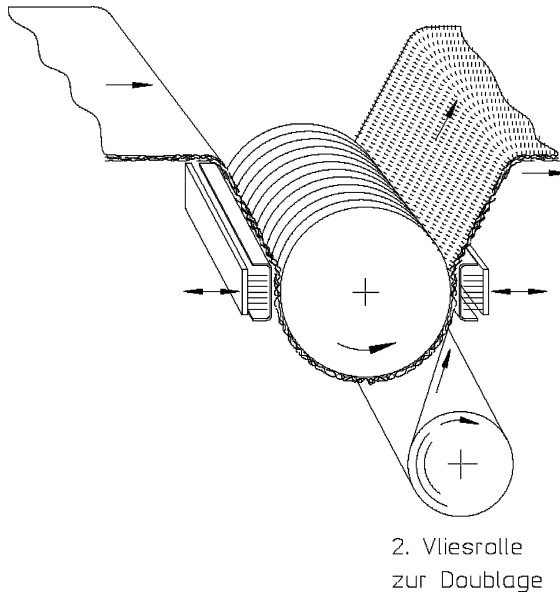


Abb. 6.53 Strukturierungsprinzip DI-LOFT

seiner Grundschicht in der Ebene längs dehnt oder quer einspringt. Wie bei der DI-LOOP Strukturierung wird durch die Polbildung und den vertikalen Fasertransport die vorgenadeelte Vliesdicke beim Durchlauf durch die Nadelzone allmählich verringert, sodass nur eine geringe Grundschichtdicke verbleibt [16] (Abb. 6.54).

Bei einer Doppelanordnung von Vernadelungsstationen auf einem gemeinsamen Bürstenband [18] besteht die Möglichkeit, das vorgenadeelte Vlies nahezu vollständig in das Bürstenband hineinzunadeln und vor der zweiten Vernadelungsstation von oben frisches Vlies aufzunadeln. Auch können im Rahmen der DI-LOUR IV-Technik Trägermaterialien aufgenadelt werden, die das Tiefziehverhalten bei der Herstellung von Automobilformteilen verbessern (Abb. 6.55). Das Auf-

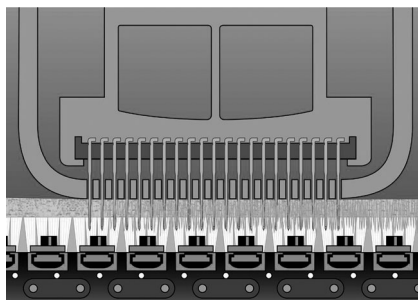


Abb. 6.54 Strukturierungsprinzip DI-LOUR

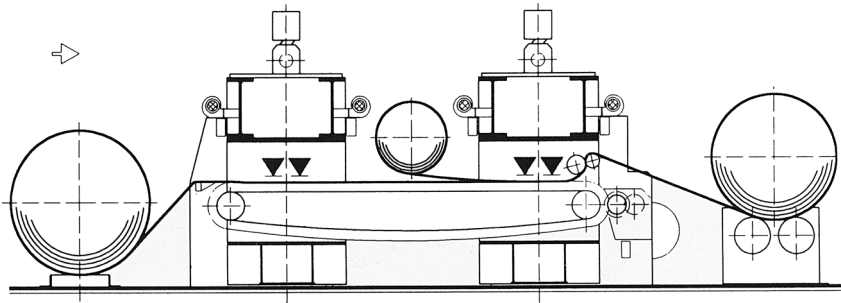


Abb. 6.55 Prinzip der Doppelstrukturierung: DI-LOUR IV [16]

und Einnadeln einer zweiten, andersfarbigen Vlieslage ergibt kontrastreiche Vor-schubmusterungen.

6.1.11

Nadelcharakteristik

Gustav Wizemann

Verfestigungsnadeln dienen zur mechanischen Bearbeitung von Vliesstoffen und haben ihren Ursprung in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts als damit begonnen wurde, Abfallfasern von anderen textilen Herstellprozessen wieder aufzuarbeiten. Im allgemeinen Sprachgebrauch werden solche Nadeln als Filznadeln bezeichnet. Erste Patentanmeldungen von Filznadeln tauchen bereits um 1890 auf. Nachdem sich in den Jahren um 1950 die Synthefasern auf dem Markt etablierten und der Teppichboom Einzug hielt, kamen Filznadeln immer mehr zur Anwendung. Die Feinheitsbezeichnung erfolgt immer noch nach dem Gauge-System.

6.1.11.1 **Filznadelgruppen**

Man unterscheidet zwei Arten von Nadeln. Die einen finden Einsatz in klassischen Vernadelungsmaschinen und werden Filznadeln genannt. Die andere Gruppe wird in speziellen Maschinen zur Strukturierung eingesetzt. Diese Nadeln nennt man Strukturierungsnadeln (Abb. 6.56).

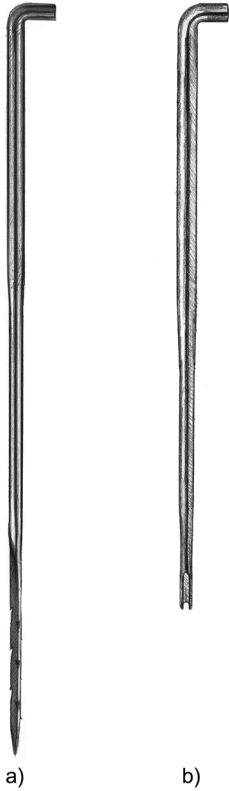
Verfestigungsnadeln

Mit Filznadeln werden Faservliese in Nadelmaschinen mechanisch verfestigt. Je nach Fasermaterial und gewünschten Eigenschaften des Endproduktes gibt es unterschiedliche Typen hinsichtlich Länge, Arbeitsteilform, Verteilung und Geometrie der Kerben. Die Abmessung und Form dieser Kerben sind für die Effizienz im Vernadelungsprozess von großer Bedeutung, da mit ihnen Fasern im Vlies aufgegriffen, miteinander verankert und dadurch das Vlies verdichtet wird. Die Eigenschaften des vernadelten Vliesstoffes werden hauptsächlich durch die Verdichtungsleistung der Filznadeln bestimmt.

Filznadelgruppen

Abb. 6.56 Filznadelgruppen

- a) Verfestigungsnadeln
- b) Strukturierungsnadeln



Strukturierungsnadeln

Mittels sogenannten Gabel- und Kranznadeln werden bereits verfestigte Faservliese auf speziellen Maschinen strukturiert. Die Gestaltung der Vliesoberfläche erfolgt als Velours- oder Rippencharakter mit geometrischem oder linearem Muster. Die Ausführung der Gabel am zylindrischen Arbeitsteil der Gabelnadel beziehungsweise die Form und Anordnung der Kerben bei Kranznadeln bestimmen die Strukturierungseigenschaften auf der Produktoberfläche.

Nadelaufbau und Funktion

Bei Filznadeln unterscheidet man grundsätzlich zwischen stabilen einfach reduzierten und flexiblen, meist feinen doppelt reduzierten Typen. In Abhängigkeit der Anforderungen an das zu vernadelnde Vlies werden stabilere oder flexiblere Nadeln eingesetzt, welche auch spezielle Geometrien im Bereich des Arbeitsteils besitzen können. Die Kerben am Arbeitsteil stellen das wesentlichste Funktionselement dar (Abb. 6.57).

Nadelaufbau - Verfestigungsnadeln

Einfach reduzierte Nadel

Doppelt reduzierte Nadel

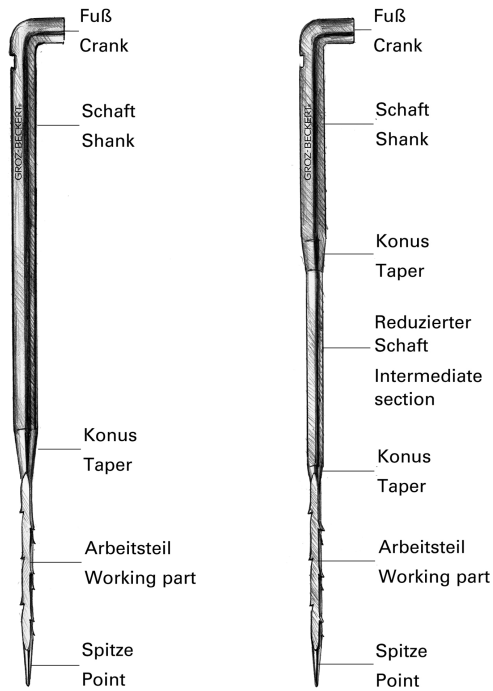


Abb. 6.57 Nadelaufbau Verfestigungsnadeln

Bei Gabelnadeln existieren einfach und mehrfach reduzierte Ausführungen. Die stabileren einfach reduzierten Varianten werden hauptsächlich zur Strukturierung von groben Rippen- oder Velourswaren eingesetzt. Feinere mehrfach reduzierte Versionen finden zum Beispiel Anwendung bei Boden- und Wandbelägen sowie als Automobilauskleidungen. Das wesentliche Funktionselement an der Gabelnadel ist die Gabelöffnung am Ende des Arbeitsteils.

Nadelfuß Der Nadelfuß ist rechtwinklig zum Schaft abgebogen. Er fixiert die Nadel im Nadelbrett in der Vertikalen und verhindert das Verdrehen bei Nadelbrettern mit sogenannten Führungsrinnen.

Schaft (Einspannschaft) Die Bohrung im Nadelbrett bestimmt den Durchmesser des Einspannschaftes der Nadel. Schaftdurchmesser von 9 gg–18 gg sind verfügbar, allerdings ist die gängigste Feinheit 15 gg, welche einem Einspannschaftdurchmesser von 1,83 mm entspricht.

Reduzierter Schaft Doppelt reduzierte Nadeln verfügen über einen reduzierten Teil von, je nach Stabilitätsanforderungen, 1,19 mm (18 gg Feinheit) bis 1,55 mm (16 gg Feinheit). Durch die Schaftreduzierung verändern sich die Biegeeigenschaften der Nadel. Es werden dadurch Vorteile bezüglich Flexibilität und Oberflächenqualität bei bestimmten Anwendungen erzielt. Ein weiterer Vorteil von doppelt reduzierten Nadeln ist der deutlich geringere Zeitaufwand bei der manuellen Bestückung und Entnadelung der Nadelbretter bedingt durch den kürzeren 15 gg Einspannschaft.

Arbeitsteil Im Allgemeinen finden Arbeitsteilfeinheiten von 16 gg bis 42 gg Anwendung. Das Standardarbeitsteil gleicht im Querschnitt einem gleichseitigen Dreieck mit abgeflachten Kanten. Die Kerben sind, je nach Anwendungsanforderungen, auf einer, zwei oder allen drei Kanten, verteilt. Der gleichseitige Arbeitsteilquerschnitt hat sich aufgrund seiner optimalen physikalischen Eigenschaften sehr gut bewährt und wird bis heute erfolgreich eingesetzt. Für Produkt- und Nadelanforderungen wie zum Beispiel

- hohe Reißfestigkeit,
- hohe Faser- und Trärgewebeschonung
- Reduzierung von Nadelbruch

werden veränderte Querschnitte wie folgt eingesetzt:

- Dreikant (z. B. TriSTAR®)
Vorteile dieser Nadeln sind intensive Vernadelungsleistung und hohe Verdichtung. Gründe hierfür sind die engeren Kerbenkanten und dadurch eine effizientere Faserumschlingung im Vergleich zum Standardarbeitsteilquerschnitt.
- Vierkant (z. B. CrossSTAR®)
Das Arbeitsteil gleicht einem Stern mit vier identischen Kanten. Der Vorteil ist eine gleichmäßige Vernadelung in mehreren Vliesrichtungen was bei speziellen Produkten eine Verbesserung der isotropischen Eigenschaften und der Festigkeit zur Folge hat.
- Tropfenform
Bei allen anwendungstechnischen Problemen mit geforderter hoher Schonung des zu vernadelnden Vlieses, bietet dieses Arbeitsteil ideale Voraussetzungen. Nur eine Kante dieses Querschnitts ist mit Kerben besetzt und die Nadel kann über eine bestimmte Fußstellung und Position so eingesetzt werden, dass eventuell verwendete Trärgewebe in einer oder mehreren Richtungen definiert geschont werden und das Produkt nicht zu stark an Festigkeit verliert.
- Konische Nadeln
Bei der Verarbeitung von hohen Produktgewichten, schlecht aufgelösten Fasern, aber auch im Einlaufbereich der Vorvernadelungsmaschinen, sind Filznadeln sehr hohen Biegebelastungen ausgesetzt. Die häufige Folge ist Nadelbruch. Nadeln mit konischem Arbeitsteil, welches mit kleinem Querschnitt im Bereich der Nadelspitze beginnt und kontinuierlich größer wird, sorgen für ausreichende Stabilität und geringere Auslenkung. Der Nadelbruch wird reduziert.

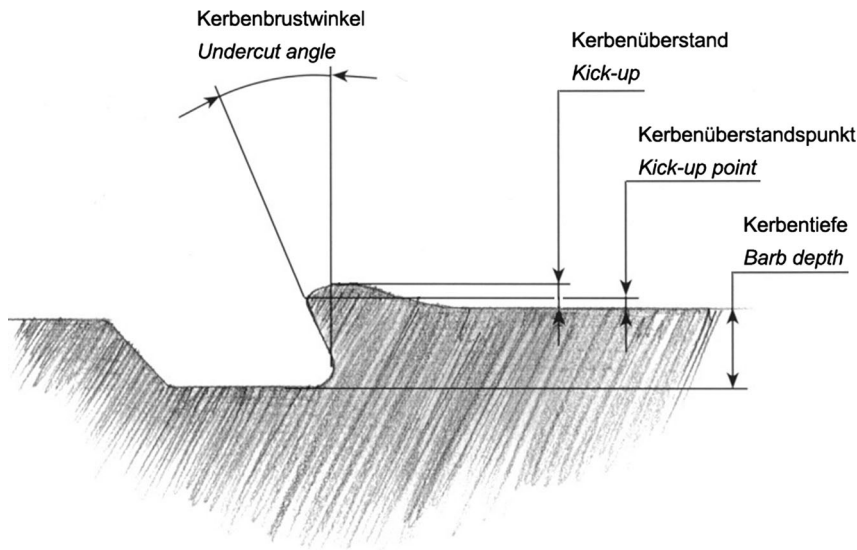


Abb. 6.58 Kerbenabmessungen

Kerben Durch die dreidimensionale Form, Größe, Anzahl, dem Abstand zueinander, sowie der Besetzung an den jeweiligen Kanten werden wichtige Eigenschaften des Produktes bestimmt wie zum Beispiel Dicke, Dichte, Dehnung, Reißfestigkeit, Oberflächenqualität, Luftdurchlässigkeit, Faserverankerung, Dimensionsstabilität, und so weiter. Die Größe der Kerben ist abhängig von der Faserfeinheit. Je feiner die Nadel desto kleiner sind die Kerben. Im Vergleich zu früher werden heute bevorzugt Nadeln eingesetzt mit reduzierter Anzahl Kerben wie zum Beispiel 222, was bedeutet, dass sich 2 Kerben auf jeder Kante befinden.

Die wichtigsten Abmessungen der Kerbe sind (Abb. 6.58):

- Kerbtiefe: bestimmt das theoretische Fasermitnahmepotential
- Kerbenüberstand: definiert, welche Menge an Fasern aufgegriffen – und in die Kerben eingezogen werden kann
- Kerbenbrustwinkel: bestimmt das Faserhaltevermögen beim Durchstich
- Kerbenlänge: sie ermöglicht den Fasern, sich während der Durchstichzeit in die Kerben einzulegen

Spitze Am unteren Ende des Arbeitsteils der Filznadeln befindet sich die Nadelspitze. Für die verschiedenen Anwendungsbereiche werden Nadelspitzen angeboten, welche sich in der Spitzenverrundung, im Schlankheitsgrad der Spitze und in der Spitzenlänge unterscheiden. Optimal angepasste Spitzen reduzieren die Einstichkräfte während der Vernadelung und schonen Fasern und eventuell mit verwendete Trägermaterialien. Die Standardnadelspitze ist eine sogenannte scharfe Spitze (SS).

Für Nadelfilze welche zur Verstärkung mit Trägergeweben ausgestattet sind wie zum Beispiel Papiermaschinenfilze oder Filterfilze werden bevorzugt Nadeln mit verrundeten Spitzen eingesetzt.

Kerbenformen Generell werden zwei Kerbenformen unterschieden

- Konventionelle, gestochene Kerben (KV-Kerbe (Abb. 6.59a))
Diese werden mit traditionellen Werkzeugen gefertigt. Dadurch ergeben sich die typisch klaren und geraden Kanten, welche einen effizienten Fasertransport gewährleisten. Für viele Anwendungsfälle ist dieser Vernadelungscharakter von Bedeutung.
- Dreidimensional verrundete Kerben (RF-Kerbe (Abb. 6.59b) und HL-Kerbe (Abb. 6.59c))

Durch den Einsatz von Präzisionswerkzeugen erfolgt eine verrundete Formgebung. Selbst für Fasern, die durch ihre Eigenschaft und ihren Aufbau schwer umorientierbar sind, ist die RF- oder HL- Kerbenform gut geeignet, da sich die Fasern an der Verrundung im Bereich der Kerbenbrustfläche anlegen und schonend und effizient transportiert werden. Dreidimensional verrundete Kerben bieten optimale Verschleißigenschaften und in der Folge hohe Lebensdauer und gleichmäßige Vernadelungsleistung über den Verarbeitungszeitraum.

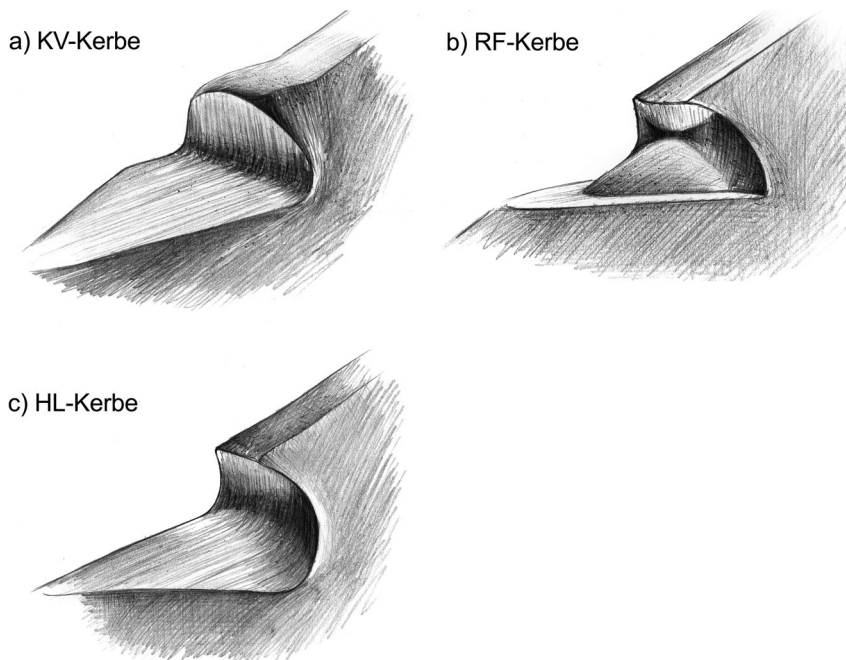


Abb. 6.59 Kerbenformen: a) KV-Kerbe, b) RF-Kerbe, c) HL-Kerbe

Kerbenabstände Der Abstand von Kerbe zu Kerbe bestimmt die Effizienz der Nadel bei einer bestimmten Einstichtiefe durch das zu vernadelnde Material. Der Standardkerbenabstand bezogen auf Kerben, die sich auf derselben Kante befinden, ist 6,36 mm. („R“) Für effizientere Vernadelung und zur Erzielung höherer Dichten können auch Nadeln mit engerem Abstand („C“ oder „M“) eingesetzt werden. Dann sind bei gleicher Einstichtiefe mehr Kerben im Einsatz. Nadeln mit noch engerem Abstand („F“) sind besonders geeignet für Papiermaschinenfilze oder für sehr dünne Vliesstoffe, da dann bei geringer Einstichtiefe recht viele Kerben im Einsatz sind. Die Kerbenabstände „D“ und „S“ werden für spezielle Produkte beziehungsweise bei Strukturierungsarbeiten eingesetzt (Abb. 6.60).

Nadelfeinheit Die Feinheitsbezeichnung bei Filznadeln ist gauge (gg) und bezieht sich auf ein altes Drahtnummerierungssystem. Es definierte in der Vergangenheit die Anzahl der Reduzierungen beim Drahtziehprozess. Die Bezeichnung 15 gg zum Beispiel bedeutete, dass 15 Reduzierungen durchgeführt werden mussten um einen bestimmten Durchmesser zu erreichen. Für die Nadelteile Schaft, reduzierter Schaft und Arbeitsteil gelten unterschiedliche Maßzahlen. Die Feinheit des Arbeitsteils ist für den Anwendungsbereich das wichtigste Kriterium.

Nadellänge Filznadeln sind in den Längen 2 1/2“ bis 5“ erhältlich. Die beiden Standardlängen sind 3 1/2“, welche bevorzugt in der Vorvernadelung und bei sehr voluminösen Produkten zum Einsatz kommen und 3“ für die Zwischen- und Finishvernadelung.

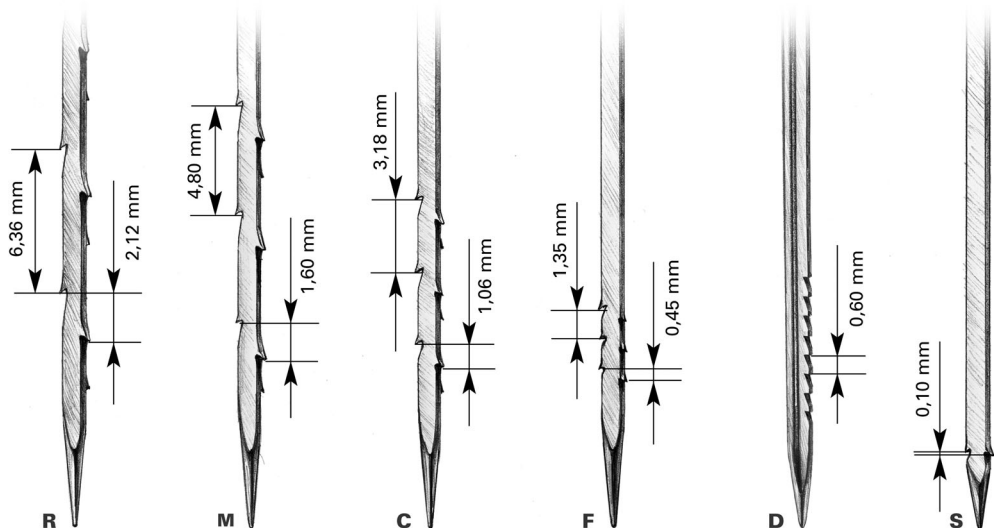


Abb. 6.60 Kerbenabstände

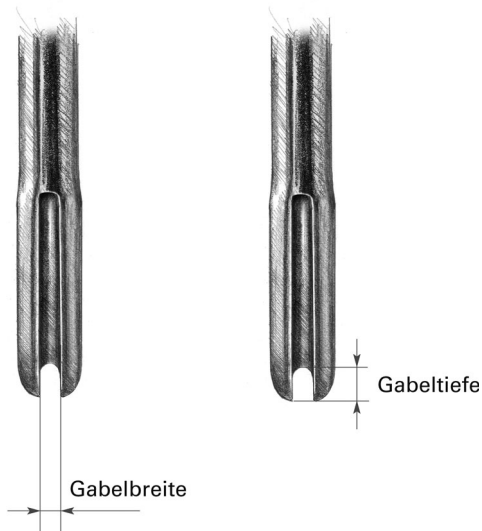


Abb. 6.61 Gabelabmessungen

Gabelgröße bei Strukturierungsnadeln Die Breite und Tiefe der Gabel (s. Abb. 6.61) bestimmen die Anzahl der Fasern, welche beim Einstich in ein vorverdichtetes Vlies aufgegriffen und durchtransportiert werden. Diese Fasern bilden sich an der Ausstichseite als Schlinge aus. Je nach Positionierung der Gabel zur Laufrichtung entsteht eine Rippen- oder Veloursware.

6.2

Maschenbildungsverfahren

Holger Erth, Jochen Schreiber, Alexander Wegner, Walter Zäh

Zur mechanischen Verfestigung von Vliesen durch Maschenbildung mittels Fäden oder Fasern werden verschiedene Verfahren angewendet. Die Hauptgruppen sind nach [17] das Kettenwirken, das auf Basis Kettenwirken arbeitende Nähwirkverfahren und das Stricken (Abb. 6.62).

Kettenwirken und Stricken sind zeitgeschichtlich wesentlich älter als das Nähwirken [18, 19]. Erstere haben vorrangig zum Ziel, Fäden mechanisch zu Flächengebilden zu formen und zu verfestigen. Beim Nähwirken werden Fadenscharen oder Vliese aus Fasern/Filamenten durch Maschenbildung verfestigt. Insbesondere bei der Herstellung von durch Maschenbildung verfestigten Vliesstoffen hat das Nähwirkverfahren in den letzten 40 Jahren industrielle Bedeutung erlangt.

Das Grundprinzip des Kettenwirkens besteht im maschenförmigen Miteinanderverschlingen von Fäden eines oder mehrerer Fadensysteme unter Anwendung unterschiedlicher Bindungen zu einem Flächengebilde [20]. Die Fäden verlaufen im Flächengebilde der Hauptrichtung nach in Längs- bzw. Kettrichtung. Daraus

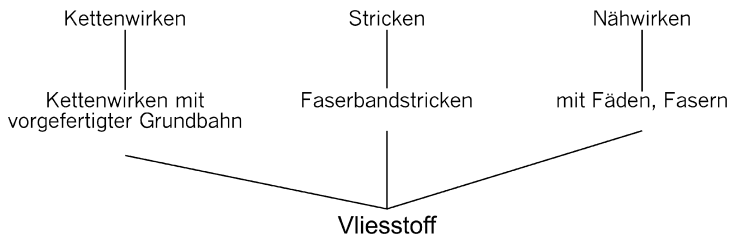


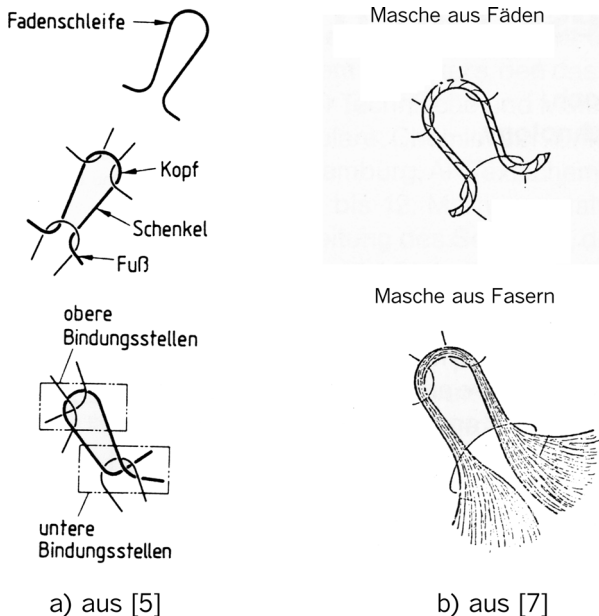
Abb. 6.62 Maschenbildungsprinzipien

leitet sich die Bezeichnung Kettenwirken ab. Die Kettenwirkverfahren realisieren die Schritte zur Maschenbildung an jeder Nadel phasengleich [18].

Beim Stricken werden die Maschen an den Nadeln nacheinander gebildet [18]. Der Faden im Flächengebilde ist seiner Hauptrichtung nach in Quer- bzw. in Maschenreihenrichtung angeordnet [21].

Auf Nähwirkanlagen können textile Flächengebilde nach den Verfahren Nähwirken oder Vlieswirken hergestellt werden [22]. Beim Nähwirken werden Fademaschen, beim Vlieswirken Fasermaschen gebildet.

Das Nähwirken vereinigt zwei Verfahren in sich [17]. Zum einen das Nähen, d. h. Durchstechen und Verbinden von Flächen – z. B. von Fadenscharen, Vliesen – und zum anderen das Wirken, das gleichzeitige Bilden von Maschen aus Fäden bzw. Fasern.



a) aus [5]

b) aus [7]

Abb. 6.63 Maschenform

Bei den vliesverarbeitenden Verfahren unterscheidet man das Vlies-Nähwirken, Typ Maliwatt, das Faser-Vlieswirken, Typ Malivlies, und das Pol-Vlieswirken mit Grundbahn, Typ Voltex. Neuere Verfahrensentwicklungen sind das Pol-Vlieswirken ohne Grundbahn, Typ Kunit und Maliknit sowie das Maschen-Vlieswirkverfahren, Typ Multiknit und OptiKnit®.

Beim Vlies-Nähwirken wird das Faservlies durch Einbinden in ein Maschensystem aus Fäden verfestigt. Beim Faser-Vlieswirken und Pol-Vlieswirken werden die Fasern des Vlieses selbst zur Maschenbildung herangezogen. Die Bezeichnungen Vlies-Nähgewirke und Maschen-Vliesgewirke werden nach DIN 61 211 [6] als gleichwertige Begriffe verwendet.

In Abb. 6.63 [21, 23] sind maschenbildende Elemente einer Faden- und einer Fasermasche dargestellt.

Eine Masche ist durch vier Bindungsstellen gekennzeichnet. Bei der Maschenbildung mit Fäden ist ein kontinuierlicher Fadenverlauf vom Maschenkopf über den Maschenfuß weiter zur nächsten Masche nachweisbar. Bei der aus Fasern besteht eine Besonderheit darin, dass bei der Maschenbildung zwischen den Maschenfüßen benachbarter Maschen kein kontinuierlicher Verlauf vorhanden ist.

6.2.1

Verfahrenssystematik

In Abb. 6.64 sind die unter Verwendung von Vliesen arbeitenden Verfahrensvarianten systematisch dargestellt. Es wurde versucht, die im Sprachgebrauch benutzten Begriffe unter Beachten der Normen zu ordnen [22, 24].

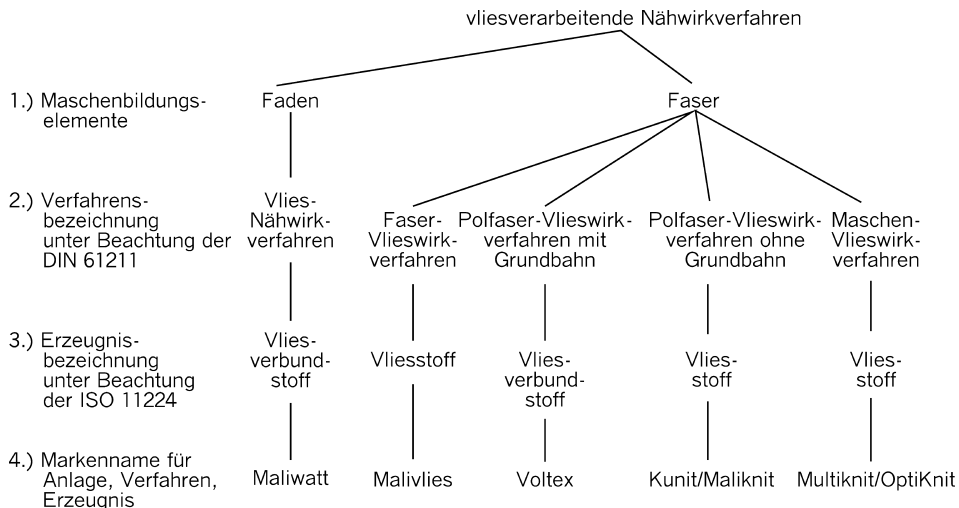


Abb. 6.64 Systematik der Maschenbildungsverfahren zur Vliesverfestigung

6.2.1.1 Vlies-Nähwirkverfahren

Beim Vlies-Nähwirkverfahren werden Faservliese, vorzugsweise Querfaservliese, oder Spinnvliese mit Hilfe von Fäden verfestigt. Dabei werden die Fasern in die Maschen eingebunden, ohne an der Maschenbildung beteiligt zu sein. Grundbindungen sind die Franse- und Trikotbindung (s. Abb. 6.65). Möglich ist auch die Anwendung von 2 Fadensystemen, sodass beide Bindungen gleichzeitig angewendet werden können. Weitere Bindungen sind Tuch, Samt, Atlas und Schuss.

Die nachfolgenden technischen Ausführungen basieren auf den Maschinenkonzepten der Firma KARL MAYER Malimo Textilmaschinenfabrik GmbH. Die Maschinen werden heute von der Firma Christian Pinkert Textilmaschinen gefertigt. Diese Erzeugnisse können teils auch auf Maschinen der Firma LIBA Maschinenfabrik GmbH erzeugt werden.

Das Prinzip der Maschenbildung mit Fäden wird in Abb. 6.66 dargestellt. Die Vliesverfestigung mit den Hauptelementen Schiebernadel, Schließdraht, Schiebernadelhaken und Lochnadel wird aus den Verfahrensschritten a bis g erkennbar.

In Abb. 6.67a sind die Ansicht und in Abb. 6.67b das Prinzipbild des Anlagenschemas zur Herstellung eines Nähwirkvliesstoffes Maliwatt dargestellt. Die Vliesbildungseinheit, bestehend aus Krempel und Quertäfler, ist direkt mit der Nähwirkmaschine gekoppelt.

Ein durch Maschenbildung mit Fäden verfestigtes Vlies zeigt Abb. 6.68.

Vorteile dieses Verfahrens bestehen in der Herstellung verschiedenartigster Vliesverbundstoffe mit unterschiedlichen Eigenschaftsprofilen [25]. So können Vliesverbundstoffe von leicht bis schwer, von weich fließend bis kompakt in unterschiedlichsten Materialstärken und Festigkeitseigenschaften gefertigt werden.

Das Vlies-Nähwirkverfahren kann kontinuierlich, aber bei Bedarf auch diskontinuierlich mit Vliesbildungsmaschinen betrieben werden [26, 27]. Darüber hinaus können zusätzlich verschiedene Materialien, z. B. vorgefertigte Flächengebilde, zugeführt und in den Vliesverbundstoff eingebunden werden.

Weitere Verfahrensvarianten sind anlagentechnische Lösungen [28] für

- die Textilglasverarbeitung zum Beispiel mit einem Roving-Breitschneidwerk,
- die Verarbeitung von kurzstapeligen Fasermaterialien aus Sekundärrohstoffen sowie
- kundenspezifische Ausführungen, z. B. zur Herstellung von Sandwichtextilien.

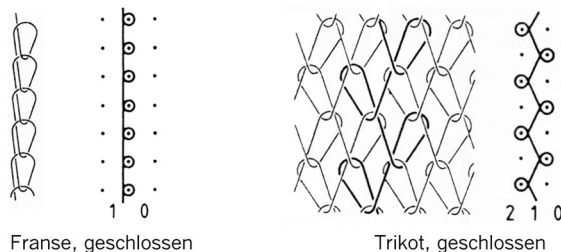


Abb. 6.65 Franse- und Trikotbindung

322 | 6 Vliesverfestigung

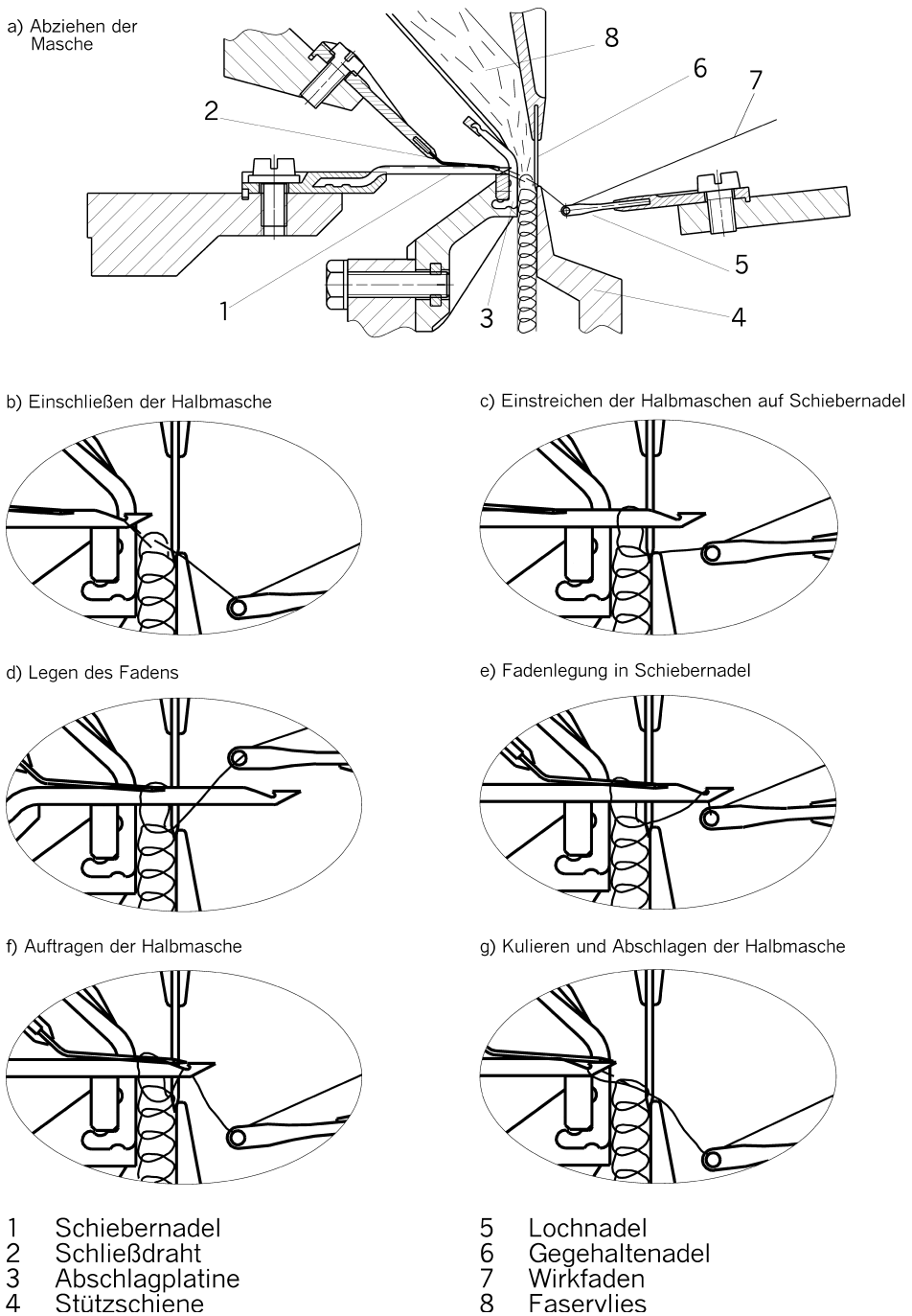
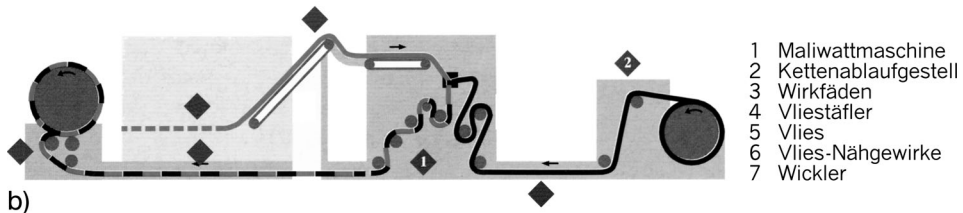


Abb. 6.66 Arbeitsstelle und Maschenbildungszyklus der Vlies-Nähwirkmaschine Maliwatt



a)

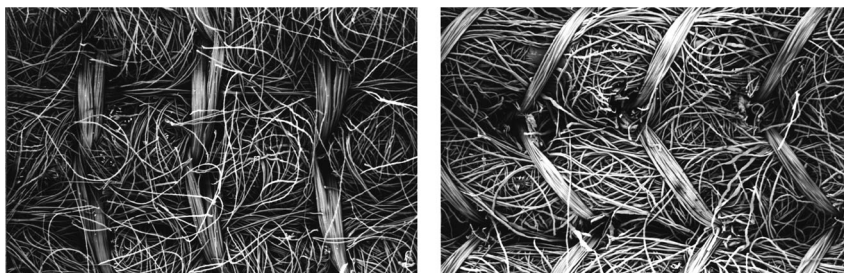


b)

Abb. 6.67 a) Vlies-Nähwirkmaschine Maliwatt: Anlagenansicht, b) Vlies-Nähwirkmaschine Maliwatt: Anlagenschema

Der Verfestigungsgrad der Vlies-Nähgewirke ist abhängig von der Anzahl Fademaschen je Flächeneinheit. Sie ist das Produkt aus Maschenstäbchendichte (Anzahl Maschenstäbchen je Längeneinheit) und Maschenreihendichte (Anzahl Maschenreihen je Längeneinheit). Die Maschenstäbchen verlaufen im Vliesverbundstoff in Maschinenarbeitsrichtung, die Maschenreihen quer dazu.

Die Maschenstäbchendichte wird durch die Maschinenfeinheit, d. h. die Anzahl Wirkelemente je 25 mm Arbeitsbreite, bestimmt. Beim Nähwirken können derzeit



a)

b)

Abb. 6.68 Vlies-Nähwirkstoff Maliwatt a) Maschenseite, b) Stegseite

bis max. 22 Maschenstäbchen auf 25 mm Arbeitsbreite realisiert werden. Die entsprechenden Maschinenfeinheiten werden mit 7 F, 10 F, 14 F usw. angegeben.

Die Maschenreihendichte wird durch die Stichtlänge bestimmt. Maschinentechnisch werden Stichtlängen zwischen 0,5 mm und 5,0 mm verwirklicht. Maschinenfeinheit und Stichtlänge sind erzeugnisabhängige Prozessgrößen.

Die Grundwirkwerkzeuge des Vlies-Nähwirkverfahrens sind Schiebernadel, Schließdraht und Abschlagplatine (s. Abb. 6.66). Die Schiebernadeln werden z. B. eingeteilt in grob, mittel, fein und sehr fein. Aus Stabilitätsgründen sind auch Kombinationen zwischen zwei Nadelfeinheiten üblich, z. B. fein/sehr fein. Dabei entsprechen die Höhe der Schiebernadel der niedrigeren und ihre Breite der höheren Feinheit. Für die verschiedenen Verfahrensvarianten existieren neben den Grundwirkwerkzeugen weitere verschiedenartige Wirkwerkzeugausführungen [29].

Beim Vlies-Nähwirkverfahren werden verfahrensbedingt außer den Grundwirkelementen noch die Lochnadeln, die die Wirkfäden führen, eine Stützscheine und Gegenhaltenadeln, die zur örtlichen Fixierung des zu durchstechenden Faservlieses dienen, benötigt (Abb. 6.66a).

Die einzelnen Wirkwerkzeuge werden in Fassungen mit einer Breite von 25 mm entsprechend der jeweiligen Maschinenfeinheit eingegossen. Sie sind auf Wirkbarren befestigt. Schiebernadel- und Schließdrahtbarre sind über Schubstangen mit den Antriebsexzentern bzw. neuerdings Kurbelwellen verbunden, die Abschlagplatinenbarre ist starr angeordnet. Bei Zerstörung eines Wirkelementes muss die betreffende Fassung ausgetauscht werden.

Die nach diesen Verfahren zu verfestigenden Vliese besitzen vorzugsweise in Querrichtung orientierte Fasern. Prinzipiell können im zu verfestigenden Vlies alle Faserstoffe verarbeitet werden, die sich zu einem Faservlies formen lassen [17]. Bevorzugt werden aus verfahrenstechnischen und technologischen Gründen Fasern mit größerer Faserlänge, z. B. Fasern des Wolltyps, verwendet.

Als Wirkfäden können Garne, Zwirne, glatte oder texturierte Filament- und Foliefäden verarbeitet werden.

Nähwirkmaschinen des Typs Maliwatt sind mit ein oder zwei Legeschienen ausgerüstet. Die Legung wird mit zwei Bewegungskomponenten, der Schwing- und Versatzbewegung, realisiert. Während die Schwingbewegung immer mittels Kreisexzenter und entsprechendem Kurbeltrieb erfolgt, kann bei der Versatzbewegung neben dem Einsatz von Kreisexzentern auch ein Kurvenscheibengetriebe zum Einsatz gelangen. Mit Hilfe der Kreisexzenter ist die Realisierung der Bindungen Franse und Trikot möglich. Bei Einsatz von zwei Legeschienen kann beispielsweise die eine für Franse und die zweite für Trikot genutzt werden.

Bei Einsatz des Kurvenscheibengetriebes sind im Vliesverbundstoff Musterrapporte bis 16 Maschenreihen möglich. Neben den Grundbindungen Franse und Trikot sind dann z. B. auch Tuch-, Samt-, Atlas- und Schussbindungen möglich. In Kombination mit speziellen Fadeneinzügen, z. B. Fileteinzügen, sind durchbrochene Muster (Abb. 6.69a) herstellbar. Bei Einsatz von Polplatinen anstelle der Gegenhaltenadelfassungen (Abb. 6.66, Position 6) entstehen Vlies-Nähwirkstoffe

mit Pol (Abb. 6.69b). Bei entsprechenden Bindungen können diese für Hoch/
Tiefmusterungen genutzt werden (Abb. 6.69c).

Durch

- Variation der Bindung,
- Variation der Ausgangsstellung der Legeschiene,
- Variation des Fadeneinzuges und
- Verarbeitung bunt geschärfter Ketten

sind gemusterte Vlies-Nähwirkstoffe herstellbar [30, 31].

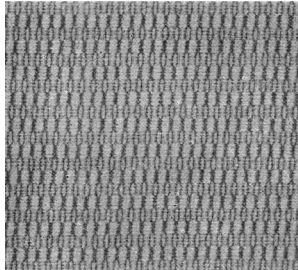
Durch die Maschenbildung tritt eine Einarbeitung E des Wirkfadens [32] nach Gleichung 6.26 ein.

$$E = \frac{l_f - l_w}{l_f} = 1 - \frac{l_w}{l_f} \quad (6.26)$$

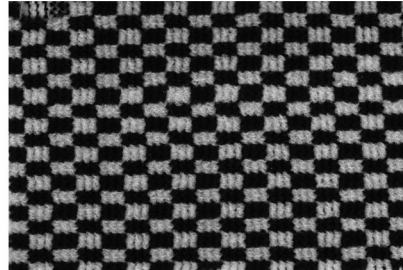
l_f Ausgangsfadenlänge

l_w Fadenlänge im Gewirke

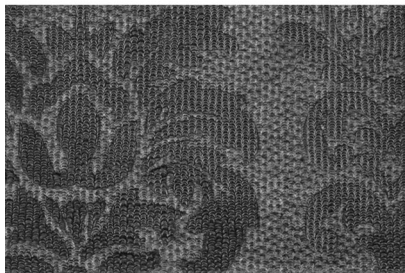
Diese ist bei den Materialeinsatzberechnungen zu beachten. Sie ist von der Größe des Versatzes der angewendeten Bindung, der Stichtlänge, der Flächenmasse, der Fadenspannung und der Höhe eventuell vorhandener Polplatinen abhängig.



a)



b)



c)

Abb. 6.69 a) Filetstruktur, b) Polstruktur, c) Polstruktur mit Prägung

Tabelle 6.1 Technische Daten der Vlies-Nähwirkmaschine Maliwatt [25]

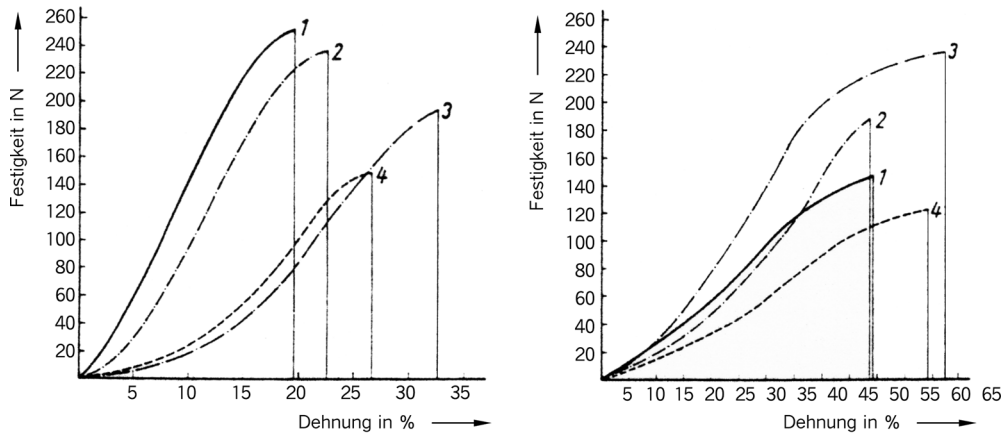
max. Arbeitsbreite*	(mm)	2900	4150	6150
max. Legeschieneanzahl		2		
Maschinenfeinheit F*		3,5 bis 22		
(Nadeln/25 mm)				
Stichlängenbereich	(mm)	0,5–5,0		
max. Drehzahl**	(U/min)	2500	2800	
Leistung***	(m ² /h)	bis 1960	bis 2800	bis 4150
Flächenmasse des Vlies-		60–1500,		
Nähgewirkes	(g/m ²)	bis 2500 bei speziellen Materialien (Glas)		
Legung		Franse, Trikot, Tuch, Samt, Atlas, Schuss, Kombinationen dieser Legungen		

* Arbeitsbreiten sind beliebig reduzierbar, weitere Feinheiten auf Anfrage

** 1 Legeschiene

*** in Abhängigkeit von Einsatzbedingungen und Artikelspezifikation

Bei einlegeschiebiger Arbeitsweise liegen die Verhältnisse einfach. Hier nimmt die Einarbeitung mit zunehmender Stichlänge und Fadenspannung ab und mit zunehmender Flächenmasse und zunehmender Polplatinenhöhe zu [17]. Die Bindung Trikot weist aufgrund des größeren Fadenversatzes eine höhere Einarbeitung als die Fransebindung auf.



a) Längsrichtung

- Stichlänge 1,02 mm
 Flächenmasse 125 g/m²
 1 Franse, geschlossen
 2 Franse, offen
 3 Atlas, offen
 4 Trikot, geschlossen

b) Querrichtung

Abb. 6.70 Festigkeits-Dehnungs-Diagramm von Vlies-Nähgewirken verschiedener Legungen

Bei zweilegeschieniger Arbeitsweise liegen die Tendenzen gleich, jedoch muss hier noch das Verhältnis der Fadenspannungen zwischen den einzelnen Lege-schienen beachtet werden [33].

Die Einarbeitung des Vlieses unterliegt – wenn auch in wesentlich geringerem Maße – ebenfalls den Einflussfaktoren Stichtlänge, Flächenmasse und Fadenspannung.

Einige technische Daten der Nähwirkmaschine Malimo, Typ Maliwatt, sind in Tab. 6.1 zusammengefasst.

Umfangreiche Ergebnisse über die Eigenschaften von Vlies-Nähgewirken liegen von Scholtis u. a. [33, 34] sowie Böttcher [35] vor.

Die Festigkeits- und Dehnungseigenschaften in Längsrichtung werden wesentlich durch die Eigenschaften der Wirkfäden bestimmt. In Querrichtung sind für die Festigkeit zusätzlich die durch die Einbindung der Fasern in die Wirkfadenmaschen hervorgerufenen Formschluss- und Reibungskräfte entscheidend. Sie sind abhängig von z. B. Stichtlänge, Faserlänge, Fasermaterialart. Bei Einsatz von zwei Wirkfadensystemen kann auch durch Anwendung spezieller Bindungen (großen Versatz aufweisende Bindungen, z. B. Tuch, Samt, Schuss) die Festigkeit in Querrichtung entscheidend beeinflusst werden. Abbildung 6.70 zeigt die Festigkeits-Dehnungseigenschaften von Vlies-Nähgewirken in Abhängigkeit der Bindungen.

6.2.1.2 Faser-Vlieswirkverfahren

Im Gegensatz zum Vlies-Nähwirkverfahren Maliwatt werden bei dieser Verfahrensvariante für die Maschenbildung keine Fäden verwendet, sondern ausschließlich Fasern eines Vlieses mit vorzugsweise querorientierter Faserlage. Der Schiebernadelhaken erfasst hierbei Fasern aus dem den Einlegeplatinen zugewandten Teil der Vliesschicht und zieht diese durch die den Abschlagplatinen zugewandten Seite der Vliesschicht (s. Abb. 6.71). Das bedeutet, dass ein Teil der Fasern vermascht wird, während der andere Teil nur in die Maschen eingebunden ist. Dabei ist es möglich, dass dieselbe Faser einmal zur Maschenbildung herangezogen wird und in einer anderen Masche nur eingebunden ist ohne selbst Masche zu bilden. Die zum Auskulieren der Maschen benötigten Faserlängenreserven sind durch die Beweglichkeit der Fasern des unverfestigten Vlieses, ihrer Kräuselung und dem aus der Vliesbildung resultierenden Legewinkel gegeben. Eine Verletzung des Kuliengesetzes tritt deshalb im Allgemeinen nicht ein.

Der Vergleich der Abb. 6.71 mit Abb. 6.64 zeigt, dass anstelle der Lochnadel die Einlegeplatine wirksam ist. Sie ist starr angeordnet und hat die Aufgabe, das Faservlies zu fixieren.

Die folgenden technischen Informationen zum Faser-Vlieswirken basieren auf den Maschinenkonzepten der Firma KARL MAYER Malimo Textilmaschinenfabrik GmbH. Derartige Erzeugnisse sind auch auf Wirkmaschinen der Firma LIBA Maschinenfabrik GmbH herstellbar.

Abbildung 6.72 zeigt eine Faser-Vlieswirkmaschine Malivlies, einschließlich Krempel und Kreuzleger.

In Analogie zum Vlies-Nähwirken werden die Maschinenfeinheit und die Stichtlänge zur Steuerung der Verfestigungsintensität genutzt. Zusätzlich kann der Grad

328 | 6 Vliesverfestigung

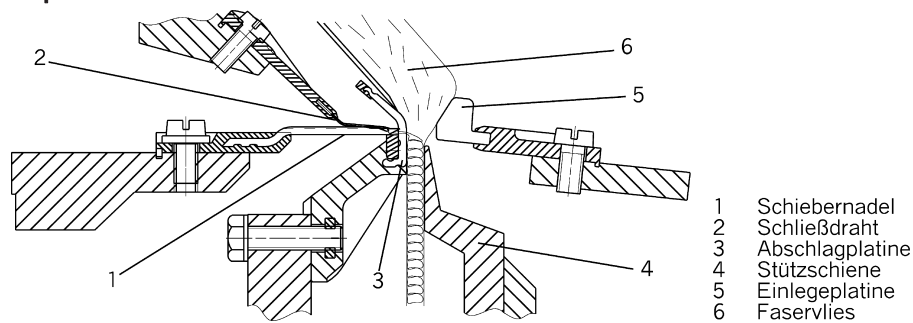


Abb. 6.71 Arbeitsstelle der Faser-Vlieswirkmaschine Malivlies

der Verfestigung durch Veränderung der Spaltbreite, des Einlegeplattenabstandes und der Position des Schließpunktes der Schiebernadel zur Abschlagplatte beeinflusst werden. Dadurch wird die Faserzahl, die an der Maschenbildung beteiligt ist, verändert.

Beim Faser-Vlieswirkverfahren werden bevorzugt lange Fasern verarbeitet. Je länger die Fasern sind, desto öfter sind sie an der Maschenbildung beteiligt bzw. sind sie in Maschen eingebunden. Spröde Fasern, wie z. B. Glas und Carbon, sind aufgrund ihrer geringen Flexibilität für die Vermaschung weniger geeignet. Bestimmte Mustereffekte können nur durch Verarbeitung von Schichtvliesen, z. B. unterschiedlicher Farbigkeit, und/oder durch Einsatz beweglicher Einlegeplatten erzielt werden.

Durch die Maschenbildung mit Fasern kommt es im Gegensatz zum Vlies-Nähwirkverfahren zu einer höheren Einarbeitung des Vlieses. Sie ist abhängig vom Vermaschungsgrad. Eine hohe Einarbeitung kann zu einer Schichtentrennung im zugeführten Faservlies führen. Die Ursache ist die stärkere Einarbeitung des Teils der Vlieschicht, aus der Fasern zur Maschenbildung herangezogen werden. Die Tab. 6.2 enthält technische Maschinenangaben.

Tabelle 6.2 Technische Daten der Faser-Vlieswirkmaschine Malivlies [28]

max. Arbeitsbreite*	(mm)	2900	4150	6150
Maschinenfeinheit F*		14 bis 22		
(Nadeln/25 mm)				
Stichlängenbereich	(mm)	0,5–5,0	0,5–5,0	0,5–5,0
max. Drehzahl	(U/min)	2500	2800	
Leistung**	(m ² /h)	bis 1370	bis 1960	bis 2905
Flächenmasse des Faser-Vliesgewirkes	(g/m ²)	70-1900		

* Arbeitsbreiten sind beliebig reduzierbar, weitere Feinheiten auf Anfrage

** in Abhängigkeit von Einsatzbedingungen und Artikelspezifikation



Abb. 6.72 Faser-Vlieswirkmaschine Malivlies

Bedingt durch die Vliesstoffstruktur besitzen Faser-Vliesgewirke in der Regel eine höhere Festigkeit in Querrichtung als in Längsrichtung. Sie zeichnen sich durch hohe Voluminosität, Weichheit, gutes Saugvermögen, günstiges druckelastisches Verhalten und gute Luftdurchlässigkeit aus. Umfangreiche Untersuchungen über die Festigkeits-Dehnungseigenschaften in Abhängigkeit von den Faserstoffeigenschaften und Verfahrensbedingungen wurden von Scholtis, Ploch, Böttcher u. a. untersucht [34, 36–38].

Einen wesentlichen Einfluss auf die Masseungleichmäßigkeit hat bei Faser-Vliesgewirken der Zeitpunkt des Schließens des Schiebernadelhakens durch den

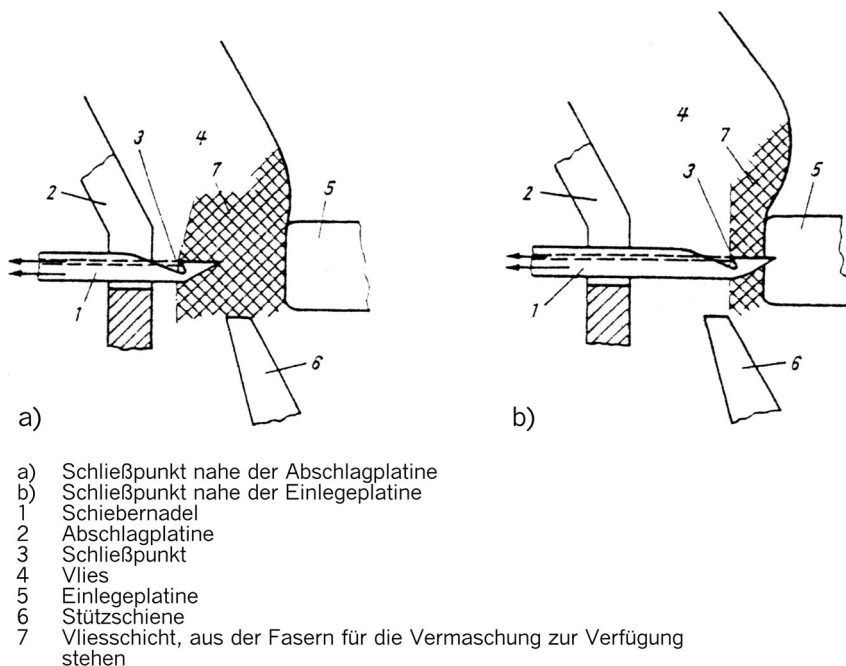


Abb. 6.73 Schließpunkt der Schiebernadel durch den Schließdraht

Schließdraht (Schließpunkt). In Abb. 6.73 wird deutlich, dass je nach Abstand des Schließpunktes von der Abschlagplatinenvorderkante unterschiedlich dicke Teilschichten des Vlieses zur Maschenbildung herangezogen werden.

Es wurde festgestellt [36], dass die Masseungleichmäßigkeit ein Minimum erreicht, wenn der Schließpunkt von der Abschlagplatinenvorderkante bei etwa 1/3 der Gesamtvliesdicke liegt. Es ist derjenige Punkt, bei dem das Fassungsvermögen des Schiebernadelhakens für die Faseraufnahme ausgeschöpft ist. Befindet sich der Schließpunkt weiter von der Abschlagplatinenvorderkante entfernt, führen die vorhandenen Dicken- und Masseschwankungen des Vlieses dazu, dass mehr oder weniger Fasern erfasst werden. Daraus resultieren örtlich unterschiedlich starke Einarbeitungen des Vlieses, die die Masseschwankungen im Vliesstoff verstärken.

Das Kuliergesetz für die Maschenbildung mit fadenförmigen Materialien [18] kann sinngemäß auch auf die Maschenbildung mit Fasern angewendet werden [39]. Entscheidend dafür, ob eine Faser durch den Schiebernadelhaken erfasst werden kann, oder ob sie von mehreren Schiebernadelhaken gleichzeitig erfasst wird oder ob sie gar nicht erfasst werden kann, ist der Faserlagewinkel α_F [40].

Zur Verbesserung der Eigenschaften von Faser-Vliesgewirken, insbesondere der Festigkeits-Dehnungseigenschaften wurden detaillierte Untersuchungen durchgeführt. Scholtis [41] hat zur Charakterisierung der geometrischen Faseranordnung im Faser-Vliesgewirke den Begriff Vermaschungsgrad η_m eingeführt. Dieser kennzeichnet das Verhältnis der maschenförmig angeordneten Faserstrecken Σl_m zur Gesamtfaserlänge Σl_f .

$$\eta_m = \frac{\Sigma l_m}{\Sigma l_f} \quad (6.27)$$

Die Bestimmung der maschenförmig angeordneten Faserstrecken l_m erfolgt unter Nutzung der Gleichung von Munden [42] und unter Hinzufügen eines Korrekturwertes $1/3 D$, durch den die Vliesdicke berücksichtigt wird. In Abb. 6.74 werden die geometrischen Verhältnisse veranschaulicht.

Offermann, Mägel, Ponnahannadige und Jenschke [43–45] haben im Rahmen von Untersuchungen zur Modellierung des Verfestigungsprozesses bei Faser-Vliesgewirken ebenfalls die Maschenlänge der Fasermasche unter Berücksichti-

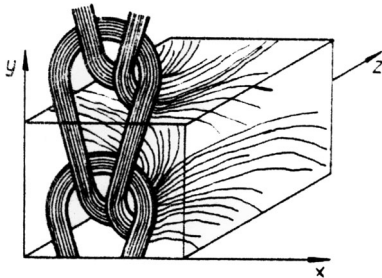


Abb. 6.74 Geometrische Darstellung maschenförmig angeordneter Faserstrecken l_m

gung der geometrischen Verhältnisse an der Arbeitsstelle der Nähwirkmaschine bestimmt.

Danach errechnet sich die Maschenlänge l_m aus Gleichung 6.28 zu:

$$l_m = 2(l_{Apl} + l_H) + t + \frac{3}{2} \left(\frac{t}{2} - \frac{B_{SN}}{2} - \frac{B_{Apl}}{2} \right) \quad (6.28)$$

l_{Apl} Abstand zwischen Abschlagplatinenvorderkante und hinterem Totpunkt der Schiebernadelspitze in mm

l_H Länge des Schiebernadelhakens in mm

B_{SN} Breite der Schiebernadel im Faserraum in mm

B_{Apl} Breite der Abschlagplatte in mm

x Abstand zwischen Schiebernadel und Abschlagplatte in mm

t $2x + B_{SN} + B_{Apl}$

Durch die Kombination dieser Größe mit der Wirkungshöhe h_w des Schiebernadelhakens und dem Faserlagewinkel α_F können die Einbindungsmöglichkeiten der Fasern im Vlies erfasst werden.

Die theoretischen Erkenntnisse über das Vermaschen von Vliesen gestatten es, in Abhängigkeit von Faserstoff- und Prozessvariablen die theoretischen Einbindungspunkte für die Fasern im Faser-Vliesgewirke zu ermitteln und Schlussfolgerungen für das Verhältnis der Längs- zur Querfestigkeit abzuleiten.

Beim Vermaschen eines Vlieses ergeben sich hohe mechanische Belastungen, die sowohl zu Faserstoff- als auch Wirkwerkzeugschädigungen führen können. Die mechanischen Belastungen resultieren aus den auftretenden Reibungskräften zum einen beim Durchstechen vorgelegter Materialien (Faservliese oder Grund-

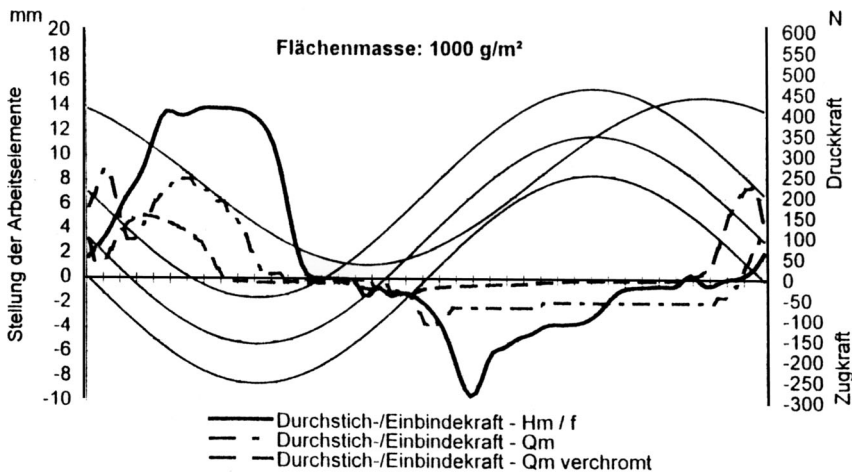


Abb. 6.75 Druck- und Zugkraftverlauf für eine Schiebernadelfassung beim Faser-Vlieswirkverfahren

bahnen) und zum anderen beim Ausformen der Fäden bzw. Fasern zu Henkel und Maschen. Untersuchungen zur Ermittlung der Durchstich- und Einbindekräfte wurden von Ploch [46–48], Zschunke [49] und Nedewa [50] durchgeführt. Schmalz [51] hat die auftretenden Druck- und Zugkräfte in Abhängigkeit eines Maschenbildungszyklus (s. Abb. 6.75) für die Maschinenfeinheit F 7 einer bestimmten Vlieskonstruktion bestimmt. Neben den auftretenden Druck- und Zugkräften ist deren zeitlicher Verlauf im Vergleich zur Nadelbewegung aufschlussreich. Zum Teil wirken immense Kräfte auf die Wirkelemente und die Faserstoffe ein. Im abgebildeten Beispiel kam die Maschinenfeinheit 7 F zum Einsatz, sodass die auf eine Schiebernadel wirkenden Druckkräfte 64,3 N und Zugkräfte 35,7 N betragen.

6.2.1.3 Polfaser-Vlieswirkverfahren mit Grundbahn

Bei diesem auch Voltex genannten Verfahren wird im Gegensatz zu den Vlies-Nähwirk- und Faser-Vlieswirkverfahren ein Faservlies mit vorzugsweise in Verarbeitungsrichtung orientierter Faserlage, z. B. ein Krempelflor, in eine Grundbahn eingearbeitet [52, 53]. Das Verfahrensprinzip mit den Wirkwerkzeugen ist in Abb. 6.76 schematisch dargestellt.

Die nachfolgenden technischen Ausführungen basieren auf den Maschinenkonzepten der Firma KARL MAYER Malimo Textilmaschinenfabrik GmbH.

Ein Faserflor (8) mit einer Masse zwischen 10 g/m² und 80 g/m² wird mit Hilfe eines Stopfelementes (5) – einer Bürste – in den Schiebernadelhaken der Schiebernadel (1) eingedrückt. Die durch diese erfassten Fasern werden durch die Grundbahn (7) hindurch gezogen und auf der den Abschlagplatinen (3) zugewandten Seite zu Maschen ausgeformt. Je nach Höhe der verwendeten Polplatinen (6) entstehen entsprechend hohe Polnoppen. Die einstellbaren Geschwindigkeitsverhältnisse von Vlieszuführung und Maschenbildung führen zu einer Verdichtung des Flores in einem Verhältnis von 1:4 bis 1:10, sodass der Masseanteil der

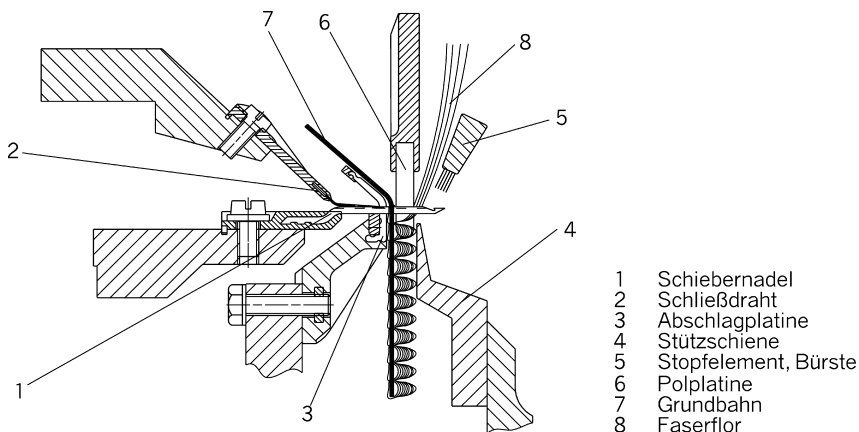
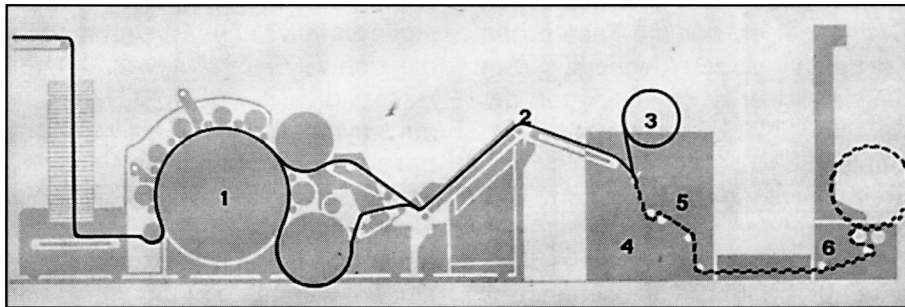


Abb. 6.76 Arbeitsstelle für Polfaser-Vlieswirkverfahren mit Grundbahn



1 Faservliesbildner
2 Vliesüberleitung

3 Grundware
4 Nähwirkmaschine

5 Polvlies-Nähgewirke
6 Warenwickelvorrichtung

Abb. 6.77 Kontinueanlage zur Herstellung von Polfaser-Vliesgewirke mit Grundbahn

Poltschicht im Bereich von 100 bis 800 g/m² liegen kann. Als Grundbahn können Gewebe, Gewirke, Vliesstoffe, Folien usw. zugeführt werden. Wichtig ist, dass diese von den Schiebernadeln durchstochen werden können, ohne dass eine große Strukturschädigung erfolgt. Die Gesamtmasse des Polfaser-Vliesgewirkes Voltex ergibt sich somit als Summe aus den Massen der eingesetzten Grundbahn und der Polvlieschicht. Eine entsprechende Kontinueanlage besteht aus einer Krempel für die Florbildung, der Florüberleitung, einer Nähwirkmaschine Typ Voltex mit Zuführeinrichtung für die Grundbahn und einem Warenwickler (s. Abb. 6.77).

Die Bürste für die Florverdichtung wird mit einer konstanten Hubgröße betrieben. Sie hat auf die Polhöhenausbildung keinen Einfluss. Die Polhöhe wird nur durch die Polplattenhöhe bestimmt. Für das Erreichen großer Polhöhen und einer guten Fasereinbindung ist der Einsatz langer Fasern erforderlich. Die Faserlänge sollte >60 mm sein.

Durch Verarbeitung von Fasermischungen unterschiedlicher Faserarten und Feinheiten ist die Polvliesstruktur von grob bis fein variierbar

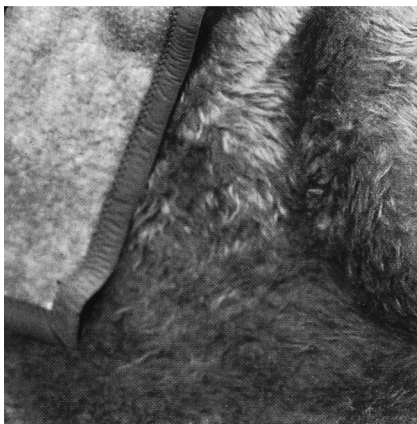


Abb. 6.78 Schlafdecke Molly

Die Variation von Maschenreihen- und Maschenstäbchendichte ist mit entscheidend für die Poldichte. Sie beeinflusst wesentlich Voluminosität, Wärmerückhaltevermögen, Griff und Optik des Vliesstoffes. Seine Festigkeit und Dehnung sind abhängig von den Eigenschaften der Grundbahn [54]. Durch Veredlung des Rohvliesgewirkes, wie z. B. Rauhen, Scheren und Tumbeln, kann ein gleichmäßiger Rauhflor in Höhen zwischen 2 und 17 mm erzeugt werden.

Derartige Polfaser-Vlieswirkstoffe mit Grundbahn sind geeignet für die Herstellung von Schlafdecken (Abb. 6.78), Raumluftfilter, Schuhinnenfutter, Spielzeugplüsch und Innenfutterstoffen für Winterbekleidung.

6.2.1.4 Polfaser-Vlieswirkverfahren ohne Grundbahn

Beim Polfaser-Vlieswirkverfahren Kunit [55] werden aus dem Faserflor mit bevorzugt längsorientierter Faserlage Vliesgewirke mit Polstruktur gebildet. Die Fasern im Vliesstoff nehmen eine bevorzugte senkrechte Lage an. Abweichend zu den anderen Vlieswirkverfahren hat die Schiebernadel die Aufgabe, den vorgelegten Faserflor so in Falten zu legen, dass diese durch die Bürste in den Schiebernadelhaken eingedrückt werden können (Abb. 6.79). Die Schiebernadel besitzt keine Spitze, da das Durchstechen von Vlies oder Grundbahn nicht erforderlich und gewollt ist. Zudem können dadurch die zu bildenden Maschen kleiner auskultiert werden. Es entstehen feste Maschen, obgleich keine Rückstellkräfte für das Zurücknehmen überschüssiger Maschenlänge wirken [56].

Die nachfolgenden technischen Ausführungen basieren auf den Maschinenkonzepten der Firma KARL MAYER Malimo Textilmaschinenfabrik GmbH. Die Maschinen werden heute von der Firma Christian Pinkert Textilmaschinen gefertigt.

Bei dem Kunitverfahren werden keine Polplatinen benötigt, was eine Vereinfachung des Verfahrens und der Arbeitsstelle der Nähwirkmaschine bedeutet. Die Polhöhe wird im Gegensatz zum Voltex-Verfahren über den Schwinghub der Bürste, der maschinentechnisch zwischen 8 mm und 70 mm betragen und

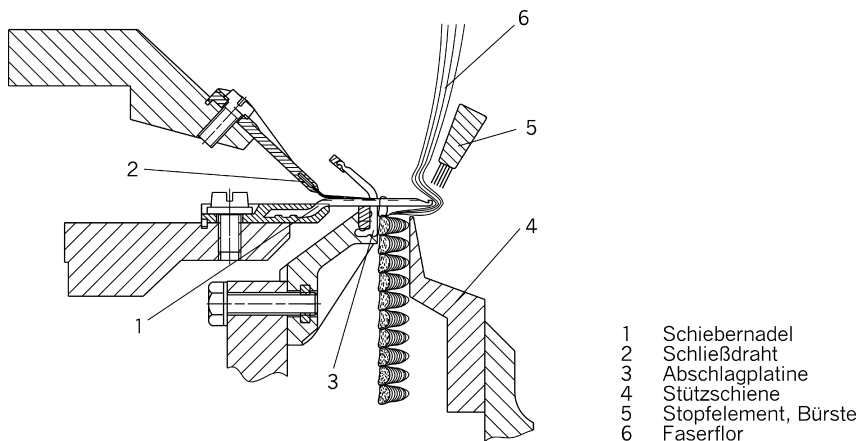


Abb. 6.79 Arbeitsstelle für Polfaser-Vlieswirkverfahren ohne Grundbahn

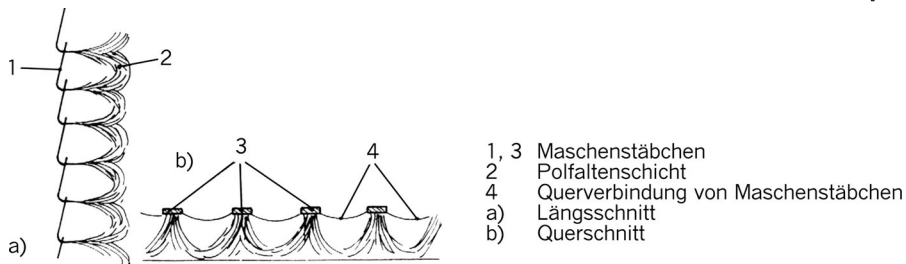


Abb. 6.80 Aufbau des Polfaser-Vliesgewirkes Kunit

kontinuierlich eingestellt werden kann, bestimmt [57]. Wie beim Vortex-Verfahren wird der Krempelflor im Verhältnis 1:4 bis 1:10 verdichtet. Der Bereich der Flächenmasse des Vliesstoffes Kunit liegt zwischen 100 und 800 g/m². Zum Vliesverbundstoff Vortex ergibt sich für den Vliesstoff Kunit ein Unterschied im strukturellen Aufbau, der sich auch optisch zeigt. Während beim Vortex-Vliesstoff die Polhenkelreihen optisch in Längsrichtung orientiert sind, da die Polplatten die Ausrichtung der Henkel vorgeben, liegen diese beim Kunit-Vliesstoff in Querrichtung. Der Kunit-Vliesstoff besitzt eine Faserpolschicht und auf der anderen Wareenseite eine Maschenschicht (Abb. 6.80).

In Analogie zur Herstellung von Polfaser-Vliesgewirken mit Grundbahn arbeitet die Nähwirkmaschine, Typ Kunit, kontinuierlich mit der Krempelanlage. Die Maschenstäbchen- und die Maschenreihendichte bestimmen maßgeblich den Grad der Vliesverfestigung.

Die Maschinenleistungen sind in Tab. 6.3 enthalten. Durch Massereduzierung der am Bürstenantrieb beteiligten Bauelemente und der Bürste selbst konnte, in

Tabelle 6.3 Technische Daten der Polfaser-Vlieswirkmaschine Kunit und Multiknit [58]

Technische Daten		Kunit	Kunit	Multiknit	Multiknit
max. Arbeitsbreite*	(mm)	2900	3800	2900	3800
Maschinenfeinheit F*		10 bis 22			
(Nadeln/25 mm)					
Stichlängenbereich	(mm)	1,0–5,0			
Max. Drehzahl	(U/min)	2000		2000	
Leistung**	(m ² /h)	bis 580	bis 760	bis 960	bis 1260
Dicke	(mm)	2–12		2–10	
				2–17***	
				120–800	
Flächenmasse	(g/m ²)	120–800		einschichtige Erzeugnisse; 150–1400 mehrschichtige Erzeugnisse	

* Arbeitsbreiten sind beliebig reduzierbar, weitere Feinheiten auf Anfrage

** in Abhängigkeit von Einsatzbedingungen und Artikelspezifikation

*** mehrschichtig

Abhängigkeit von den zu erzielenden Erzeugniseigenschaften, eine Erhöhung der Drehzahlen auf maximal 2000 U/min erreicht werden [58].

Die verfahrenstechnische Lösung ermöglicht aufgrund der Vliesstoffstruktur eine Vielzahl von Produktentwicklungen z. B. in Richtung Unterpolsterstoffe für Kaschierverbunde in der Fahrzeugindustrie und Möbelbranche, Isolations- und Filterstoffe sowie Verpackungsmaterialien.

Neuerdings werden auch Quer- und Wirrvliese sowie Kombinationen aus Quer- und Längsfaservliesen mit Kunitmaschinen verfestigt. Hierdurch ergeben sich vielfältige zusätzliche Eigenschaftsvariationen, die das Einsatzspektrum derartiger Vliesstoffe wesentlich erweitern. Derartige Vliesstoffe sind unter dem Namen Maliknit bekannt geworden. Neuerdings werden auch Quer- und Wirrvliese sowie Kombinationen aus Quer- und Längsfaservliesen mit Kunitmaschinen verfestigt. Hierdurch ergeben sich vielfältige zusätzliche Eigenschaftsvariationen, die das Einsatzspektrum dieser Vliesstoffe wesentlich erweitern. Derartige Vliesstoffe sind in der Patentschrift [59] beschrieben.

6.2.1.5 Maschen-Vlieswirkverfahren

Beim Maschen-Vlieswirkverfahren Multiknit [60] werden die Polfasern von Vliesstoffen oder anderen textilen Flächengebilden mit Polhenkel oder Polbüscheln, z. B. Kunit-, Voltex-Flächengebilde, Hochflorstrickwaren usw. vermascht. Das Verfahren (s. Abb. 6.81) ermöglicht die Herstellung von ein- oder mehrlagigen Vliesverbundstoffen.

Die nachfolgenden technischen Ausführungen basieren auf den Maschinenkonzepten der Firma KARL MAYER Malimo Textilmaschinenfabrik GmbH. Die Maschinen werden heute von der Firma Christian Pinkert Textilmaschinen gefertigt.

Bei Realisierung der Grundvariante wird ein Flächengebilde der Arbeitsstelle so zugeführt, dass die Schiebernadeln in die Polbüschel eindringen, die Fasern erfassen und zu einer Maschenschicht formen können. Das Multiknit-Verfahren führt in seiner Grundvariante zu einem dreidimensionalen Maschen-Vlies-

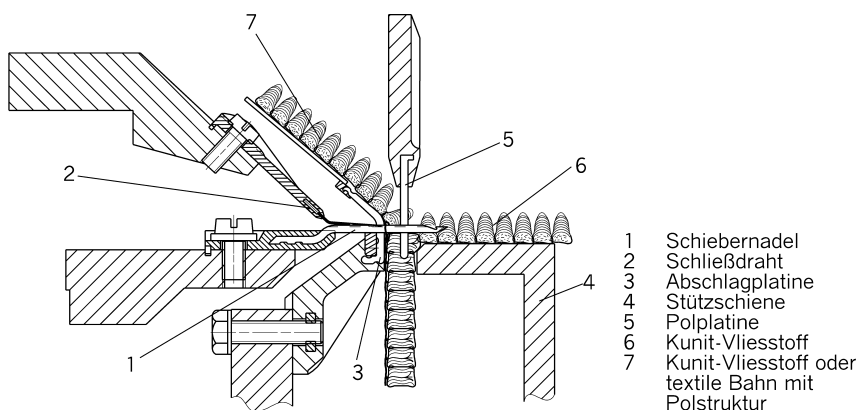


Abb. 6.81 Arbeitsstelle der Maschen-Vlieswirkmaschine Multiknit

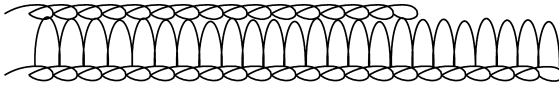


Abb. 6.82 Maschen-Vlieswirkstoff Multiknit

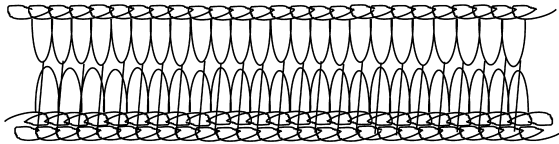


Abb. 6.83 Zweilagiger Maschen-Vlieswirkstoff Multiknit

wirkstoff mit beidseitig vermaschten Oberflächen (s. Abb. 6.82). Dabei sind die äußeren Maschenschichten durch ein und dieselben Fasern miteinander verbunden.

In einer weiteren Verfahrensvariante können zwei Polvliesstoffe zu einem Vliesverbundstoff (s. Abb. 6.83) vermascht werden.

Durch das Einarbeiten von Vliesstoffen, anderen Flächengebilden oder streufähigen Medien lassen sich Vliesverbundstoffe mit verschiedensten Eigenschaften herstellen [56, 61].

Das Vermaschen der Polvliesschicht kann diskontinuierlich mittels Wickelvorgabe oder kontinuierlich (Abb. 6.84) auf der Vlieswirkmaschine Multiknit erfolgen. Die Anlagenleistung im Kontinuumprozess wird durch die Kunitmaschine bestimmt (s. Tab. 6.3).

Bei Realisierung einlagiger Multiknit-Erzeugnisse kann die Multiknitmaschine mit Drehzahlen bis 2000 U/min arbeiten. Bei der Fertigung mehrlagiger Multiknit-Erzeugnisse müssen die Drehzahlen den Durchstichkräften angepasst werden.

Nach dem Multiknit-Verfahren können Vliesverbundstoffe als Unterpolsterstoffe für Sitze zur Substitution von Polyuretan-Schaum in der Fahrzeugindustrie und Möbelbranche, Filterstoffe, Hitze- und Schallschutzmaterialien, Einlagestoffe für Bekleidung, Inkontinenzartikel, Antidekubitusunterlagen und Füllmaterialien für kunstharzverstärkte Formteile hergestellt werden.

Für die Realisierung einer hohen Druckelastizität und Stauchhärte und/oder Dickenkonstanz bei derartigen Vliesstoffen werden Fasermischungen mit Beimen-

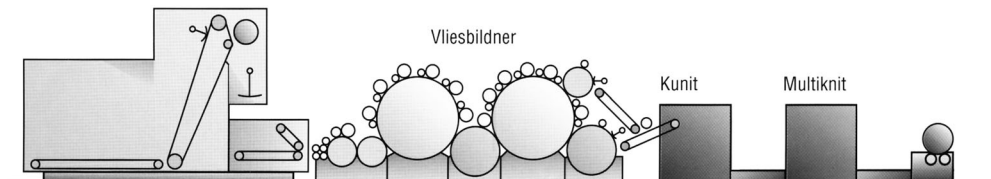


Abb. 6.84 Kontinueanlage zur Herstellung von Maschen-Vlieswirkstoff Multiknit – Krempel, Maschen-Vlieswirkmaschinen Kunit und Multiknit

gungen von Schmelzklebefasern benutzt, die in einem Nachfolgeprozess mittels Hitze und Druck zur Reaktion gebracht werden. Thermisch fixierte und kalibrierte Multiknit- bzw. auch Kunit-Vliesstoffe werden unter der Markenbezeichnung CALIWEB® verkauft.

Bei Verarbeitung von Maliknit-Flächengebilden (Grundlage bilden Kombinationen von Längs- und Querfaservliesen) auf der Multiknitmaschine entstehen beidseitig vermaschte Maschen-Vlieswirkstoffe mit der Bezeichnung OptiKnit® [62].

6.2.2

Kettenwirken

Bei der Nutzung von Kettenwirkmaschinen für die Verfestigung von Vliesen/ Vliesstoffen werden die Fasern in die Maschen der Wirkfadensysteme analog dem Vlies-Nähwirkverfahren (Maliwatt) eingebunden, ohne Maschen zu bilden. Zusätzlich können neben den Faservliesen auch noch weitere Fadensysteme zugeführt werden [63]:

- Verfestigung mit Wirkfäden mittels einer oder mehrerer Legeschienen
- Verfestigung mit Wirkfäden und Schusseintrag
- Verfestigung mit Wirkfäden, Schusseintrag und Stehfäden
- Verfestigung mit Wirkfäden und Stehfäden und
- Verfestigung mit Wirkfäden, Schusseintrag, Stehfäden sowie Fadenvorlage in $+45^\circ$ und -45° oder anderen Winkeln

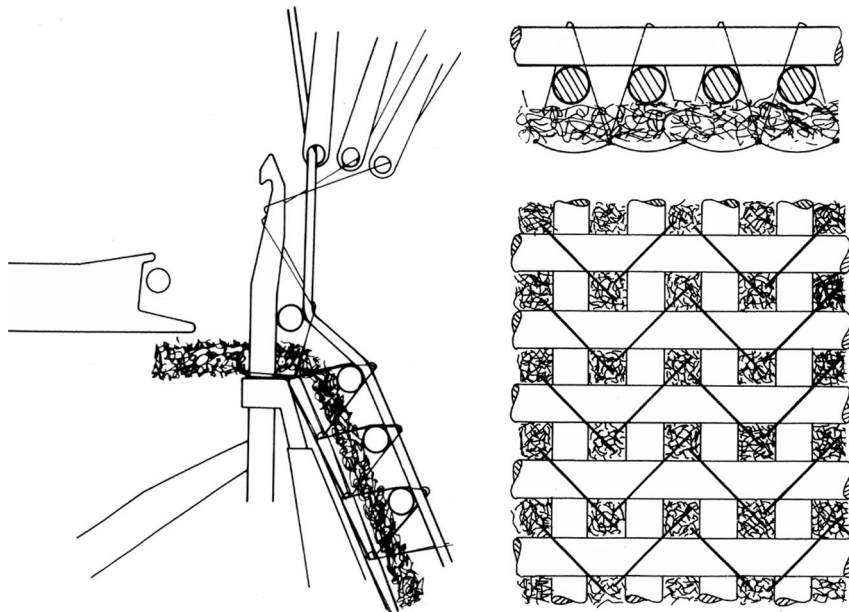


Abb. 6.85 Arbeitsstelle einer Raschelmachine RS MSU S-V für die Vliesstoffverfestigung

Dadurch entsteht eine Vielfalt an Variationsmöglichkeiten. Diese werden zielgerichtet zur Sicherung unterschiedlichster Eigenschaftsprofile von Erzeugnissen genutzt. Die eingearbeiteten Fadengelege zielen auf die Erhöhung der Festigkeit. Insbesondere ist es möglich, das Kraftaufnahmevermögen anforderungsgerecht durch Wahl der Fadenanordnung, -stärke und -dichte richtungsorientiert zu beeinflussen und z. B. den Kraftlinienverläufen in Bauteilen anzupassen.

Kettenwirkautomaten und Raschelmaschinen [64–66] zur Realisierung dieser Flächenbildungsvarianten stellen in Deutschland folgende Unternehmen her:

KARL MAYER Malimo Textilmaschinenfabrik GmbH, Obertshausen und Liba Maschinenfabrik GmbH, Naila.

Das angewandte Wirkprinzip ist bei allen Herstellern gleich. Lediglich die Wirkelemente und deren Anordnung in den Maschinen unterscheiden sich in geringem Maße. Als Anschauungsbeispiel ist in Abb. 6.85 stellvertretend für alle Maschinenhersteller die Arbeitsstelle einer Raschelmaschine schematisch dargestellt.

6.2.3

Stricken

Bei der Nutzung von Rundstrickmaschinen [67] werden die Fasern in Form von Kardenbändern der Arbeitsstelle der Strickmaschine zugeführt, über Minikarden vereinzelt und in die Haken der Zungennadeln eingekämmt (Abb. 6.86). Die Faserenden der von den Zungennadeln übernommenen Faserbüschel werden durch Blasdüsen zum Zentrum des Nadelzylinders ausgerichtet. Ein mitverarbeiteter Grundfaden wird gemeinsam mit den Fasern zur Masche abgebunden.

Der Antrieb neuerer Minikarden erfolgt über Schrittmotoren, die wiederum über Mikroprozessoren in Verbindung mit einer entsprechenden Software gesteuert werden. Im Zusammenhang mit einer elektronischen Nadelauswahl werden sowohl die aufgenommenen Fasermengen als auch Farben beeinflusst.

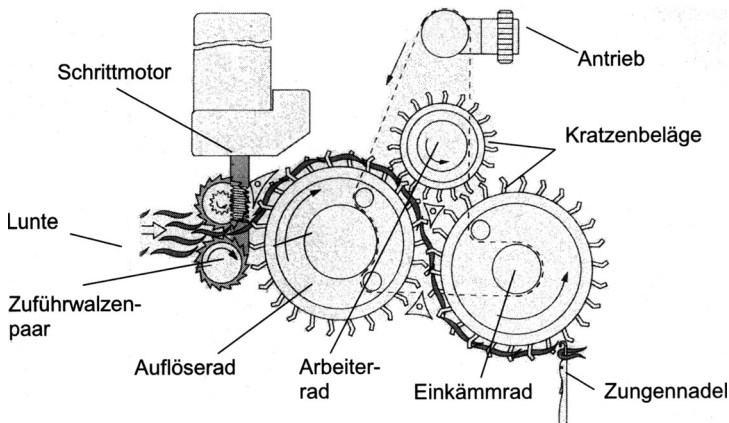


Abb. 6.86 Minikarde zur Faservereinzelung und Zuführung der Fasern in die Arbeitsstelle einer Terrot MPK3/MP3-Hochflorrundstrickmaschine

Es werden Oberbekleidungs- und Futterplüsch für Jacken und Mäntel, Spielzeugplüsch, Polsterbezugsstoffe und Bodenbeläge produziert. Durch die Kombination von Fasern unterschiedlicher Länge, Titer und Querschnitte sowie der Mustertechnik können unterschiedlichste Musterungen bis hin zu naturgetreuen Tierfellimitaten realisiert werden. Für technische Belange stehen Filterstoffe und Malerrollen.

Eine Neuentwicklung stellt die Loop-Technik dar. Hierbei werden die freien Enden der eingebundenen Fasern zur Nadel zurückgeblasen und zusammen mit dem Grundfaden zur Masche abgebunden. Dadurch entstehen Polhenkel, woraus sich neue Musterungsmöglichkeiten und Einsatzgebiete ergeben. Derartige Maschinen werden u. a. von der Firma Mayere & Cie (Mayer Industries Inc., Orangeburg/USA) angeboten.

6.3

Verwirbelungsverfahren

Ullrich Münstermann, Wolfgang Möschler, Alfred Watzl

Die Spunlace-Technologie, das mechanische Verfahren der Verwirbelung von Faser- und Spinnvliesen mit Wasserstrahlen, hat seit etwa 1969 industrielle Bedeutung erlangt.

Die ersten Laborversuche und Patente stammen aus der Zeit 1960–1965 [68–71]. Der Markt expandierte kontinuierlich durch wirtschaftlichere Vliesherstellung mit größeren Anlagen bis 4500 kg/h und steigenden Geschwindigkeiten bis 400 m/min [72, 73].

Rohmaterialkosten sanken durch Einsatz von Zellulosefasern (Fluff Pulp) und Spinnvlies in Kombination mit Lagen aus Stapelfasern [74, 75]. Innovative Produkte entstanden durch Strukturieren von Vlies und Einsatz von Naturfasern [76, 77].

Die *Steamjet*-Technologie, die Verwirbelung mit überhitzten Dampfstrahlen, wurde 1999 erstmals erwähnt und 2006 die erste kommerzielle Anlage in Betrieb genommen.

6.3.1

Verfahrensentwicklung

Vliese aus Fasern, Filamenten oder aus Schichten unterschiedlicher Faserstrukturen werden durch die Einwirkung eines Systems von Fluidstrahlen oder -strömen mit einer erforderlichen Mindestenergie dadurch verfestigt, dass Fasern oder Faserteile durch die auftreffenden Strahlen bzw. Ströme erfasst, umorientiert und mit anderen Faserelementen verwirbelt, verschlungen oder sogar verknotet werden. Die Struktur und die textilphysikalischen Eigenschaften, wie Kraft-Dehnungsverhalten der Wirbelvliesstoffe, sind abhängig von

- Fasereigenschaften, Vliesaufbau, Faseranordnung im Vlies
- Art und Merkmalen der Fluidstrahlen oder -ströme, ihrem Aggregatzustand flüssig oder sogar gasförmig, den Düsenlochformen, ihrer linearen oder flächenmäßigen Anordnung sowie Energiegrößen
- verfahrensbedingten technischen und technologischen Parametern, z. B. Struktur der Vliesträger für den Vliestransport im Verwirbelungsbereich, Auftreffwinkel der Fluidstrahlen und der Vliesgeschwindigkeit

Daraus leitet sich die Vielfalt und Komplexität der möglichen und für die Verfahrenstechnologie zu beachtenden Einflussfaktoren ab.

Die zeitliche Entwicklung kann durch vier Abschnitte charakterisiert werden, wie sie in Tab. 6.4 wiedergegeben sind.

Einen Überblick über die weltweite Produktion von Wirbelvliesstoffen und Anlagen vermittelt Tab. 6.5.

Tabelle 6.4 Verfahrensentwicklung der Wirbelvliesstoffe

Zeitraum	Technische Information	Kennzeichnende Merkmale
bis 1969	Musterung und Nachbehandlung von Vliesstoffen [68] Erste Vliesverfestigung [71] Strahlenanordnung analog Nadelmaschine (<i>hydrolooming</i>) [79] Begriff „Hochgeschwindigkeitsströme“ [80] 1968 Verwirbeln von Filamenten zu Vliesstoffen	Wasser-, Dampf- Luftstrahlen niedriger Energie für Musterung [78] und Vliesverfestigung mit zusätzlicher Binderverfestigung (<i>spray-bonding</i>) Sprayauftragsdüsen mit kegelförmigen Strahlen Entwicklung durch US Firmen (Chicopee, DuPont, Johnson and Johnson)
1969–1976	Hochenergieprozesse [68, 81] mit columnaren Wasserstrahlen Grundpatente von DuPont de Nemours (USA) [82] für gemusterte und ungemusterte Vliesstoffe Begriffe <i>spunlaced nonwovens</i> und <i>hydroentanglement</i> 1973 Markteinführung „Sontara“ [83]	Anwendung energiereicher Hochdruckwasserstrahlen Untersuchungen über Einfluss von Impuls und Energie bei unterschiedlichen Vliesmassen auf Verfestigungseffekt Einfluss von Düsendruck und -querschnitt, Vliesgeschwindigkeit, Erprobung verschiedener Fasertypen
1976–1987	23.05.76 Freigabe von DuPont-Schlüsselpatenten, Beginn neuer Entwicklungsabschnitt [84]; Verfahrenseinteilung [81] Hochenergieverfahren ≥ 1.3 kWh/kg, ≥ 10 MPa Mittelenergieverfahren 0.4–0.8 kWh/kg, 5–9 MPa Niedrigenergieverfahren ~ 0.1 kWh/kg, 2–5 MPa weltweit 20 Anlagen mit Gesamtkapazität 1987 45 000 t [81] Höchststand 1987 [68] 3,6 m Arbeitsbreite; 90 m/min Vliesgeschwindigkeit 9000 t Anlagenkapazität bei Flächenmasse Vliesstoff 75 g/m ²	Differenzierte Verfahrenswege hinsichtlich Wasserstrahlrücke und Energiegrößen außer in Patenten kaum Informationen zu Verfahren und Anlagentechnik keine Anlagenangebote seitens des Maschinenbaus

Tabelle 6.4 (Fortsetzung)

Zeitraum	Technische Information	Kennzeichnende Merkmale
1987–2006	1987 Anlagenangebote [81] durch Valmet Honeycomb und ICBT Perfojet (F) 1995/96 Angebote: Fleissner GmbH (D) und Courtaulds Engineering (GB) Im asiatischen Raum [83] Mitsubishi Engineering (J), Taiwan Spunlace Group 2000 erste Spinnvlies-Spunlace-Linien bei Freudenberg Vliesstoffe (F) und NCSU (USA) In 2004 weltweite Spunlace-Produktion 435 000 t [85], in 2006 etwa 500 000 t [86, 87] Wirbelvliesstoffe für technische Anwendungsbereiche, Reinigungstücher, Medizin und Hygiene, Einlagestoffe, Schichtträger für Beschichtung, Haushalt, Filtration	Angebot kompletter Anlagen für Wirbelstoffe Verbesserung des energetischen Wirkungsgrades Leistung der AquaJet-Anlage der Firma Fleissner (1999) Druck bis 60 MPa Geschwindigkeit bis 300 m/min, bei Nass- u. Spinnvlies bis 500 m/min Arbeitsbreite bis 5 m Flächengewichte der Vliesstoffe 15-600 g/m ² max. Leistung der Fleissner AquaJet-Anlage 4500 kg/h bei 5 m Arbeitsbreite (2005)
2007–2011	2010 Fleissner-AquaJet für Finishverfestigung von Hochtemperatur-Filtervlies 2011 Fleissner-AquaJet mit Produktionsgeschwindigkeit von 400 m/min für Wischtücher aus Faservlies	3-lagige Faservliese aus Aramid, Polyimid, PPS, PTFE, PES und Glas mit Gewebeeinlage oder Scrim zur Erhöhung der Zugfestigkeit Gewichte bis 1000 g/m ² Druck bis 400 bar [160] Vliesgewichte für Wischtücher sinken auf 45 g/m ²

Tabelle 6.5 Jahresproduktion von Wirbelvliesstoffen nach Märkten [85–87, 157, 158]

Land	Produktionsmenge t/ Jahr			
	1997	2004	2006	2009
EU	40 000	163 000	181 500	185 200
USA und Lateinamerika	80 000			
Nordamerika		128 000		
Japan	18 000			
China	5000	50 000	90 000	197 000
Asien, Japan und China	5000			
Israel		30 000		
andere		64 000		
gesamt	ca. 150 000	435 000	ca. 500 000	ca. 1 300 000

6.3.1.1 Physikalische Grundlagen

Die Applizierung von Fluidstrahlen bzw. -strömen auf Vliese erfolgt nach dem gegenwärtigen Stand der Verwirbelungstechnik ausnahmslos mittels Düsenkörpern, die an der Strahlaustrittsstelle eine zylindrische Öffnung aufweisen und damit den Strahlen eine Säulen- bis Kegelstumpfform geben. Die vereinfachte Bernoulli-Gleichung für inkompressible stationäre Strömung

$$v_w = a \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} \quad (6.29)$$

liefert den Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit v_w des Strahls an der Austrittsstelle, der Druckdifferenz ΔP zwischen Düsenkörper und Umgebung sowie der Dichte ρ des Mediums (bei Wasser als bevorzugtes Arbeitsmittel 1000 kg/m^3).

Die Größe a berücksichtigt Reibung und weitere Faktoren, welche die Geschwindigkeit v_w unter realen Bedingungen verringern. Die Strahlgeschwindigkeit ist relevant für den Verwirbelungs- und damit auch Verfestigungseffekt. Sie hat auch einen Einfluss auf die benötigte Energie. Der spezifische Energieaufwand E_s in kWh/kg zur Verfestigung von 1 kg trockenen Fasern in Vliesform kann nach Gleichung 6.30 wie folgt berechnet werden [118]:

$$E_s = \sum_1^n \frac{\dot{V} \cdot p \cdot 10^{-3}}{m_v v_v \cdot AB \cdot 60} \quad (6.30)$$

$$\dot{V} = 2,6 \cdot 10^{-2} n_D \cdot AB \cdot d_D^2 \cdot \sqrt{p} \cdot n \quad (6.31)$$

- \dot{V} Volumenstrom je Düsenbalken in m^3/s
- p Überdruck im Wasserbalken in N/m^2 :
- m_v Flächenmasse in kg/m^2
- v_v Vliesgeschwindigkeit in m/min
- AB Arbeitsbreite in m
- n Anzahl Düsenbalken
- d_D Düsendurchmesser in m
- n_D Bohrungszahl je Meter

Eine optimale Prozessführung und Verfestigungswirkung ist mit abhängig vom Volumenstrom und dem Produkt aus Flächenmasse und Geschwindigkeit des Vlieses bei Einwirkung der Wasserstrahlen.

In der Patentschrift [88] wird für das Produkt aus Arbeit E des Wasserstrahls auf das Faservlies und der Aufprallkraft I in J N/kg unter den konkreten Bedingungen folgende Gleichung 6.32 angegeben

$$E \cdot I = K \cdot p^{2,5} \cdot d_D^4 \cdot n_D / m_v \cdot v_v \quad (6.32)$$

Dabei ist K eine verfahrensspezifische Konstante.

Für die Verfestigung wird die benötigte applizierte Energie E_s je Masseneinheit Vlies nach [89] wie folgt beschrieben:

$$E_s = K \cdot C \cdot p^{1,5} \cdot d_D^2 \cdot n_D / m_v \cdot v_v \quad (6.33)$$

C ist der sogenannte „Düsenentladungskoeffizient“ und vom Druck p abhängig. Er beträgt bei 2,1 MPa 0,77 und bei 12,5 MPa 0,62.

Der Volumenstrom V kann nach Information von Trützschler Nonwovens GmbH auch mit der empirischen Gleichung 6.31 für Düsen mit scharfkantigem Eintritt und Düsenlänge kleiner als $2 \times d_D$ ermittelt werden.

Typische Betriebsdaten ausgeführter Wasserstrahlverfestigungsanlagen:

- Düsendurchmesser 0,07 mm bis 0,20 mm (häufig 0,12 mm)
- Bohrungszahl 400–4700 1/m (üblich sind = 1600 1/m)
- Druckerzeuger, die Drücke bis 40 MPa in den Düsenkörpern realisieren
- Vliesgeschwindigkeiten von mehr als 300 m/min und Vliesmassen bis zu 800 g/m², für Synthefasern und bis 1500 g/m² für Naturfasern [74]

Bei 20 MPa Druck im Wasserbalken werden kontinuierliche Wasserstrahlen mit über 200 m/s Strahlgeschwindigkeit erzeugt. Darum ist die Wasserstrahlverfestigung prädestiniert für hohe Produktionsgeschwindigkeiten. Zur Herstellung von Faservlies von etwa 50 g/m² kann mit drei Krempeln in Linie Vlies bis 400 m/min gelegt und wasserstrahlverfestigt werden. Bei Spinnvliesanlagen ist die Produktionsgeschwindigkeit auf über 1000 m/min gestiegen, das Spinnvlies wird meist kalanderverfestigt. Spinnvlies kann nach der Kalandrierung mit Wasserstrahltechnik zur Erzielung eines weichen Griffes behandelt. Der spezifische Energieaufwand betrug bei den ersten Anlagen für Faservlies 1,1 kWh/kg und sank auf 0,15 bis 0,4 kWh/kg bei modernen Anlagen mit hoher Produktionsgeschwindigkeit.

Zusätzlich zur Bewertung der Verarbeitungsleistung kann ein spezifischer Energiekoeffizient E_F unter Beachten des erzielbaren Festigkeitsniveaus von Wirbelvliesstoffen ermittelt werden [90]:

$$E_F = E_s / F_{VL} \quad (6.34)$$

$$F_{VL} = \frac{F_{MD} + F_{CD}}{2 \cdot m_v} \quad (6.35)$$

Die Größe F_{VL} ist die auf die Flächenmasse bezogene Kraftaufnahme eines Wirbelvliesstoffes in N je g/m² bei einer vorgegebenen Dehnungsbeanspruchung und wird nach ISO 9073-3 gemessen. Mit der Höchstzugkraft in Vlies-Längsrichtung F_{MD} und in Querrichtung F_{CD} wird nach Gleichung 6.35 die charakteristische spezifische Festigkeit eines Vlieses ermittelt. Der Optimalbereich ist bei minimalem spezifischen Energiekoeffizienten E_F erreicht [91]. Außerhalb dieses Bereiches ist eine Verringerung der Dehnungsempfindlichkeit oder eine Höchst-

zugkraftsteigerung nur mit überproportional steigendem Energieaufwand möglich.

Die Festigkeit von Wirbelvliesstoffen sinkt bei weiter erhöhtem Energieaufwand auf Grund von Strukturschädigungen [92, 93]. Die Größe E_F macht auch Unterschiede im Grad der Verwirbelung verschiedener Fasertypen (Polymer, Feinheit, Länge, Kräuselung) und Vliesarten deutlich.

6.3.1.2 Verwirbelungsvorgang

Die unmittelbaren Vorgänge beim Zusammentreffen energiereicher Wasserstrahlen mit den Fasern im Vlies sind schwer zu beobachten.

Die Verweilzeit eines Vliesabschnittes in der direkten Wirkungszone eines Wasserstrahls aus einer Bohrung von 0,1 mm liegt bei Vliesgeschwindigkeit v_v von 100 m/min in der Größenordnung von 10^{-4} s. Die Strahlgeschwindigkeit v_w beträgt nach Gleichung 6.29 55 m/s bei z. B. 1,5 MPa beim Befeuchten von Vlies und 280 m/s bei Höchstdruck von 40 MPa. Bereits ab Düsendrücken von 2 MPa reißen die Wasserstrahlen zwischen Düsenaustritt und Vlies Luft mit [94]. Zusammen mit der im Vlies befindlichen Luftmenge, die 95–98 % des Vliesvolumens entspricht, werden mit den entstehenden Wassertröpfchen beim Aufprall der Strahlen auf das Vlies Aerosole gebildet. Die Beeinflussungszone bei der Vliespassage durch die Strahlenreihe umfasst nur eine kurze Strecke. In vier Phasen werden

- Fasern parallelisiert und vorzugsweise in Längsrichtung umorientiert,
- Fasern unter beginnender Vliesverdichtung bogenförmig abwärts bewegt und zur Strahllinie hin gezogen,
- bei Passieren der Strahlen die Vlieslagen auf das 10- bis 20-fache der ursprünglichen Struktur verdichtet und horizontal umgelenkt,
- die Vlieslagen erst nach der Strahlpassage von der Unterseite her durchtränkt, wobei die Vliesverdichtung etwas aufgehoben wird.

Abbildung 6.87 verdeutlicht den Vorgang.

Die beim Durchlauf des Vlieses unter dem Wasserstrahl auftretenden Prallkräfte können gemessen werden [95, 119]. Entscheidend für den Faserverwirbelungs-

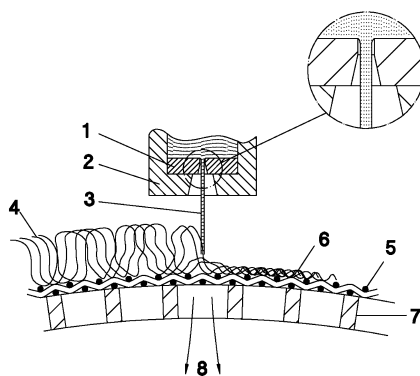


Abb. 6.87 Prinzip der Vliesverwirbelung; 1 Düsenstreifen; 2 Wasserbalken; 3 Wasserstrahl; 4 unverfestigtes Vlies; 5 Siebunterlage; 6 verfestigter Vliesstoff; 7 Trommel; 8 Luft- und Wasserrücklauf

effekt ist neben anderen Faktoren die Größe der Vliesbewegung v_v im Verhältnis zu diesen Kräften:

Ist bei Maschinenstillstand v_v Null, findet eine Verdrängung von Fasern anstelle ihrer Verwirbelung mit der Folge einer Vliesperforation und einsetzender Faserzerstörung statt. Dies führt zum bekannten Trennverfahren mit Wasserstrahlen. Hohe Prallkräfte in Verbindung mit niedriger Vliesgeschwindigkeit v_v und Vliesmasse m_v verursachen eine Faserumorientierung in vorzugsweise senkrechte Richtung. Unerwünscht ist dabei das Durchtreten von Fasern durch den Vliesträger und eine Verbindung mit ihm. Erwünscht ist dieser Vorgang dann, wenn mehrere Vliese oder andere Schichten zu einem Verbundstoff vereinigt werden sollen.

Mit der Entwicklung leistungsfähiger Filtrationssysteme bestehend aus Kombinationen von Bandfilter, Flotation, Sandfilter, Beutelfilter und Hochdruckfilter [96] ist die Wasserstrahlverfestigung von Naturfaservliesen möglich. Inzwischen wird die Splittfähigkeit von Bikomponententypen als Endlosfilamente oder Stapelfaser z. B. Orangentyp und *Island in the sea* Typ aus PET/PA für die Entwicklung neuer Wirbelvliesstofftypen z. B. für Filter gezielt genutzt [97–99, 118].

Eine optimale Verfestigung des Vlieses äußert sich in einer Struktur des Wirbelvliesstoffes, die durch Anordnungen paralleler Bündel von Faserabschnitten, umwunden von verwirbelten Faseranteilen, gekennzeichnet ist [101].

Abbildung 6.88 zeigt eine derartige Struktur.

Wegen der zunehmenden Längsorientierung der Fasern im Vlies beim Passieren mehrerer Wasserstrahlreihen und gleichzeitiger Verdichtung des Vlieses ist in der Regel eine Steigerung des angelegten Drucks in den aufeinanderfolgenden Düsenkörpern vorzunehmen. Die Struktur des vorgelegten Vlieses ist ebenfalls maßgebend. Vliese mit Wirr- oder Querfaserlage begünstigen den Prozess der Faserverwirbelung und die erzielbare Festigkeit.

Für einen optimalen Verfestigungseffekt muss ein Vlies mehrere aufeinander folgende Düsenbalken passieren. Das trocken gelegte Vlies wird zunächst mechanisch komprimiert und entlüftet, dann befeuchtet und am ersten Düsenbalken mit dem erforderlichen Druck so behandelt, dass Fasern von der Oberseite bis zur Unterseite des Vlieses geschoben werden. Damit wird eine Delaminierung im Endprodukt vermieden. Der Wechsel der Bearbeitungsseite nach der Passage jeden Düsenbalkens verbessert den Grad der Verfestigung [92, 101–103]. Die Drücke der

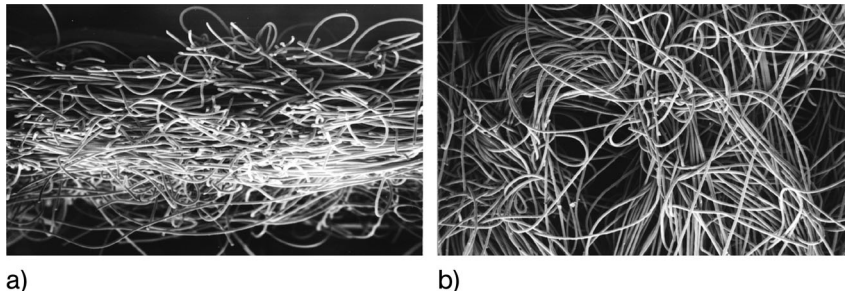


Abb. 6.88 Struktur eines Wirbelvliesstoffes a) Querschnitt, b) Draufsicht

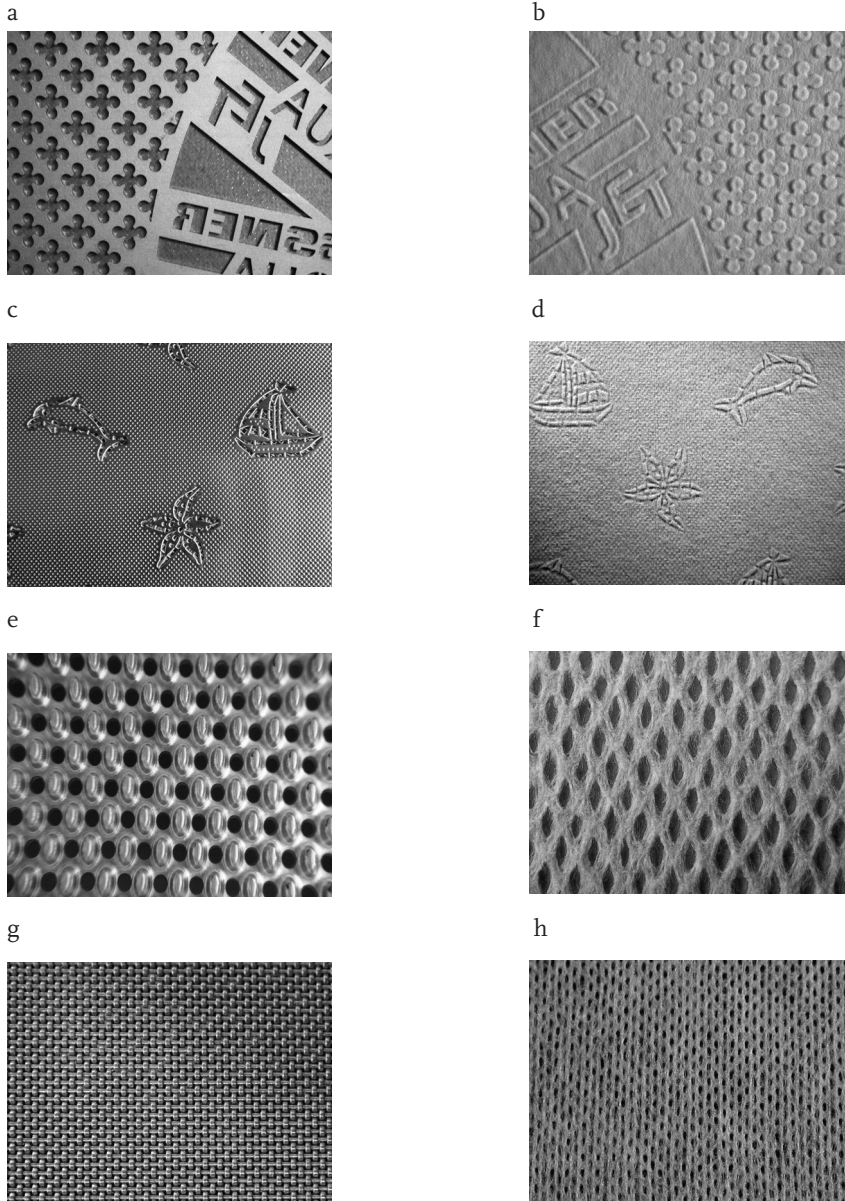


Abb. 6.89 Fleissner AquaJet: Trommelbezüge und -schalen zum Strukturieren und Perforieren
a) Strukturschale 1,5 mm dick für Vliese von 70 – 200 g/m², b) strukturiertes Vlies aus PES von 150 g/m², c) Strukturschale 0,7 mm dick für Vliese von 25 -100 g/m², d) strukturiertes Vlies aus PES/CV von 70 g/m², e) 3-D-Perforierschale

mit 1 mm hohen Zapfen für Vliese von 25 bis 100 g/m², f) perforiertes Vlies aus PES/CV von 50 g/m², g) Trommelbezug aus Drahtgewebe mit galv. Metallbeschichtung zum Perforieren für Vliese von 25 bis 80 g/m², h) perforiertes Vlies aus PES/CV von 45 g/m²

nachfolgenden Balken steigen zunächst an, und zumindest der letzte Düsenbalken arbeitet mit geringem Druck, um eine gleichmäßige, ebene und weiche Oberfläche zu erhalten. Es ist auch möglich, Vliese mit Hilfe des Wasserstrahl Druckes zu strukturieren oder zu perforieren, siehe Schalen und Produkte vom Fleissner AquaJet (s. Abb. 6.89f). Die Struktur und Perforation wird wesentlich durch die Struktur der durchlässigen Siebunterlage bestimmt. Zur Strukturierung werden gelochte oder dreidimensionale Trommelschalen mit Entwässerungsöffnungen genommen. Beim Perforieren werden die Fasern mit den Wasserstrahlen um halbkugelförmige Erhebungen der durchlässigen Unterlage verschoben. Zum Perforieren dienen spezielle grobe Siebe als Endlosband, Trommelbezüge oder Trommelschalen mit zapfenförmigen, pyramidenförmigen oder halbkugelförmigen Erhebungen.

6.3.1.3 Wirbelvliesstoffe

Die nach Verwirbelungsverfahren hergestellten Vliesstoffe zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus:

- Sie sind in der Regel frei von Bindemitteln, störenden Verunreinigungen und sonstigen Fremdstoffen (mit Ausnahme gezielter Wirkstoffdotierungen für definierte Anforderungen und Anwendungszwecke), daher besonders geeignet für medizinische und sanitäre Produkte mit hygienisch sensiblem Charakter.
- Sie sind weich, drapier- und saugfähig, besitzen hohe Absorptions- und Retentionswerte (ausgedrückt in spezifischen Größen wie % oder g/g Vliesstoff) und können flusenfrei und abriebfest sein, sodass Polier-, Putz- und Reinigungstücher selbst für Reinraumanforderungen ein weiteres großes Einsatzgebiet darstellen.
- Sie umfassen nach dem aktuellen technischen Entwicklungsstand einen weiten Flächenmassebereich von 20 bis >400 g/m² und ein breites Spektrum in der Faserzusammensetzung hinsichtlich Polymer und Geometrie. Der Grad der Verfestigung ist nach Abb. 6.90 vom Druck abhängig.

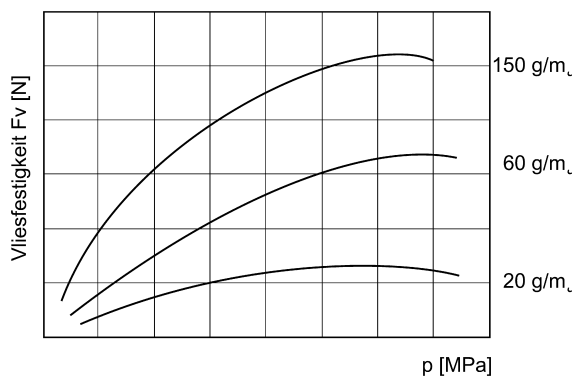


Abb. 6.90 Vliesfestigkeit in Abhängigkeit vom Wasserstrahl Druck für verschiedene Flächenmassen

Tabelle 6.6 Abhängigkeit der Höchstzugkraft eines Polyester-Wirbelvliesstoffes – (100 g/m²) von der Druck-Summe mit 3–9 Düsenleisten [100]

Drucksumme (MPa)	Höchstzugkraft (N/5 cm)		Verhältnis MD:CD
	längs	quer	
4	2,2	1,8	1,22
9	16,7	11,3	1,48
20	46,5	29,8	1,56
31	102,4	64,0	1,69
44	127,0	73,2	1,73
58	150,1	91,1	1,65
74	145,3	77,7	1,87

Aus Tab. 6.6 ist erkennbar, dass sich das MD:CD-Verhältnis im Bereich merkbarer Verfestigung ab 20 MPa kaum mehr verändert. Das MD:CD-Verhältnis ist hauptsächlich durch die Vlieslegung vorgegeben. Je nach Ausführung der Krempeln liegt es zwischen 1,2:1 bis 5:1. Wird das Vlies nach der Krempel kreuzgelegt, kann das MD:CD-Verhältnis abhängig vom Verlegewinkel eingestellt werden, und zwar meist im Bereich 0,8:1 bis 1,2:1. In der Wasserstrahlverfestigungsanlage wird das Vlies nur gering in Längsrichtung durch Verzüge umorientiert. Abhängig von der Faser steigt das MD:CD-Verhältnis durch die Wasserstrahlverfestigung um 5 bis 20 % an.

Bei Wasserstrahlverfestigung mit zu hohem Druck oder zu vielen Düsenbalken sinkt die maximale Festigkeit wieder ab infolge der Zerstörung des Vliesverbundes, siehe Tab. 6.6 bei einer Drucksumme von 74 MPa. Zielgerichtet kann das Kraft-Dehnungsverhalten im MD:CD-Verhältnis durch thermische Nachbehandlungen des Vliesstoffes beeinflusst und an die gestellten technischen Anforderungen der Vliesstoffe angepasst werden.

6.3.2

Faserstoff- und Prozesseinflüsse

Tabelle 6.7 aus [94] stellt eine Übersicht der wesentlichen Faktoren beim Verwirbelungsverfahren dar.

6.3.2.1 Faserstoffeinflüsse

Obwohl prinzipiell alle natürlichen und synthetischen Polymertypen verarbeitbar sind [98, 104], haben sich einige als besonders geeignet erwiesen:

- cellulosische Fasern (Baumwolle, Viskose, Lyocell) [105, 106]
- Polyesterfasern [90, 94]
- Polypropylen

Tabelle 6.7 Einflussfaktoren Verwirbelungsverfahren

Faserstoffeinflüsse	Prozesseinflüsse
Polymer	Vliesstruktur
Dichte	Flächenmasse
Kraft-Dehnungs-Verhalten	Faseranordnung
Struktur, z. B. Fibrillierbarkeit	Geschwindigkeit
Streifigkeit, Biegeverhalten	Vliesträger (Unterlage) – Struktur
Reibung	Bindungsart, Drahtstärke u. a.
Fasermodifikation	Mikroporöse Metallschale
Geometrie	Gelochte Schale zur Strukturierung
Länge	Dreidimensionale Schale mit Entwässerungsöffnungen
Feinheit	zur Strukturierung
Textur (Kräuselungsmerkmale)	Düse/Wasserstrahl:
Querschnittsform	Querschnittsform
Oberflächenbeschaffenheit	Durchmesser
Sonstige	Anzahl
Präparation, Netzbarkeit u. a.	Anordnung, Verteilung
	Druck/Energie
	Einwirkungsmodus, z. B. Winkel, Bearbeiten von Vlies- oberflächen

Viskose, PES und PP werden hauptsächlich im Bereich Wischtücher eingesetzt. Für technische Vliese z. B. in der Filtration finden auch Aramide und Phenolfasern Einsatz [68, 107].

Hinsichtlich der Faserfeinheit gilt: Je feiner die Faser, umso besser ist der Verwirbelungseffekt unter gleichen Bedingungen [108]. Als obere Grenze werden Fasern bis 10 dtex eingesetzt. Die zunehmende Steifheit und kleinere spezifische Oberfläche behindern zwar die Verwirbelung [90, 106], während umgekehrt Fibrillierung und Aufspaltung von ursprünglich gröberen Fasern den Verfestigungseffekt erhöhen [97, 109, 118]. Grobe Fasern mit z. B. 6 dtex oft in Mischungen mit feinen Fasern von 1,7 dtex eingesetzt, wobei die groben Fasern die Vliesdicke erhöhen. Bei Vliesen leichter als 50 g/m² werden häufig Fasern mit 1,3 dtex beigemischt, um eine bessere Optik und höhere Vliesfestigkeit zu erhalten.

Bei der Faserlänge existiert eine Begrenzung nicht. Auch Kurzfasern, im Nassverfahren oder mittels Luftlegeverfahren (Airlaid) zu Vliesen verarbeitet und in der Regel mit Schichten aus Stapelfasern oder Filamenten kombiniert, finden verbreitet Anwendung [83, 110]. Wirbelvliesstoffe aus 50 % Chemiefasern und 50 % Zellstoff (*Wood Pulp*) mit Flächenmassen von 45 bis 80 g/m² als 2-lagiges Vlies oder 3-lagig als Sandwich mit Zellstoff als Mittellage werden als trockene und feuchte Wischtücher eingesetzt.

Im normalen Faserlängenbereich zwischen 20 und 60 mm Faserlänge erzielen längere Fasern eine höhere Festigkeit [94, 100, 106], da die Strukturausbildung paralleler Faserbündel gefördert wird. Die Faserhersteller tragen diesen Forderun-

gen durch Entwicklung spezieller Fasertypen zunehmend Rechnung. Hierzu gehören auch geeignete Faserpräparationen und Kräuselungsparameter. Werden Drücke von über 20 MPa angewendet, können auch Spinnvliese erfolgreich durch Wasserstrahlen verfestigt werden [111]. Spinnvliesstoffe zeichnen sich durch ein nahezu lineares Spannungs-Dehnungsverhalten aus.

6.3.2.2 Prozesseinflüsse

Die Art der Vliesbildung ist von doppelter Bedeutung:

- Die Vorzugsrichtung der Faserorientierung entscheidet mit über den Verwirbelungseffekt
- Die Vliesgeschwindigkeit v_v ist ein wichtiger Parameter für Wirtschaftlichkeitsberechnungen bei Verwirbelungsverfahren.

Bei der Wasserstrahlverfestigung von Filament-, Nass- und luftgelegten Vliesen ist der zweite Faktor nicht kritisch [112]. Die Verarbeitung von Stapelfasern erfordert dagegen eine auf Einsatzgebiet und Produktqualität abgestimmte Vliesbildungstechnologie, wobei sowohl Wirr- als auch quergetäfelte Vliese in der Praxis anzutreffen sind. Wegen der geringeren Leistungsdaten werden oft mehrere Vliesbildner – wie Krempeln – für eine Verfestigungsanlage benötigt. Neben der Faserdurchsatzmenge eines Vliesbildners ist die Masse je Flächeneinheit m_v , die sich als Energiebeaufschlagung manifestierende Drucksumme und Wassermenge aller Strahlen sowie das konkrete Ziel der Vliesverfestigung für die Höhe von v_v maßgebend [90]. Für die jeweils optimale Prozessdurchführung sind empirische Methoden noch dominierend. Die Gestaltung der Vliessträger bestimmt in starkem Maße die Wirbelvliesstoffstruktur.

Für leichte Vliese und Drücke bis 15 MPa werden feine, dichte PES-Siebbänder mit mehr als 40 Drähten/cm eingesetzt oder *Spunlacetrommeln* mit Nickelschalen, die etwa 0,3 mm große Mikroporen zur Entwässerung aufweisen. Bei schweren Vliesen über 100 g/m² nimmt man *Spunlacetrommeln*, die mit einem feinen Edelstahlsieb bezogen sind. Je nach Einsatz haben diese Edelstahlsiebe 20 bis 40 Drähte/cm. *Spunlacetrommeln* mit Edelstahlsiebbezügen können galvanisch mit einer Metallschicht versehen werden zur Stabilisierung der feinen Siebe. Zusätzlich wird damit der Vliesverfestigungseffekt verbessert [159].

Die Wasserverteilung im Düsenbalken ist so aufgebaut, damit das Wasser über die gesamte Arbeitsbreite mit nahezu gleichem Druck und turbulenzfrei zum Düsenstreifen gelangt.

Die Düsenform entspricht prinzipiell der Detaildarstellung in Abb. 6.87. Lochgröße, Anzahl der Düsen je Meter und Anzahl der Lochreihen hängen von den Anforderungen ab: bei Verfestigung und Strukturieren 0,1 bis 0,12 mm Durchmesser und etwa 1400 bis 2000 Düsen je Meter, bei Perforation 0,12 bis 0,15 mm Durchmesser mit 1600 bis 4700 Düsen je Meter. Als Werkstoff der Düsenstreifen wird bei Drücken bis etwa 20 MPa normaler Edelstahl eingesetzt, bei höherem Druck gehärteter Edelstahl, der zusätzlich an der Eintrittseite Oberflächenbehandelt sein kann.

Für die Einhaltung konstanter Bedingungen bei Wasserstrahlerzeugung und Wasserstrahleinwirkung auf vorgelegte Vliese sind die Einflussgrößen wichtige Kriterien zur Charakterisierung des Standes der Technik:

- Leistung der Hochdruckpumpe (Kolben-, Plunger- oder Zentrifugalpumpen)
- Entfernung des Wasser-Luft-Gemisches aus den Vliesen (Absaugsystem)
- Art des Filtersystems für Frisch- und zirkulierendes Wasser
- Standzeit der Düsenelemente, Reinigungseinrichtungen, Auswechselbarkeit ohne Maschinenhalt

6.3.3

Verfestigungsanlagen

Von zwei Unternehmen wurden bis 2007 weltweit über 250 Wasserstrahlverfestigungsanlagen geliefert:

- Trützschler Nonwovens GmbH (ehem. Fleissner)
- ANDRITZ Perfojet S.A.S

Nach Aussagen von ANDRITZ Perfojet ist das Anlagenkonzept **JETlace** mit seinen Evolutionsstufen JETlace, JETlace 2000 und JETlace 3000 bis 2008 weltweit vertreten. Die Variante AIRlace 2000 bzw. AIRlace 3000 kombiniert die Wasserstrahltechnologie mit einem Luftlegeverfahren.

Die Abb. 6.91 zeigt einen Ausschnitt einer JETlace 3000.

Die Maschinenkonfiguration umfasst eine Reihe Trommeln für wechselseitige Verfestigung der Vliesseiten. Bei einer Arbeitsbreite von bis zu 6 m werden Düsenbalken mit Drücken bis 400 bar eingesetzt. Eine spezielle Verschluss technik ermöglicht einen schnellen Wechsel der Düsenstreifen.

Seit 2006 finden JETlace Anlagen auch Verwendung bei der Verfestigung von endlosen Filamenten in Spinnvliesen. Diese Kombination von Technologien wird

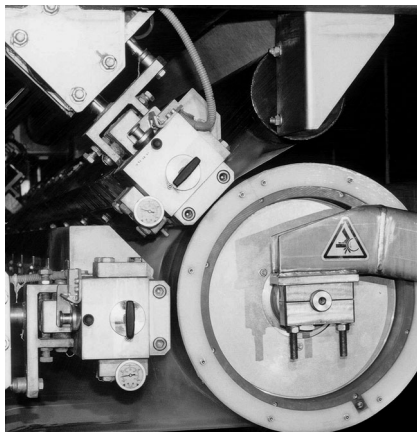


Abb. 6.91 Ausschnitt einer JETlace 3000 der ANDRITZ Perfojet S.A.S



Abb. 6.92 Fleissner-AquaJet mit Trommel-Band-Kompaktierung, 5-stufig, Vliesbreite 3,6 m, eingesetzt für Vliese bis 800 g/m²

unter dem Begriff SPUNjet vertrieben. Die benötigten Wasserdrücke sind in der Regel ca. 50 % höher als bei vergleichbaren Vliesen aus Stapelfasern, aber auch die Reißfestigkeit und speziell die Weiterreißfestigkeit liegen erheblich höher als bei vergleichbaren Stapelfaservliesen.

Moderne JETlace Anlagen sind gekennzeichnet durch Produktionsgeschwindigkeiten bis 300 m/min für Stapelfaservliese bzw. > 600 m/min für gewisse SPUNjet Anwendungen. Die umlaufende Wassermenge kann bis > 300 m³/h betragen, wobei die zugeführte Frischwassermenge durch entsprechende Auslegung der Filtrationsaggregate auf < 1 % der Umwälzrate gesenkt werden kann.

Weitere technische Details sind: Individuelle Pumpe für jeden Injektor, Druck-Pulsationsdämpfer, spezielle Behandlung der Kolben zur Verhinderung von Vibrationen, vollautomatisches Filtersystem, computergesteuertes Prozessleitsystem. Gegenüber dem technischen Stand von 1995 hat sich der Energiebedarf auf 25 % verringert, und die Festigkeit von Wirbelvliesstoffen aus PES und CV ist bei vergleichbarer Vliesmasse um 40 % erhöht worden.

Das **Fleissner-AquaJet-Spunlace-System** für die Wasserstrahlverfestigung von Nonwovens wurde 1996 von Fleissner GmbH auf den Markt gebracht und seither universell zur Verfestigung von leichtesten Vliesen ab 15 g/m² bis schwersten Vliesen bis zu 800 g/m² eingesetzt. Schwerpunkte der wasserstrahlverfestigten Produkte sind Vliese aus Naturfasern, Synthefasern und Spinnvlies. Der Fleissner-AquaJet (Abb. 6.92) zeichnet sich durch folgende grundlegende Merkmale aus:

- Vorbehandlung einlaufender Vliese mit einem Kompaktierband, wodurch eine Verdichtung und Entlüftung ohne Verschieben von Faserlagen erfolgt [112], im

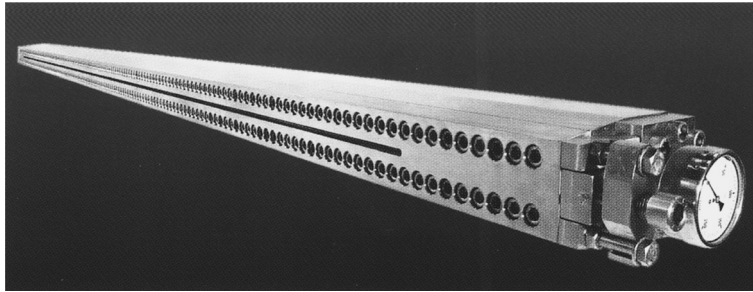


Abb. 6.93 Fleissner-AquaJet-Wasserbalken in 4,2 m Arbeitsbreite

kompaktierten Zustand wird das Vlies mit einem Wasserbalken befeuchtet oder bei Bedarf mit bis zu 10 MPa vorverfestigt.

- Alternativ wird im LeanJet eine Kompaktiertrommel eingesetzt, siehe Abb. 6.94a.
- Danach erfolgt erste direkte Verfestigung von der oberen Vliesseite mit dem erforderlichen Druck, damit alle Faserlagen von der Oberseite bis zur Unterseite eine Verwirbelung erfahren. Dadurch wird eine Delaminierung des Endproduktes vermieden.
- Weitere Verfestigung auf 1 bis 3 *Spunlacetrommeln* abwechselnd von Unter- und Oberseite des Vlieses. Je nachdem Bezug sind die Trommeln für flache, geschlossene Vliese, zum Strukturieren oder Perforieren geeignet.
- Entwässerung der Vliese mit einem Absaugband oder Entwässerungstrommel zu Minimierung des Energiebedarfes des nachfolgenden Fleissner-Trommel-trockners.

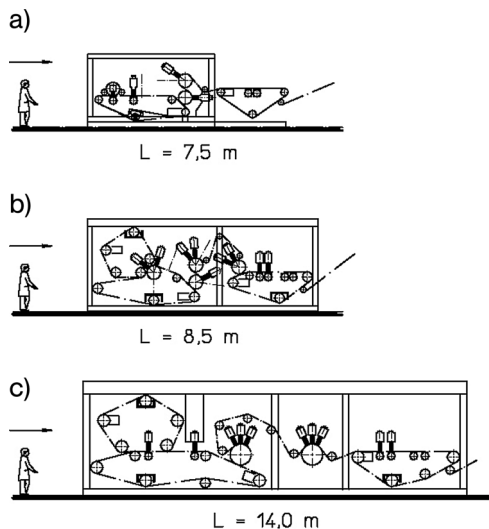


Abb. 6.94 Fleissner-AquaJet-Anlagenkonzepte von Trützschler Nonwovens GmbH, a) LeanJet 3-stufig, b) AquaJet mit Band-Trommel-Kompaktierung, 5-stufig, c) Jumbo-AquaJet, 4-stufig

- Fleissner Energie Management System mit permanenter Aufzeichnung der aktuellen Verbrauchsdaten wie Strom, Gas, Öl und Wasser, sowie Angabe des aktuellen spezifischen Verbrauchs und Kosten bezogen auf den Vliesstoffdurchsatz [160].

Die wesentlichen Maschinenkomponenten des AquaJets sind:

- Wasserbalken für max. 400 bar (in Sonderfällen 600 bar) mit Schnellwechsel von Düsenstreifen (s. Abb. 6.93), Düsenstreifen mit je ein bis drei Düsenreihen, Selbstdichtungseffekt. Um streifenfreie Oberflächen zu erzielen, werden Schwingbalken auf dem Absaugband eingesetzt (s. Abb. 6.92, rechts im Bild).
- Spunlacetrommel geeignet bis 1000 m/min Produktionsgeschwindigkeit, mit auswechselbaren kassettenförmigen Saugschlitten,
- abziehbare Trommelschalen für schnellen Produktwechsel, die Trommel wird durch den Absaugzylinder gestützt, der das Wasser-Luftgemisch kontinuierlich entfernt.
- Wasserkreislauf mit Luftwasserabscheider, Wasserfiltration ausgelegt abhängig von
- den Fasern wie Synthefasern, Naturfasern, Zellstoff (Wood Pulp), Viskose,
- Splittfasern oder Spinnvlies bzw. Mischungen oder mehrere Lagen verschiedener Fasern,
- Hochdruckpumpen, Polzeifilter (Hochdruckfilter).

Alle Komponenten sind für 24 Stunden-Dauerbetrieb ausgelegt.

Für verschiedene Produkthanforderungen wurde nach Information von Fleissner GmbH AquaJet-Konzepte entwickelt, siehe auch Abb. 6.94:

- LeanJet für Produktionskapazität von einer Krempel, max. 3,6 m Vliesbreite und max. 150 m/min (Abb. 6.94a) und für Baumwoll-Wattepads
- AquaJet mit Band-Band-Kompaktierung für leichte Vliese bis 150 g/m² und bis ca. 400 m/min und max. 4,4 m Vliesbreite
- AquaJet mit Trommel-Band-Kompaktierung universell für Vliese von 15 bis 800 g/m² (Naturfasern bis 1500 g/m²), max. 4,4 m Vliesbreite und bis ca. 400 m/min (Abb. 6.92 und 6.94b)
- Jumbo-AquaJet für > 4,5 m Vliesbreite bis ca. 300 m/min (Große Spunlacetrommeln entwickelt für bis zu 1000 m/min) (Abb. 6.94c)
- MiniJet für Kleinproduktion für max. 1 m Vliesbreite

Verschiedene Varianten des **AquaJet-Spunlacesystems**:

- **Fleissner-AquaSpun**: für Spinnvlies, zuerst Wasserstrahlverfestigung auf dem
- Spinnvliesablageband ohne Kalandrierung, folgende Verfestigung auf
- Spunlacetrommeln und Absaugung auf dem Entwässerungsband oder Entwässerungstrommel,
- 5 m max. Vliesbreite, entwickelt für max. 1000 m/min.

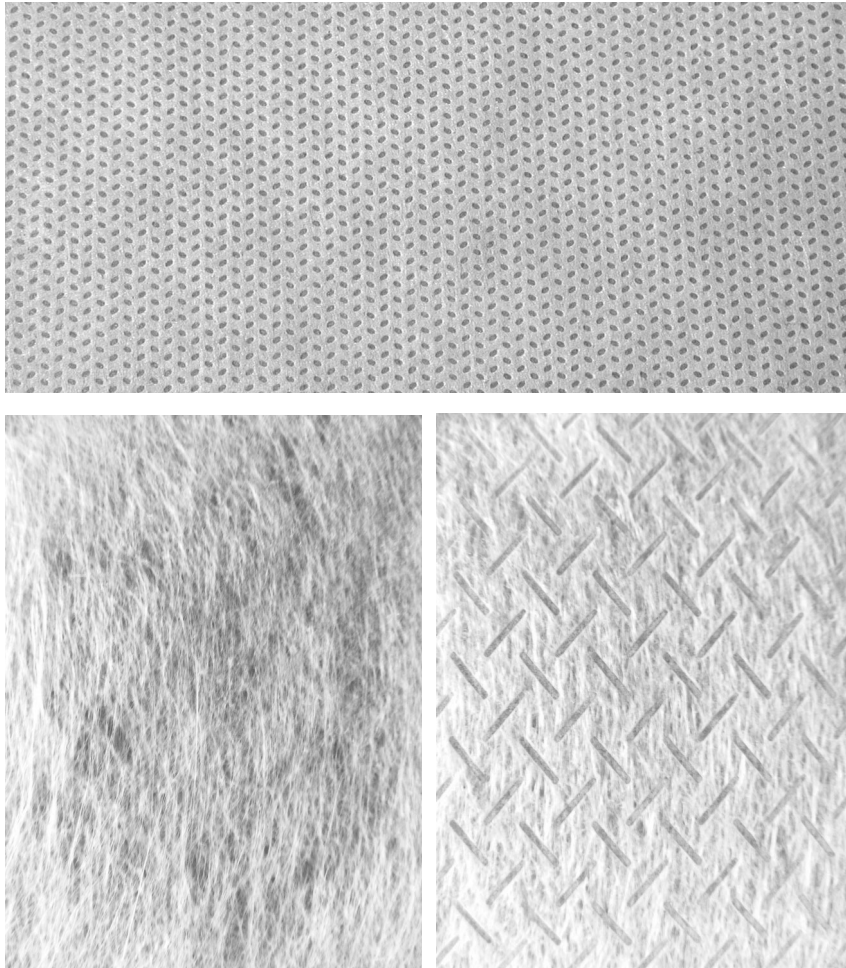


Abb. 6.95 PP-Spinnvlies (Reicofil) mit 2 dtex
a) Standard kalandriert (oben), b) Spinnvlies mit
Fleissner AquaJet wasserstrahlverfestigt (ohne
Kalandrier) (unten links), c) Spinnvlies wasser-
strahlverfestigt wie b, zusätzlich kalandriert
(unten rechts)

- Die wesentlichen Vorteile beim *Spunbond-Spunlace* Verfahren sind die wesentlich höheren Festigkeiten als bei *kalandrierten* oder bei mechanisch genadelten Vliesen und man erreicht einen textilen Griff. Spinnvlies kann zum Binden loser Filamente an der Vliesoberfläche (Linting) nachkalandriert werden ohne die weichen, textilen Eigenschaften zu verlieren [120] (s. Abb. 6.95 und Tab. 6.8).
- Im AquaJet kann Spinnvlies verfestigt und gleichzeitig strukturiert und perforiert werden.
- **Fleissner-AquaPulp:** Zur Herstellung von Airlaid Zellulose Pulp/Vlies Composites [110] für Einweg-Wischtücher:

- aus zwei Schichten aus Faservlies-Pulp oder Spinnvlies-Pulp (CP, SP)
- aus drei Schichten aus Spinnvlies-Pulp-Spinnvlies (SPS), aus Spinnvlies-Pulp-Faser (SPC) oder aus Faser-Pulp-Faser (CPC)
- anstelle von Pulp wird auch Tissuepapier im zwei- oder dreilagigen Produkt eingesetzt z. B. für Ärztekittel.

Tabelle 6.8 Festigkeit und Vliesdicke von PP-Spinnvlies mit 2 dtex

		Vliesgewicht		
		17 g/m ²	25 g/m ²	50 g/m ²
a) standard kalandriert	MD/CD N/50 mm	50/27	52/27	105/55
	Dicke mm	0,21	0,25	0,36
b) AquaJetwasser- strahlverfestigt	MD/CD N/50 mm	104/39	71/38	175/113
	Dicke mm	0,39	0,6	0,84
c) wie b) und zusätzlich kalandriert	MD/CD N/50 mm	76/26	78/26	151/89
	Dicke mm	0,35	0,47	0,68

In Composites hat Spinnvlies den Vorteil einer höheren Festigkeit als Faservlies und man kann Vliesgewicht einsparen. Pulp als saugfähige Komponente ist wesentlich preisgünstiger als Viskose oder Baumwolle.

Speziell die Wasserbalken des AquaPulp werden kontinuierlich von Verunreinigungen mit Pulpteilchen gereinigt.

6.3.4

Vliesverfestigung mit Dampfstrahlen

Auf den 14. Hofer Vliesstoff Tagen im Jahr 1999 wurden vom Sächsischen Textilforschungsinstitut e.V. Chemnitz (STFI) erstmals die Möglichkeiten der Vliesverfestigung mittels energiereicher Gasstrahlen vorgestellt [113]. Das STFI hat in Forschungsvorhaben die Verfestigung mit Luftstrahlen und mit erwärmten Gasstrahlen untersucht.

In einem Patent des STFI werden gasförmige Strahlen beschrieben, die mit Schallgeschwindigkeit aus Düsen austreten und dabei die beste Verwirbelung erzielen [114]. Hochdruckdampf lässt sich wirtschaftlicher herstellen als Hochdruckluft, außerdem kann man bei Dampf einen wesentlichen thermischen Effekt zur Bindung von Fasern nutzen. Die **Steamjet-Technologie** wurde entwickelt und erste Labormuster vorgestellt [115]. Die Trützschler Nonwovens GmbH entwickelte gemeinsam mit dem STFI eine Pilotanlage zur kontinuierlichen Produktion von dampfstrahlverfestigten Vliesen bis 100 m/min [116]. Mitsubishi Rayon Engineering beschrieb 1999 die Verwirbelung mit Gasstrahlen. Kuraray Kuraflex

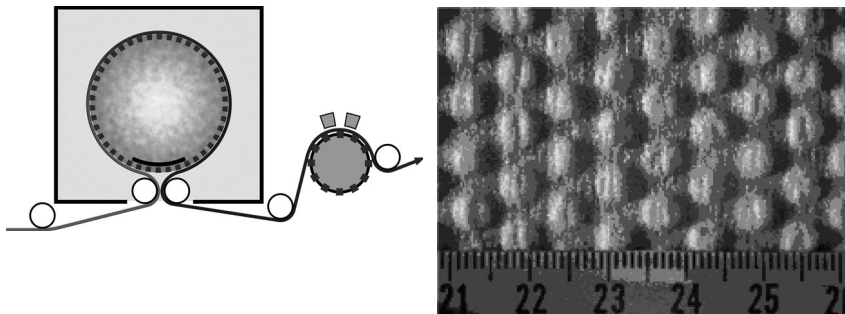


Abb. 6.96 a) Fleissner-Thermobonder kombiniert mit SteamJet-Strukturiertrommel und zwei Dampfballen b) Strukturiertes Thermobondvlies

Co., LTD. nahm in Zusammenarbeit mit Mitsubishi im Jahr 2006 die erste kommerzielle Anlage mit Steamjet-Technologie in Betrieb [117].

Der **Fleissner-SteamJet** besteht aus Dampfballen, durchlässigen Transportbändern oder Trommeln jeweils mit Absaugung unterhalb der Dampfballen, Kondensator des abgesaugten Dampfes, Dampferzeuger und Überhitzer. Der Dampfdruck ist von 3 bis 20bar regelbar, die Überhitzung beträgt 20 bis etwa 50 K.

Mit einer ausreichenden Überhitzung vermeidet man erfolgreich Kondensation im Vlies. Der Dampfstrahlverfestigungsprozess ist damit komplett trocken und eine nachfolgende Trocknung kann eingespart werden.

Das Vlies kann einseitig oder beidseitig mit Dampfstrahlen verfestigt werden.

Ungebundenes Vlies wird von der Krempel kommend zwischen Bändern kompaktiert und dabei das erste Mal mit Dampfstrahlen verfestigt.

Will man stark strukturierte Vliese erzeugen, kann man das Vlies nach der Kompaktierung direkt in der ersten Verfestigungsstufe strukturieren. Auch eine Kombination von thermischer Vorverfestigung im Thermobondofen mit Dampfstrahlverfestigung ist möglich, wenn man ein Thermobondvlies strukturieren will (Abb. 6.96b).

Gemäß Abb. 6.96 können Dampfstrahlen durch ihre Impulskraft Fasern verwirbeln und Vliese strukturieren. Die wesentlichen Bindungskräfte entstehen aber durch das Anschmelzen von Fasern! *SteamJet*-Produkte bestehen aus PP, PET, Co-PET oder in Mischungen aus ihnen mit nicht schmelzenden Fasern z. B. cellulosischen Fasern, wobei die PP- oder PET-Fasern als Bindefasern wirken. Vliesgewichte von 15 bis 100 g/m², mehrlagige Vliese und Geschwindigkeiten bis 100 m/min wurden realisiert.

Vorteilhaft ist die Dampfstrahlverfestigung für wasserempfindliche Fasern wie Superabsorbent-Fasern oder wasserlösliche Fasern wie PVA.

Diese Fasern reagieren bei Kontakt mit überhitztem Wasserdampf nicht, so bleiben Ihre speziellen Eigenschaften wie z. B. extrem hohe Wasseraufnahme bei Kontakt mit Wasser voll erhalten. Ein Vlies mit 40 g/m² aus 15 % Superabsorbent

Fasern (SAF) und 85 % PES- und CoPES-Fasern hat eine Wasseraufnahme bis 1800 % und behält im feuchten Zustand seine Form bei.

Das Vlies wird bei der Dampfstrahlverfestigung bakterienfrei behandelt. Die Weichheit der *SteamJet*-Produkte und deren Festigkeit liegen im Mittelfeld zwischen Produkten aus Thermobonding und Wasserstrahlverfestigung. Der *SteamJet* stellt eine sinnvolle Ergänzung im Bereich *Nonwovens* dar.

6.4

Thermische Verfahren

Alfred Watzl

Zu den thermischen Verfahren nach ISO/DIS 11 224 gehören die Heißluftbehandlung, das Kalandern und Schweißen von Vliesen. Bei der chemischen Verfestigung mittels Bindemitteldispersionen ist für die Kondensation und die Vernetzung der Bindemittelmoleküle sowie für die Trocknung der imprägnierten Vliese der Einsatz geeigneter Anlagentechnik erforderlich, die mit Heißluft, teilweise in Kombination mit anderen Trocknungsverfahren, arbeitet. Deshalb ist es zweckmäßig, die Vliestrocknung an dieser Stelle mit zu behandeln.

6.4.1

Trocknung

Unter Trocknung von imprägnierten Vliesen oder Vliesstoffen wird die Entfernung von Feuchtigkeit und gegebenenfalls anderen flüchtigen Bestandteilen durch Anwendung thermischer Energie verstanden. Bei der chemischen Verfestigung von Vliesen mit Bindemittel-Dispersionen kann es jedoch erforderlich sein, dass in Verbindung mit der Trocknung die Koagulation der Dispersion bei 40–70 °C und die Vernetzung der Bindemittel-Moleküle bei Temperaturen von 130–160 °C erfolgen müssen.

Bei dem Trocknungsprozess ist das im Vliesstoff vorhandene Wasser auf Verdampfungstemperatur aufzuheizen. Für den Verdunstungsvorgang des Wassers liegt die Kühlgrenztemperatur zwischen 70 °C und 80 °C. Solange die Wasserverdampfung stattfindet, bleibt die Vliestemperatur kleiner als die zur Trocknung verwendete Heißlufttemperatur, etwa auf dem Niveau der Kühlgrenz-Temperatur. Mit steigender Heißlufttemperatur wird die Temperaturdifferenz größer, was zu einem erhöhten Wärmeübergang und höherer Trockengeschwindigkeit führt.

Mit der Trocknung kann es zu Bindemittelwanderung (Migration) kommen, indem Bindemittel-Teilchen mit dem Dampf an die Vliesoberfläche mitgenommen werden. Dies bedeutet eine ungewollte ungleichmäßige Bindemittelverteilung über den Vliesquerschnitt, was zu Delaminierungserscheinungen führen kann. Die Migrationsneigung ist umso höher, je mehr Wasser im Produkt enthalten ist. Deshalb ist bei der Schaumimprägnierung gegenüber der Vollbadimprägnierung mit deutlich geringerer Migrationsneigung zu rechnen.

Bei der Auswahl des geeigneten Trocknungsverfahrens ist zu beachten:

- Art des Bindemittels und seine Menge im Vliesstoff
- Luftdurchlässigkeit des Vliesstoffes und
- Produktionsgeschwindigkeit

Mögliche Trocknungsarten sind:

- Konvektionstrocknung
- Kontaktstrocknung
- Strahlungstrocknung

6.4.1.1 Konvektionstrocknung

Die Konvektionstrocknung [121] gehört zu den am meisten angewandten Verfahren. Sie ist dann anwendbar, wenn Luft durch das Vlies hindurchströmen kann. In Abb. 6.97 sind die Luftdurchlässigkeitsbereiche für verschiedene Vliesstoffproduktgruppen in Abhängigkeit von ihrer Flächenmasse dargestellt.

Für die Charakterisierung der Konvektionstrocknung gelten die Gesetze des Wärmeüberganges für:

- Übertragung der Wärme in den zu trocknenden Vliesstoff und
- den Stoffübergang für die Bewegung von Flüssigkeit und Dampf aus dem Inneren des Vliesstoffes an die Oberfläche und an die Trocknungsluft

Damit kann der Trocknungsvorgang als ein Zweistufenprozess betrachtet werden [121]. In der ersten Stufe findet die Verdunstung bzw. Verdampfung des Wassers

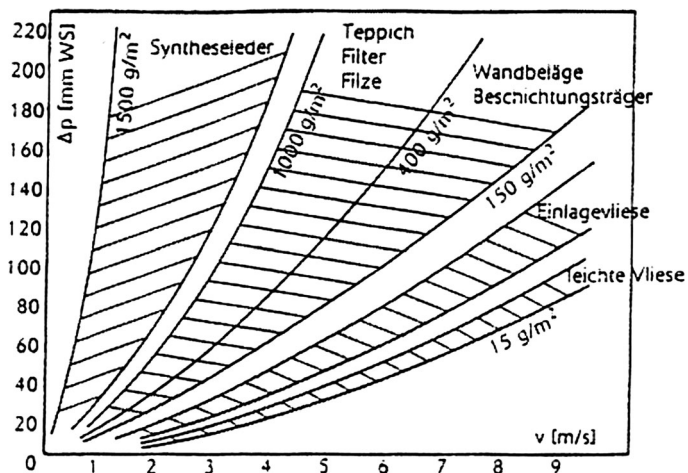
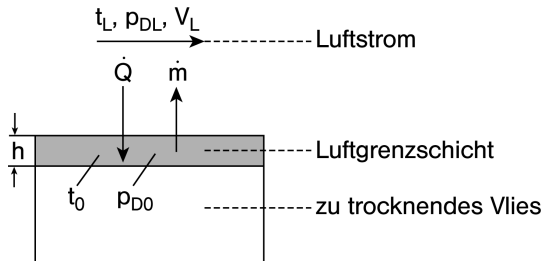


Abb. 6.97 Luftdurchlässigkeitsbereiche für Vliesstoffgruppen mit ihren Flächenmassebereichen

an der Oberfläche des Vliesstoffes statt. Dabei werden die Wärmetübertragung von der heißen Luft durch die Grenzschicht auf der Vliesstoffoberfläche und der Stoffübergang durch den Transport des gebildeten Dampfes durch diese Grenzschicht an die Luft bewirkt. Dabei leistet nur diese Grenzschicht einen Widerstand.



$$\text{Wärmestrom } \dot{Q} = A \cdot \alpha \cdot (t_L - t_0) \quad (6.36)$$

$$\text{Stoffstrom } \dot{m} = \frac{A \cdot \beta}{R_D \cdot T} (\rho_{DO} - p_{DL}) \quad (6.37)$$

$$d = \frac{\lambda_L}{h} \quad (6.38)$$

$$\beta = \frac{D}{h} \quad (6.39)$$

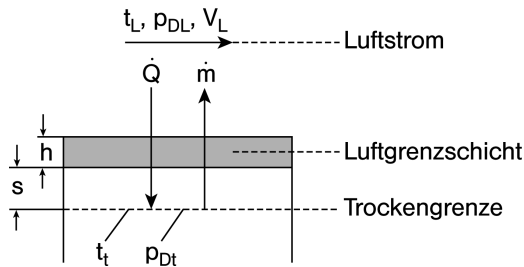
A	am Austausch beteiligte Fläche	m ²
α	Wärmeübertragungskoeffizient	W/m ² K
β	Stoffübergangskoeffizient	m/s
t_L	Trocknungslufttemperatur	°C
t_0	Vliesstoffoberflächentemperatur	°C
v_L	Luftgeschwindigkeit	m/sec
p_{DO}	Dampfpartialdruck an der Oberfläche	N/m ²
p_{DL}	Dampfpartialdruck der Trocknungsluft	N/m ²
R_D	Gaskonstante des Dampfes	J/kg °C
T	Temperatur der Grenzschicht	°K
λ_L	Wärmeleitfähigkeit in der Grenzschicht	W/mK
D	Diffusionskoeffizient	m ² /s

In diesem Prozessabschnitt kann die Trocknungsgeschwindigkeit durch Vergrößern der Temperatur- und Dampfdruckdifferenz zwischen Vliesstoffoberfläche und Luft erhöht werden. Die Wärme- und Stoffübergangswerte vergrößern sich, wenn die Geschwindigkeit der Trocknungsluft ansteigt. Damit wird die

Grenzschichtdicke und somit ihr Widerstand kleiner. Auch eine Flächenvergrößerung führt zu einer Erhöhung der Trocknungsleistung.

Im zweiten Prozess-Abschnitt wird der Verdunstungsort ins Innere des Vliesstoffes verlagert.

Damit müssen sowohl der Wärme- als auch der Stofftransport längere Wege durch bereits getrocknete Vliesstoffschichten zurücklegen. Hierfür gelten nachstehende Beziehungen:



$$\text{Wärmestrom } Q = A \cdot K \cdot (t_L - t_t) \quad (6.40)$$

$$\text{Stoffstrom } m = \frac{A \cdot \sigma_D}{RD \cdot T} (\rho_D t - p_{DL}) \quad (6.41)$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{s}{\lambda s}} \quad (6.42)$$

$$\sigma_D = \frac{1}{\frac{1}{\beta} + \frac{\mu_D s}{D}} \quad (6.43)$$

K	Wärmeübertragungskoeffizient	W/m ² K
t _t	Temperatur an Trockengrenze	°C
σ _D	Dampfdruckdurchlässigkeitskoeffizient	m/s
p _{Dt}	Dampfpartialdruck an Trockengrenze	N/m ²
μ _D	Diffusionswiderstandszahl	

In diesem Abschnitt sind sowohl die äußeren Diffusionsbedingungen, die über Temperatur und Luftgeschwindigkeit beeinflusst werden, als auch die Diffusions-eigenschaften des Vliesstoffes von Bedeutung. Je weiter der Trocknungsort in den Vliesstoff verlagert wird, desto mehr sinkt der Einfluss von Wärme- und Stoffü-bergangszahlen und damit der der Luftgeschwindigkeit auf die Trockengeschwin- digkeit. Für die Endtrocknung von dicken Vliesstoffen mit hoher Dichte hat die Luftgeschwindigkeit nur noch einen geringen Einfluss. Die Trocknungszeit wird

dann im Wesentlichen von der Temperatur, die zur Dampfteildruckdifferenz gehört, bestimmt.

Bei der Trocknung mit Wärmezufuhr ist die Art der Luftführung von Wichtigkeit.

Bei der Mischlufttrocknung wird die Luft ständig im Kreislauf über den Vliesstoff geführt. In geringem Maße findet ein Austausch von Abluft gegen Frischluft statt. Damit kann die Strömungsgeschwindigkeit am Vliesstoff hoch gehalten werden. Dies bedeutet wärmewirtschaftlich eine günstige Steigerung der Wärmeübergangszahlen und gleichmäßige Trocknung über die Trocknerlänge. Bei dem Belüftungssystem ist zwischen Gleich-, Gegen- oder Kreuz-Strom zu unterscheiden. Das Gegenstromprinzip besitzt gegenüber dem Gleichstrom den Vorteil, dass die Trocknung bis zu einer geringen Endfeuchte des Vliesstoffes durchgeführt werden kann und die optimalen Stoff- und Wärmeübergangsverhältnisse ausgenutzt werden können.

Bei der Konvektionstrocknung kommt das Gegenstromprinzip zur Anwendung.

Verschiedene Trocknerhersteller (u.a. Trützschler Nonwovens mit „Fleissner System“) liefern folgende Belüftungssysteme:

Durchbelüftung: Siebtrommeltrockner, Bandtrockner

Bedüsung: Bandtrockner

Parallelbelüftung: *Hotflue* Verweilstrecke

Handelt es sich bei dem Trocknungsgut um Vliese, Papiere oder Tissue mit hoher Anfangsfeuchte, und sollen hohe Produktionsgeschwindigkeiten erreicht werden, so wird ein Hochleistungs-Durchströmtrockner mit Durchströmtrommel erforderlich. Ist die Trocknungstemperatur schon auf Maximum ausgelegt, so gibt es nur noch die Möglichkeit einer Erhöhung der Luftumwälzung. Diese Trockner arbeiten mit schnell-laufenden Spezialventilatoren, die hohe Unterdrücke in der Trommel erzeugen und damit ausreichend große Luftmengen durch das Vlies zwingen. Mit stufenlos regelbaren Ventilatormotoren kann eine gute Anpassung an das jeweilige zu trocknende Produkt erreicht werden. Dafür müssen jedoch auch hohe Motorleistungen für den Ventilator installiert werden. Je nach Vliesart, Temperatur, Wassergehalt sowie Luftmenge und Differenzdruck werden spezifische Trocknungsleistungen zwischen 15 und 300 kg Wasser/m²/h und mehr erreicht.

Abbildung 6.98 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Unterdruck und der gewünschten Strömungsgeschwindigkeit der Luft in Abhängigkeit von der Luftdurchlässigkeit des Vlieses [122].

Im Schnittpunkt der Warenkennlinie mit den Ventilatorkennlinien bei verschiedenen Drehzahlen ergibt sich der jeweilige Arbeitspunkt.

Die Abb. 6.98 zeigt die Möglichkeit der Leistungssteigerung in einem Hochleistungstrockner durch Veränderung der Ventilatordrehzahl. Mit zunehmender Ventilatordrehzahl und damit zunehmender Luftgeschwindigkeit steigt jedoch auch die aus dem Netz aufgenommene Ventilatorleistung.

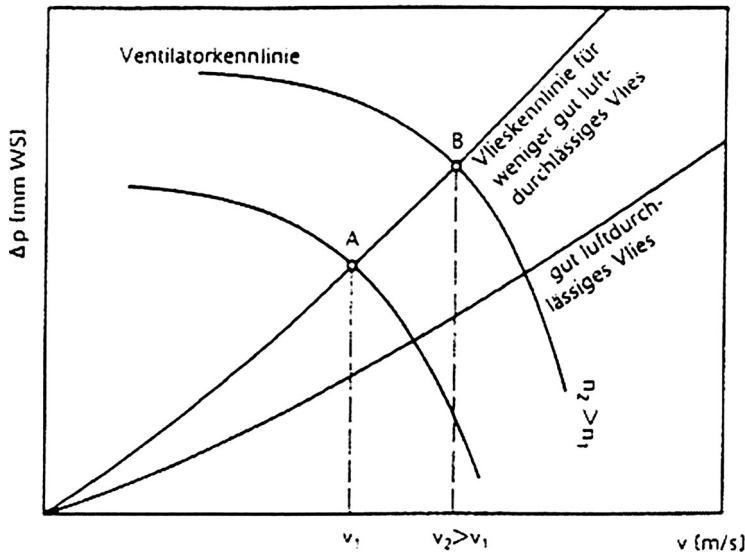


Abb. 6.98 Arbeitsdiagramm eines Durchströmtrockners

Die gleichmäßige Verteilung der hohen Luftmengen über die Arbeitsbreite bei gleichzeitiger hoher Temperaturgleichmäßigkeit stellt hohe Anforderungen an den Trocknerkonstrukteur.

Wird ein Siebtrommeltrockner mit einem Hochleistungsluftmischer ausgerüstet, der hinter dem Ventilatorrad in den Luftkreislauf eingebaut wird und erfolgt zusätzlich eine Vergrößerung der Räume ober- und unterhalb der Trommel – diese Konstruktion wurde erstmalig mit großem Erfolg von Ing. Gerold Fleissner in die Praxis umgesetzt – so können sogar Temperaturgenauigkeiten unter $\pm 1^\circ\text{C}$ über die Arbeitsbreite erreicht werden. Hohe Temperaturgleichmäßigkeiten sind auch bei Maschinen mit hoher Verdampfungsleistung möglich. Bei diesen Anlagen wird durch ein computergesteuertes System ein minimaler Energieverbrauch erreicht, was durch stufenlos regelbare Unterdrücke und Luftgeschwindigkeiten, die linear und exponentiell verstellt werden können, gewährleistet wird.

Die Baugröße des Ventilators wird so ausgelegt, dass der Betriebspunkt im Bereich des besten Wirkungsgrades liegt. Da bei Eintrommelanlagen das Vlies alle Zustände von nass bis trocken auf derselben Trommel durchläuft, stellen die Koordinaten des angegebenen Betriebspunktes bezüglich Δp und Luftgeschwindigkeit mittlere Werte dar. Am wirtschaftlichsten arbeitet jedoch ein Mehrtrommeltrockner, da man dabei von Trommel zu Trommel die Strömungsverhältnisse am Trocknungsgut hervorragend der sich beim Trocknungsvorgang verändernden Luftdurchlässigkeit anpassen kann. Somit kann die Ventilatorleistung minimiert werden.

Für sehr gut luftdurchlässige Vliesstoffe (trocken gelegte, nass gelegte, Spinnvliese) kann der preisgünstige Siebtrommeltrockner bzw. der Stegtrommeltrockner (perforierter Mantel mit aufgesetzten axialen Stegen) verwendet werden. Die

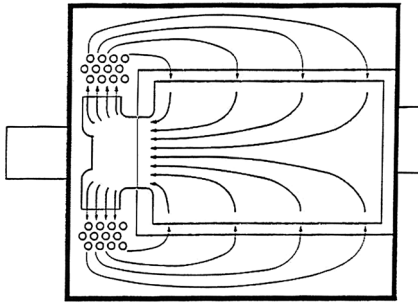


Abb. 6.99 Querschnitt einer Siebtrommel

Stabilität der perforierten Trommel ist dabei bei den üblichen Produktionsgeschwindigkeiten bis 300–400 m/min völlig ausreichend.

Beim Siebtrommeltrockner ist der große Vorteil der direkten Kombination von Durchströmtrommel und Ventilator in einer Kammer mit den dabei günstigen Strömungswirkungsgraden realisiert (s. Abb. 6.99).

Bei Siebtrommeltrocknern beträgt die freie offene Querschnittsfläche max. 48 %, bei Stegtrommeln, einer Variante des Siebtrommeltrockners, bis 95 %.

Vorteile der Siebtrommelkonstruktion sind:

- geringe Strömungsverluste
- niedriger Wärmeverbrauch
- wirtschaftliche Beheizung (Direktgassystem, aber auch jedes andere indirekte Beheizungssystem)
- Ventilatorleistung stufenlos regelbar.

Siebtrommeltrockner System Fleissner können mit Durchmessern von 1400 mm, 1600 mm, 1880 mm, 2600 mm, 3000 mm und 3500 mm und Arbeitsbreiten zwischen 400 und 7000 mm geliefert werden. Sie können als Ein- oder Mehrtrommeltrockner mit Zusatzeinrichtungen für die verschiedensten Vliesstoffqualitäten ausgestattet sein. Abbildung 6.100 demonstriert hierfür Ausführungsbeispiele.

Für Siebtrommeltrockner sind folgende Vorteile und Besonderheiten zu nennen:

- Durch die Anordnung des großdimensionierten Radialventilators in der Trocknungskammer entstehen im System nur geringe Strömungsverluste. Dadurch wird der elektrische Energieverbrauch für den Ventilatorantrieb reduziert.
- Mehrtrommeltrockner, System Fleissner, arbeiten mit wechselseitiger Vliesführung von Trommel zu Trommel und wechselseitiger Luftdurchströmung; dadurch ist eine konstant gleichmäßige Trocknung gewährleistet. Bei der Vertikalbauweise ist jede Trommel 3/4 umschlungen. Wegen der kompakten Bauweise ist der Platzbedarf für diesen Trockner außerordentlich gering.
- Standard-Perforationen sind 3 mm, 5 mm, 8 mm Durchmesser und quadratische Perforation mit unterschiedlicher freier offener Querschnittsfläche.

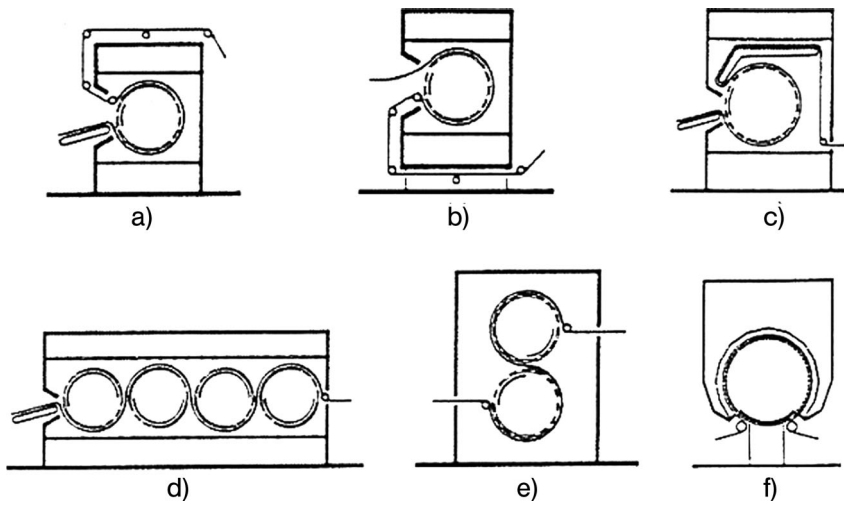


Abb. 6.100 Ausführungsformen von Siebtrommel-trocknern: a) Eintrommel-trockner; Vliesfüh-rung oberhalb Trockner, b) Eintrommel-trockner; Vliesführung unterhalb Trockner, c) Eintrommel-trockner mit Verweilband für Bindemittelvernet-zung, d) Viertrommel-trockner mit wechselsei-tiger Vliesdurchströmung, e) Zweitrommel-trockner in Vertikalbauweise, f) Siebtrommel-trockner in Omega-Design

- Siebgewebe unterschiedlichster Feinheit auf den Trommeln, bzw. auf den Trommeln mit Stegen, verhindern Perforationsabdrücke auf empfindlichen Waren.
- Extrem leichte Vliese von 12 g/m bis schwerste luftdurchlässige Vliesstoffe und Filze von 3000 g/m² und mehr werden getrocknet.
- Geschwindigkeiten von 800 m/min und mehr sind möglich.
- Hohe Temperaturgenauigkeiten von teilweise unter ± 1 °C selbst bei Temperaturen von 250 °C sind möglich.
- Doppelmantelabdeckungen in der Trommel sorgen bei großen Arbeitsbreiten für eine Vergleichmäßigung des Luftstromes über die Trommelbreite.
- Die in der austretenden Warenbahn befindliche Wärme wird durch die eingesaugte Frischluft wieder in den Trockner zurückgeführt. Die Abkühlung der Ware ist somit ein integraler Teil des Systems.
- Bei unterschiedlichen Warenbreiten wird eine innerhalb der Trommel installierte Arbeitsbreitenabdeckung vorgesehen, die Energieverluste vermeidet.
- Die Heizungsart wird durch die erforderlichen Trocknungstemperaturen beeinflusst. Die Beheizung der Siebtrommel-trockner kann mit Dampf, Wärmeträgeröl, durch direkte Gasheizung, Heißwasser oder durch Elektroenergie erfolgen. Durch die direkte Vermischung von Trocknungsluft und Verbrennungsgasen bei direkter Gasheizung wird ein Feuerungswirkungsgrad von 100 % erreicht. Das bedeutet ca. 30 % höhere Wirkungsgrade als bei anderen indirekten Heizsystemen und damit ca. 30 % Einsparung von Brennstoff.

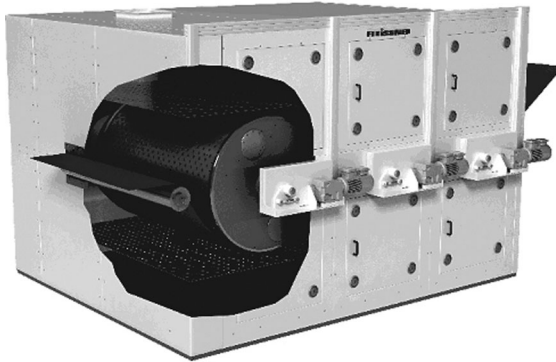


Abb. 6.101 Siebtrommel-Durchströmtrockner in Reihenanordnung

- Abstrahlungsverluste an die Umgebung werden mit hochwertigen Isolierungen bis 150 mm Dicke vermieden.
- Durch die Ausnutzung der Abluftwärme in einem Wärmeaustauscher kann diese Energie dem Trockner wieder zugeführt werden, wodurch der Heizungsbedarf für den Trockner minimiert werden kann.

Als Anwendungsbeispiele für den Einsatz von Siebtrommelrocknern bei der Vliesstofftrocknung sind zu nennen:

- Eintrommelanlagen für imprägnierte Hygienevliesstoffe und *Interlinings*
- Mehrtrommelanlagen für imprägnierte Nadelvliesstoffe für Fußbodenbeläge und Automobilssektor, Filter, Wischtücher, Bitumen-, Synthesleder-Trägervliesstoffe (s. Abb. 6.101)
- Hochleistungs-Siebtrommelrockner für nass gelegte Vliesstoffe, *Airlaid*-Vliese und Spinnvliesstoffe bis 800 m/min und mehr.

Für erforderliche große Trocknungsleistungen bei hoher Produktionsgeschwindigkeit ist der Einsatz von Hochleistungsdurchströmtrocknern notwendig (s. Abb.

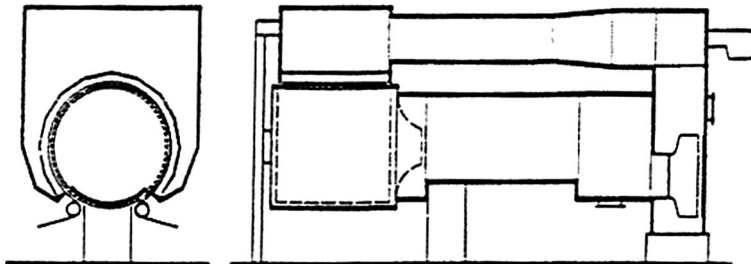


Abb. 6.102 Durchströmtrockner mit Hochleistungstrommel, System Fleissner Egelsbach

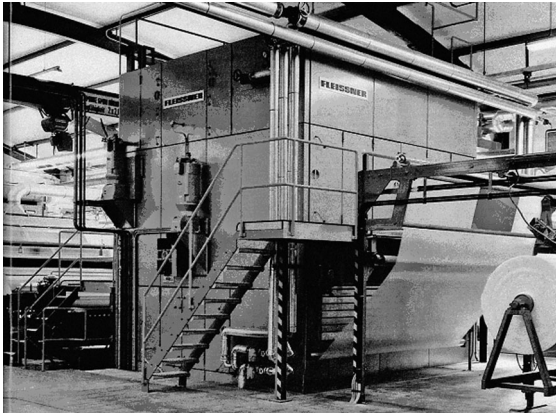


Abb. 6.103 Hochleistungs-Siebtrommelrockner für leichte Vliese

6.102 und 6.103). Hersteller sind Tritzschler Nonwovens (System Fleissner), Metso und Andritz.

Für die Trommelkonstruktion kommt ein neuartiges Elementensystem mit geschraubtem Trommelmantel zur Anwendung. Der Trockner ist gekennzeichnet durch:

- Trommeldurchmesser bis 5400 mm und größer
- Arbeitsbreiten bis 10 000 mm
- große freie Querschnittsflächen von ca. 96 %
- hohe Steifigkeit der Trommel und damit hohe Rundlaufgenauigkeit
- hohe Produktionsgeschwindigkeiten bis 3000 m/min

Dies ermöglicht:

- Durchströmung großer Mengen Luft mit hohen Luftgeschwindigkeiten und minimalem Druckverlust und entsprechend hoher Energieübertragung
- hohe spezifische Wasserverdampfungen bis $550 \text{ kg/m}^2/\text{h}$
- hohes Vakuum in der Trommel bis über 1000 mm WS. Dadurch ist die Trommel gut geeignet zum Trocknen von dichteren Papierqualitäten sowie Tissue und Vliesstoffen mit geringer Luftdurchlässigkeit
- gleichmäßige Luftverteilung über die Arbeitsbreite
- Temperaturgleichmäßigkeit weniger als $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ über die Arbeitsbreite

Dieses Durchströmungsprinzip erschließt neue Anwendungsgebiete:

- Trocknung luftdurchlässiger Papiere, Filterpapiere, Tissue, Handtuch- und Toilettenpapiere, für Industrial- und Consumer-Verwendung (Abb. 6.104)
- Trocknung von wasserstrahlverfestigten Vliesstoffen bei hohen Produktionsgeschwindigkeiten

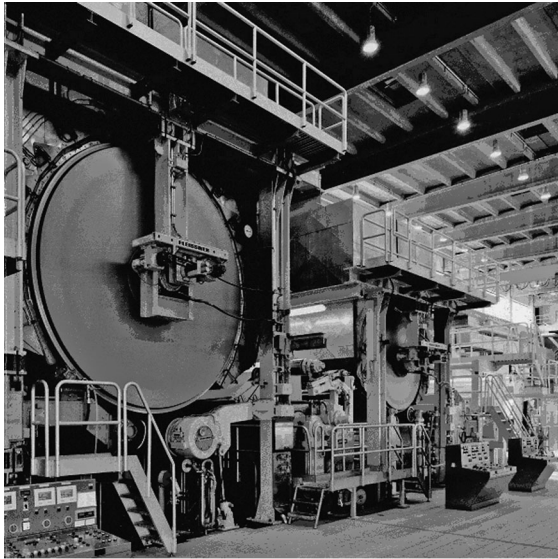


Abb. 6.104 High-Tech-Durchströmtrockner

- Trocknung und Verfestigung von Nass-Vliesstoffen
- Verwendung als Vakuum-Entwässerungswalzen und Übergabe/Übernahmewalzen

Das Durchlüftungssystem ist auch auf Bandtrocknungsanlagen anwendbar und zwar dann, wenn – bedingt durch die Art des Vliesstoffes, etwa bei größeren Vliesdicken, eine Abstützung des Vliesstoffes auf einem waagrecht geführten Band erfolgen muss. In Abb. 6.105 sind die Querschnitte von Bandtrocknern dargestellt, die sich durch die einstellbare Luftführung mit Hilfe von Luftregelklappen unterscheiden. Der Vliesstoff liegt auf dem Band auf und wird durch die Trocknungsluft von oben nach unten bzw. umgekehrt durchströmt. Beim Siebandtrockner wird die Luft durch den Ventilator abgesaugt, über Heizkörper geführt, durch Düsenkästen gleichmäßig über die Breite verteilt und auf die Ware geleitet.

Der Vliesstoff wird über das Transportorgan durch den Trockner transportiert. Eine Breitenkontrolle ist im Standardbandtrockner nicht möglich, bzw. nur in Form von Spanketten oder -kluppen als Spanrahmenausführung.

Beim Düsentrocknungssystem wird der Vliesstoff im Gegensatz zum Durchströmtrocknungssystem an seinen Oberflächen mit einem Prallstrahl beaufschlagt. Die senkrechte Strömungskomponente wird an der Oberfläche der Ware mehr oder weniger zu Null reduziert und der Luftstrahl wird um 90° umgelenkt, sodass teilweise – je nach Luftdurchlässigkeit des Vlieses – eine zur Oberfläche parallele Strömung mit einer laminaren Grenzschicht entsteht. Im Vergleich zum

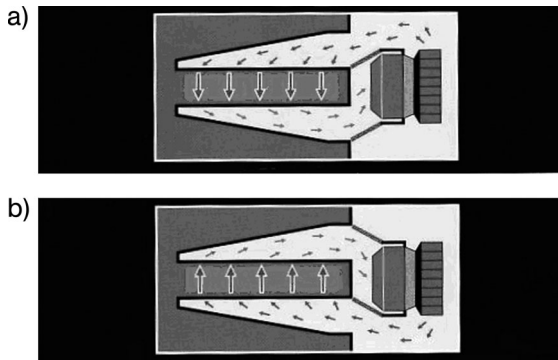
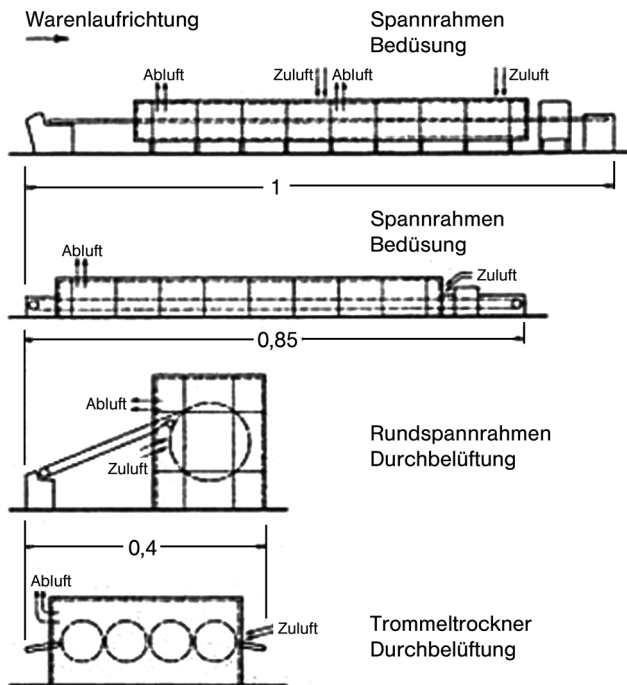


Abb. 6.105 Querschnitte eines Bandrockners System Fleissner mit Durchbelüftung: a) von oben bzw. b) von unten)

Durchströmprinzip wird beim Bedüsungssystem z. B. bei dicken Vliesstoffen der Querschnitt des Vlieses nicht durch die durchströmende Luft erwärmt, sondern durch Wärmeleitung von außen nach innen. Trotz hoher Luftgeschwindigkeiten



Vergleich: Platzbedarf bei Bedüsung und Durchbelüftung

Abb. 6.106 Vergleich Platzbedarf bei Bedüsung und Belüftung

an der Guts Oberfläche ist die Trocknungsgeschwindigkeit (spezifische Trocknungsleistung) beim Bedüsungssystem (abhängig vom Vliesstofftyp) teilweise um mehr als das Zehnfache kleiner als beim Durchströmprinzip des Siebtrommel-trockners. Die Wärmeübergangszahlen beider Systeme unterscheiden sich in der Größenordnung

Durchströmung α : 290–470 W/m²K
 Bedüsung: α : 175–190 W/m²K

In einer Beispielrechnung wurde eine Spannmaschine (Bedüsung) mit dem Band-trockner, einem Rundspannrahmen und einem Siebtrommel-trockner (alle Durch-belüftung) verglichen (Abb. 6.106) [123]. Für alle Maschinen wurde eine konstante Trocknungsleistung vorausgesetzt, woraus sich die Länge der Maschine ergab. Abgesehen vom Platzbedarf ergibt sich beim Durchlüftungsprinzip mit ca. 30 % geringerem Energieverbrauch ein deutlich sichtbarer Vorteil bezüglich Energie-einsparung.

Gemäß den Voraussetzungen einer konstanten Trocknungsleistung ist die theo-retisch benötigte Energiemenge absolut gesehen für alle vier Maschinen gleich, während sie relativ betrachtet zwischen 60 und 85 % der benötigten Gesamt-energie liegt. Die Verlustenergien dagegen sind sowohl absolut als auch relativ sehr unterschiedlich. Das bedeutet, dass man zu der für die Trocknung theoretisch benötigten Energiemenge zusätzlich beim Bedüsungssystem ungefähr 40 % und beim Durchbelüftungssystem je nach Trocknertyp nur zwischen 15 und 30 %

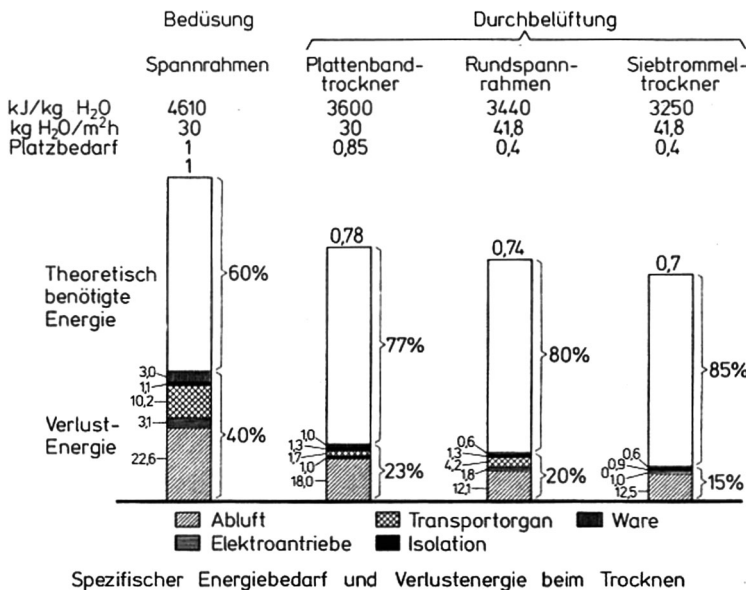


Abb. 6.107 Spezifischer Energiebedarf und Verlustenergie beim Trocknen

Verlustenergie benötigt. Eine Aufteilung der Verlustenergien geht aus Abb. 6.107 hervor.

Das Bedüsungssystem (mit einseitiger oder beidseitiger Bedüsung) kommt beispielsweise dann zur Anwendung, wenn die Vliesstoffe eine sehr geringe Luftdurchlässigkeit haben, beschichtet sind oder der Vliesstoff sehr schonend getrocknet werden muss (Abb. 6.108).

Der am meisten verbreitete Trockner mit Düsenbelüftung ist die Spannmaschine. Die Ware wird beidseitig an den Rändern über Nadeln oder Kluppen gehalten und durch den Trockner hindurchtransportiert. Dadurch ist eine Breitenkontrolle möglich. Weitere Zusatzeinrichtungen erlauben die Einstellung einer Voreilung zum Erreichen geforderter Flächenmasse, bzw. zur Schrumpfkontrolle.

Das Transportorgan für die Ware besteht aus einer Kette, die außerhalb des Trocknungsraumes die Ware aufnimmt, zusammen mit der Ware den Trocknungsraum und das Kühlfeld durchläuft und danach die Ware außerhalb wieder abgibt. Die Luftführung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Trocknungsluft über Düsenkästen mit Rund-, Oval- oder Schlitzdüsen senkrecht von beiden Seiten auf die Ware auftrifft, nach der Seite umgelenkt und zu den Ventilatoren zurückgeführt wird. Dabei wird sie über Heizkörper neu aufgewärmt. Der gesamte Trockner ist in mehrere Zonen aufgeteilt und pro Zone mit einem Abluftschacht versehen, über den jeweils ein Teil der wasserdampfbeladenen Umluft abgestoßen wird. Dieselbe Menge Frischluft muss dem Kreislauf zugeführt und erwärmt werden. Da die Luft, die mit Geschwindigkeiten bis zu 40 m/s aus den Düsen ausströmt, beim Auftreffen auf die Ware abgebremst und umgelenkt wird, liegt eine Mischung aus Bedüsung und Parallelbelüftung vor. Aufgrund der Ausbildung des Transportorgans und der Art der Luftführung ist der Spannrahmen-Trockner nicht für loses Material, für leichte, spannungsempfindliche Waren und für Substrate geeignet, die eine geringe Festigkeit besitzen und noch der Verfestigung bedürfen.

Eine weitere Maschine mit Bedüsung ist der Düsenbandtrockner, der im Aufbau der Spannmaschine sehr ähnlich ist. Anstelle des Transportorgans Kette ist ein Tragband aus Stahl- oder Textilgewebe eingebaut, das den Warentransport übernimmt. Auch hier verlässt das Transportorgan für die Aufnahme und Abgabe der Ware den Trocknungsraum. Durch getrennte Einstellung der Ober- und Unterluft lässt sich die Ware auf dem Band halten, wobei jedoch keine definierte Breitenkontrolle möglich ist. Bezüglich der Art des Belüftungssystems besteht kaum ein

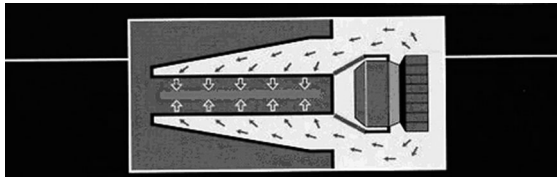


Abb. 6.108 Querschnitt eines Bandtrockners bzw. Spannrahmens mit Bedüsungssystem (System Fleissner)

Unterschied zur Spanmaschine. Das Bedüsungssystem findet auch für einseitige Bedüsung, z. B. in Etagentrocknern mit wechselnden Luftbeaufschlagungen Anwendung.

Andere Entwicklungen laufen darauf hinaus, durch entsprechende Ausbildung des Düsensystems und der Luftführung einen Trageeffekt zu erzielen, um schädliche Spannungen von der Ware fernzuhalten bzw. eine Berührung der Ware mit dem Transportorgan zu vermeiden. In der Regel müssen dabei die Luftgeschwindigkeiten und damit die spezifische Leistung reduziert werden. Derartige Maschinen werden als Schwebetrockner, Schwebedüsenrahmen, Luftkissenrahmen, Tragdüsentrockner usw. bezeichnet.

6.4.1.2 Kontakttrocknung

Bei der Kontakttrocknung empfängt der zu trocknende Vliesstoff ausschließlich die Wärme durch den Kontakt mit den beheizten Walzen. Dabei diffundiert der Dampf von der wärmeren Walzenoberfläche durch das Vlies zur kälteren Seite. Durch Kapillarkräfte wird aufgrund des sich ausbildenden Flüssigkeitsgradienten Feuchtigkeit in Richtung Walzenoberfläche zurückgesaugt. Die Trocknungsgeschwindigkeit bleibt solange konstant, wie Gleichgewicht zwischen Flüssigkeitsverdampfung und Flüssigkeitstransport zur warmen Kontaktwalze erfolgt. Die Trocknungsgeschwindigkeit nimmt dann ab, wenn die Trockengrenze von der Heizfläche in Richtung Vliesstoffoberfläche verlagert und der Wärmetransportweg vergrößert wird. Eine Vliesstoffüberheizung wird in der Form vermieden, indem der Vliesstoff über mehrere beheizte Kontaktzylinder geführt wird und damit die Trocknung beidseitig erfolgt. Ein Vergleich der Trockenleistung zwischen Konvektions- und Kontakttrocknung ergibt bedeutende Unterschiede für die Wärmeübergangskoeffizienten α :

$$\frac{\alpha_{\text{Konvektion}}}{\alpha_{\text{Kontakt}}} \approx 4-10$$

Die Kontakttrocknung (s. Abb. 6.109) kommt dann zur Anwendung, wenn bestimmte Glatt- oder Bügeleffekte erzielt werden sollen; weiterhin können damit bei hohen Anfangsfeuchten schwer luftdurchlässige Vliese getrocknet werden, weshalb Zylindertrockner ebenfalls zur Vortrocknung vor Siebtrommel-Durchström-

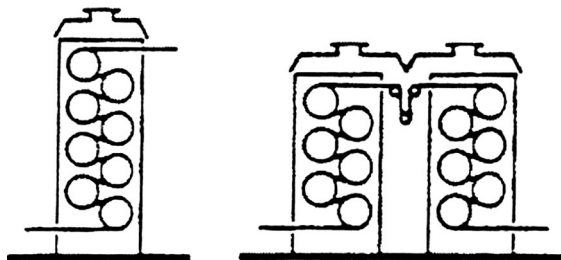


Abb. 6.109 Zylindertrockner mit vertikaler Walzenanordnung

trocknern wirksam eingesetzt werden. Durch die Vliesführung über mehrere Walzen können jedoch hohe Verarbeitungsspannungen auftreten.

Die Zylinder sind in Ständern zu 6 bis 12 Trommeln zusammengefasst. Es sind Zylinderdurchmesser von 570 und 800 mm üblich. Entsprechend der Trocknungsleistung können mehrere Ständer hintereinander aufgestellt werden. Die Zylinder sind in zwei Reihen versetzt zueinander angeordnet, senkrecht stehend oder liegend.

Die Trockenzylinder können mit Sattldampf, Heißwasser, einem Wärmeträgeröl oder mit Gas beheizt werden. Die Intensität der Verdampfung des Wassers im zu trocknenden Vliesstoff ist sehr von dessen Struktur und Dicke abhängig. Bei dünnen Vliesstoffen, bei denen die Oberfläche im Verhältnis zum Volumen groß ist, wird eine höhere Trocknungsleistung erreicht. Mit zunehmender Dicke sinkt die Trocknungsgeschwindigkeit erheblich. Der Wasserdampf muss von der Oberfläche abgeführt werden, um die Sättigung der Umgebungsluft und damit den Stillstand des Trocknungsvorganges zu vermeiden. Man kann deshalb die Trocknungsleistung bei der Kontakttrocknung durch Bedüsen beträchtlich steigern. Der Kontaktrockner kann als Vortrockner in Kombination mit einem Siebtrommelrockner verwendet werden. In dieser Kombination wird der harte Griff, der bei reiner Kontakttrocknung entsteht, weitgehend vermieden.

6.4.1.3 Strahlungstrocknung

Bei der Strahlungstrocknung wird mit speziellen Heizelementen, den Strahlern, Energie ohne Zwischenträger an den Vliesstoff übertragen. Bei entsprechend hohen Strahlertemperaturen können höhere Wärmemengen als bei der Konvektionstrocknung übertragen werden. Nach dem Stefan-Boltzmannschen Gesetz ist die Wärmemenge von der vierten Potenz der Strahlertemperatur abhängig. Der Wärmetransport wird von der Wellenlänge der Strahlung und von der Adsorption in der Materie beeinflusst. Wasser hat im Wellenlängenbereich von 1,8 bis 3,5 μm ein ausgeprägtes Absorptionsmaximum (s. Abb. 6.110). Als geeignete Strahler verwendet man keramische IR-Dunkelstrahler, mittelwellige IR-Strahler aus Quarzglas-Rohr oder flächige Metallfolienstrahler. Strahlungstrockner sollen bevorzugt nur in der ersten Trocknungsphase eingesetzt werden, da eine Gefahr der Vliesschädigung bei Temperaturen größer 95 °C besteht. Sie kommen zur Vortrocknung von imprägnierten

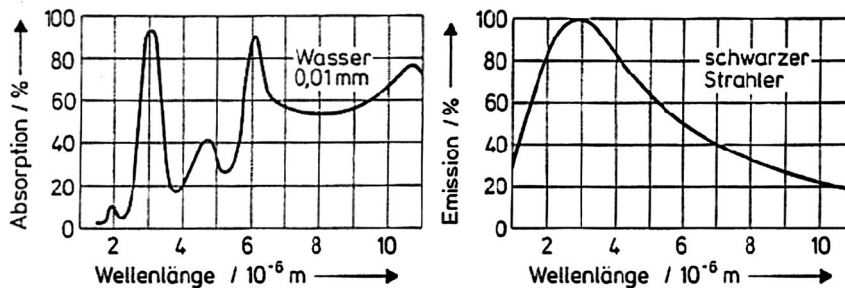


Abb. 6.110 Strahlung

Vliesen zum Einsatz, bzw. zur Koagulation von imprägnierten Vliesen. IR-Strahlungsenergie zeichnet sich außerdem durch hohe Betriebskosten aus. Man unterscheidet elektrisch- bzw. gasbeheizte Infrarot-Strahlungstrockner.

6.4.2

Heißluftverfestigung

Die Heißluftverfestigung – auch Thermofusion genannt – ist eine Trockenverfestigung [124], die das Vorhandensein thermoplastischer Fasern voraussetzt. Mit der Entwicklung der synthetischen, thermoplastischen Fasern haben die Thermofusionsverfahren an Bedeutung gewonnen. Die verfahrens- und anlagentechnische Entwicklung führte dazu, dass diese Verfestigungsart für die verschiedensten Vliesstoffe im Flächenmassebereich von 20 g/m² bis 4000 g/m² und Dicken bis 200 mm anwendbar ist. Im Vergleich zu den chemischen Verfestigungsverfahren ergeben sich folgende Vorteile: weiche und textilartige Vliesstoffe, kein Binde-mitteinsatz und damit hohe Wirtschaftlichkeit bei geringem maschinellen Aufwand. Eine gleichmäßige Durchverfestigung dicker Vliese ist möglich. Bei Verwendung von thermoplastischen Fasern gleichen Polymers ist vollständige Recyclingmöglichkeit gegeben.

6.4.2.1 Grundsätzliches

Für die thermische Vliesverfestigung sind neben den textilmechanischen auch die thermischen Eigenschaften der synthetischen Fasern von Bedeutung. Polymerauswahl, Strukturaufbau und Herstellungsverfahren beeinflussen ihr thermisches Verhalten, insbesondere ihre Thermoplastizität bei Erwärmung und Abkühlung.

Im Teil I, Abschnitte 1.2.2 und 3.3 sind Herstellungsverfahren und Eigenschaften der Synthesefasern auch als Bindefasern ausführlich behandelt. Ergänzend enthält Tab. 6.9 eine Auswahl thermischer Kenngrößen von Fasern, die für die Thermofusion von Bedeutung sind.

Tabelle 6.9 Auswahl thermischer Kenngrößen von Fasern (aus [125])

Faser	Schmelztemperatur °C	Zersetzungstemperatur °C	Erweichungsbereich °C	Spezifische Wärme J·g ⁻¹ ·K ⁻¹	Wärmeleitfähigkeit W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
Viskose		175–205		1,35–1,5	0,3–0,6
Polyamide 6	215–220	310–380	170–200	1,5–1,9	0,29
Polyamide 6-6	255–260	310–380	220–235	1,5–1,9	0,25
Aramid (Nomex)		≈ 370		1,2	0,13
Polyester	250–260	283–306	230–250	1,1–1,4	0,2–0,3
Polyethylen	124–138		105–120	1,4–1,9	0,35
Polypropylen	175	328–410	150–155	1,6–2,0	0,1–0,3
Polyvinylalkohol		230–238	200		
Keramik	1815			0,8–1,0	
E-Glas	1300–1500		675–850	0,7–0,8	3,56

Die für die thermische Verfestigung von Vliesen benötigten Bindefasern können Mono- oder Bikomponentenfasern mit unterschiedlichem Querschnittsaufbau sein. Häufig verwendete Querschnittsformen der Bikomponentenfasern sind Kern/Mantel, Seite-an-Seite und Fasern mit Inselstruktur (*sea-island*) bzw. Orangenquerschnitt (*segment pie*). Durch Polymermischungen oder Polymermodifikationen ist es möglich, den Schmelzbereich zu senken und den Schrumpf zu minimieren. Bei solchen Fasern ist die Schmelzgeschwindigkeit hoch. Schmelzfasern als Monokomponentenfasern können im geschmolzenen Zustand ihre Faserform verlieren und sich an den Faserkreuzungen als Schmelzperlen ablagern, während Bikomponentenfasern ihre Faserform weitgehend behalten.

Die Bindung zwischen den Fasern bei der Thermofusion kann kohäsiv oder adhäsiv erfolgen. Eine kohäsive Bindung erfolgt dann, wenn intermolekulare Wechselwirkungen zwischen Fasern gleichen Polymers stattfinden. Als praktisches Beispiel ist die Bindung zwischen Bikomponentenfasern mit Polyester-mantel und unverstreckten Polyesterfasern zu nennen. Die unverstreckte Faser erweicht oberflächlich bei der Einfriertemperatur (Glasumwandlungspunkt), wird klebrig und bindungsfähig. Der Vorgang ist irreversibel. Nach abgeschlossener Kristallisation ist die Bindung thermostabil. Die adhäsive Bindung an den Kreuzungspunkten zwischen beliebigen Matrix- und Bindefaser erfolgt dann, wenn die Bindefaser bei bestimmter Temperatur plastisch geworden ist.

Die Eigenschaften eines thermisch verfestigten Vliesstoffes sind davon abhängig, wie groß der Bindefaseranteil im Vlies ist. Auswahl des Faserpolymers, Faserfeinheit sowie die Faseranordnung im Vlies bestimmen neben der Vliesstoffmasse auch die Dicke, die Voluminosität und das Festigkeits-Formänderungsverhalten. Die Thermofusion ermöglicht das Herstellen sehr voluminöser Vliesstoffe, sogenannter *Highloft*- oder *Fiberfill*-Vliesstoffe, wie sie z. B. als Faser-matten zur Schaumstoffsubstitution in der Polstermöbelindustrie, in Fahrzeugsitzen und der Filterindustrie benötigt werden. Für die Charakterisierung von *Highloft*-Vliesstoffen gibt es verschiedene Definitionen. Saindon [126] hat sinnvollerweise eine Größe C abgeleitet, die die Anzahl Fasern bestimmt, welche durch einen mm² einer senkrechten Vliesquerschnittsfläche gehen:

$$C = 9000 \cdot \frac{\rho_v}{T_d} = \frac{1,27 \cdot \rho_v}{\rho_F \cdot d_F^2} \quad (6.44)$$

C	Faserfläche	(1/mm ²)
ρ_v	Vliesdichte	(g/cm ³)
T_d	Faserfeinheit	(den)
ρ_F	Faserdichte	(g/cm ³)
d_F	Faserdurchmesser	(mm)

Die freie prozentuale Fläche im Querschnitt F_F beträgt

$$F_F = 1 - \frac{\rho_v}{\rho_F} \cdot 100 \% \quad (6.45)$$

6.4.2.2 Verfahrenstechnik

Das Aufheizen des Vlieses auf die notwendige Schmelztemperatur und die folgende thermische Bindung zwischen den Fasern kann durch Anwenden des Durchströmprinzips oder des Bedüsungsverfahrens mittels Heißluft erfolgen. Einige Trocknerhersteller liefern hierzu Anlagen mit Hightech-Trommeln, perforierte Siebtrommeln und Siebbandanlagen. Die Auswahl des Verfahrens ist von den geforderten Eigenschaften des Endproduktes, insbesondere seiner Vliesstoffmasse und -dicke abhängig (Abb. 6.111)

Wichtig ist, dass das Vlies schnell auf die Schmelztemperatur der Schmelz-/ Bindefaser gebracht wird. Sobald die Temperatur erreicht ist, wird die Luftströmung gedrosselt, damit das Volumen des Vlieses erhalten bleibt. Anschließend erfolgt die Kühlung, um eine mögliche Schrumpfung der Bindefasern und damit eine Dickenabnahme des Vlieses zu minimieren.

Der Aufheiz- und Kühlvorgang eines Vlieses erfolgt entsprechend Abb. 6.112.

Für den stationären Vorgang gilt folgende Gleichung:

$$d\dot{Q} = c_{pm} \dot{m} \cdot d\vartheta_w = \alpha \cdot dF \cdot (\vartheta_L - \vartheta_w) \quad (6.46)$$

\dot{Q}	Wärmemenge	kcal/h
c_{pm}	Spez. Wärme	kcal/kg °C
\dot{m}	$m \cdot B \cdot v \cdot 60$	kg/h
	m Vliesmasse	g/m ²
	B Vliesbreite	m
	v Geschwindigkeit	m/min
ϑ_w	Warentemperatur °C	
ϑ_L	Lufttemperatur °C	
α	Wärmeübertragungszahl kcal/m ² h °C	
F	Fläche	m ²
dF	$B \cdot v \cdot 60 \cdot dt$	
Θ	Temperaturdifferenz = $\vartheta_L - \vartheta_w$	°C
t	Zeit	s

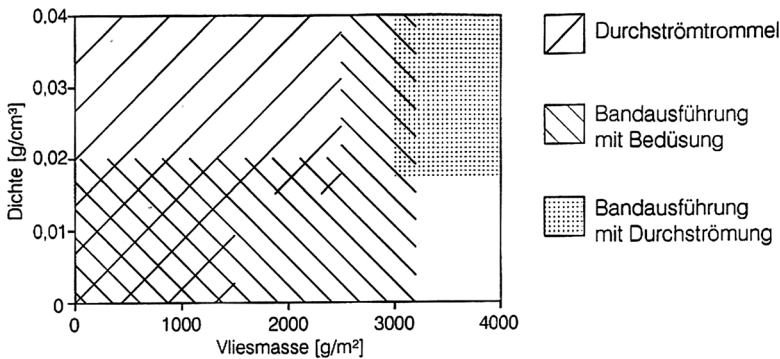


Abb. 6.111 Einsatzbereich von Durchströmtrommel und Siebbandanlage zur Heißluftverfestigung

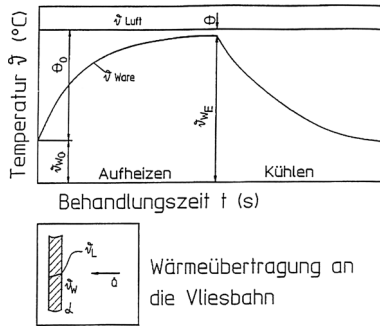


Abb. 6.112 Aufheiz- und Abkühlvorgänge beim Thermoverfestigen mit Heißluft

Durch Lösen der Differentialgleichung und Umstellung ergibt sich für die Vlies-temperatur

$$\vartheta_w = \vartheta_L - \frac{\vartheta_L - \vartheta_{w0}}{e^{\frac{\alpha \cdot t}{m \cdot c_{pm} \cdot 3600}}} \quad (6.47)$$

Während die spezifische Wärme c_{pm} eine faserstoffspezifische Größe ist, wird die Wärmeübergangszahl α auch von den verfahrensspezifischen Bedingungen beeinflusst. Durch Aufheizversuche kann die Wärmeübergangszahl α berechnet werden. Ist sie für die verfahrenstechnische Lösung bekannt, lässt sich die Zeit t bestimmen, bei welcher das Vlies die gewünschte Temperatur erreicht hat.

Abbildung 6.113 zeigt den qualitativen Zusammenhang zwischen der Fasertemperatur und der Behandlungszeit für verschiedene Verfahrenslösungen.

Beim Aufheizen des Vlieses auf die Schmelzetemperatur der Bindefasern erfolgt sowohl beim Durchströmverfahren mit Siebtrommel bzw. Siebband (s. Abb. 6.99 und 6.116) als auch beim Bedüsungsprinzip mit Siebband (s. Abb. 6.108) der Wärmeübergang durch Kombination von Wärmeleitung und Konvektion.

Beim Durchströmprinzip strömt die Heißluft durch das Vlies hindurch.

Das Bedüsungsverfahren ist sowohl für leichte als auch für schwere Vliesstoffe anwendbar. Das Vlies wird beidseitig mit Heißluft bedüst und damit ein konvektiver Wärmeübergang erzielt. Während ein Teil der Luftmenge durch das Vlies strömt und abgesaugt wird, prallt der größere Teil der Luftmenge von der Vlies-

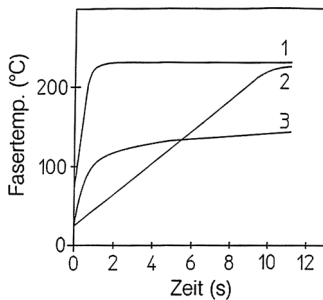


Abb. 6.113 Vergleich der Aufheizzeiten für verschiedene Verfahrenstechniken: 1 Durchströmprinzip Fleissner; 2 Bedüsungsprinzip; 3 Kontaktwärme

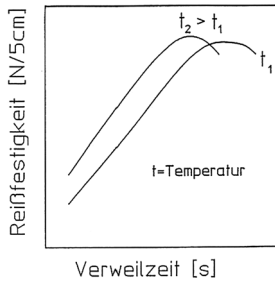


Abb. 6.114 Vliesfestigkeit in Abhängigkeit von Verweilzeit und Verfestigungstemperatur

oberfläche zurück. Je nach der Vliesstruktur stellt sich ein bestimmtes Verhältnis von durchgesetztem zu zurückgeführtem Luftvolumen ein.

Der Unterschied beider Aufheizsysteme zeigt sich auch in den unterschiedlichen Wärmeübergangszahlen. Allgemein gilt

$$\frac{\alpha_{\text{Durchström}}}{\alpha_{\text{Bedüsen}}} \sim 3:1$$

Je größer Vliesmasse und -dichte des Vliesstoffes sind, umso geringer wird der Unterschied zwischen dem α -Wert. Eine Thermoverfestigung mittels Kontakterwärmung scheidet wegen zu langen Aufheizzeiten – insbesondere bei dicken voluminösen Vliesen – aus wirtschaftlichen Gründen aus.

Heißlufttemperatur und Luftgeschwindigkeit beeinflussen die mit der Thermoverfestigungsmethode erreichte Festigkeit des Vliesstoffes. Die notwendige Heißlufttemperatur richtet sich nach der Schmelztemperatur der Bindefasern. Bei einer Temperaturerhöhung kann die Behandlungsdauer reduziert und damit die Produktionsgeschwindigkeit bei gleichbleibender Festigkeit des Vlieses erhöht werden (Abb. 6.114). Zu lange Behandlungszeiten bei erhöhter Temperatur können aufgrund eintretender Strukturänderungen der Fasern zu einem Festigkeitsabbau des Vliesstoffes führen. Bei höherer Heißluftgeschwindigkeit wird unter sonst gleichen Bedingungen eine Festigkeitssteigerung dann erreicht, wenn dies zu einer Erhöhung der Bindepunkte führt (Abb. 6.115). Eine Steigerung der Luftgeschwindigkeit ist nur soweit möglich, dass keine Reduzierung der Dicke und damit des Volumens des Vliesstoffes erfolgt.

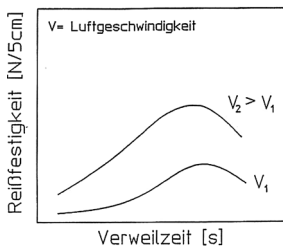


Abb. 6.115 Vliesfestigkeit in Abhängigkeit von Verweilzeit und Heißluftgeschwindigkeit

Der Einsatz von Anpresssieben für die Vliesführung bei der Heißluftherwärmung ist dann ratsam, wenn das Vlies bei der thermischen Bindung an den Faserkreuzungen zur Schrumpfung neigt. Die Folge ist eine unruhige Vliesoberfläche. Deshalb muss bei Thermobondanlagen mit Trommeldurchströmungsprinzip die Vliesführung zwischen Trommel und Anpressband so lange gewährleistet sein, bis das Vlies abgekühlt ist.

Von besonderem Vorteil für den Verfestigungsprozess ist der Einsatz eines Kalibrierwerkes mit definierter Spalteinstellung am Auslauf der Anlage. Durch Angleichen der Spalteinstellung an die Vliesstoffenddicke ist eine Beeinflussung des Verfestigungsgrades, des Volumens und der Vliesstoffdichte sowie der Vliesstoffoberflächenglätte möglich. Ob die Walzen des Kalibrierwerkes beheizt oder gekühlt sind, richtet sich nach der Vliesstoffkomposition sowie nach dem Wunsch, bestimmte Oberflächeneffekte wie Glättung usw. zu erreichen. Zur Verkürzung der Abkühlzeit des verfestigten Vlieses hat sich der Einsatz einer Kühltrommel mit Luftdurchströmung bewährt. Damit werden ein mögliches Nachschrumpfen des Vlieses vermieden und Verzüge durch eventuell auftretende Geschwindigkeitsdifferenzen an Transportorganen reduziert. Die durch das Vlies angesaugte Kühlluft wird in den Kreislauf zurückgeführt. Gleichzeitig werden damit Dämpfe von Avivagen und anderen flüchtigen Bestandteilen abgesaugt.

6.4.2.3 Anlagentechnik

Bei den anlagentechnischen Lösungen für die Heißluftverfestigung mit Durchström- oder Bedüsungssystemen auf Trommel- oder Bandanlagen (Abb. 6.116) wurde auch in Abschnitt 6.4.1 hingewiesen. In diesem wurden Siebtrommel- und Bandtrockner für die Vliestrochnung behandelt.

Anlagentechnisch existieren viele Übereinstimmungen. Anlagen mit Durchströmtrommeln sind sowohl zum Trocknen von imprägniertem Vlies als auch zur

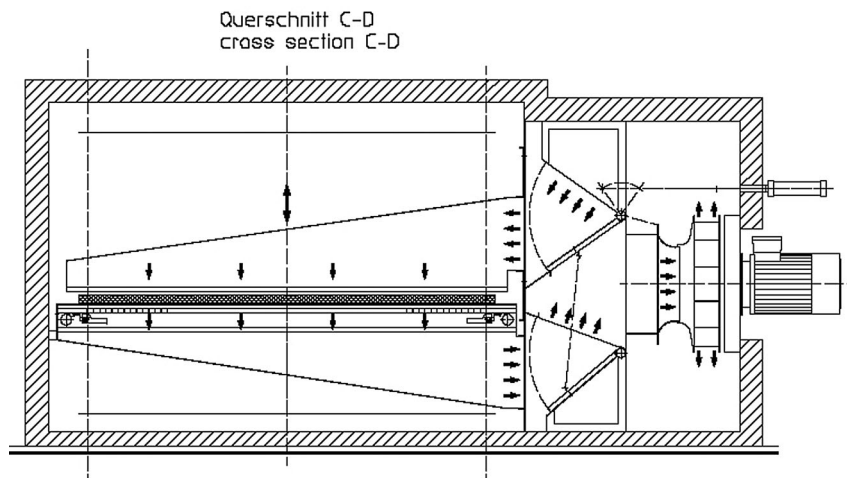


Abb. 6.116 Thermoverfestigungsanlage mit Siebband System Flüssner, Querschnitt

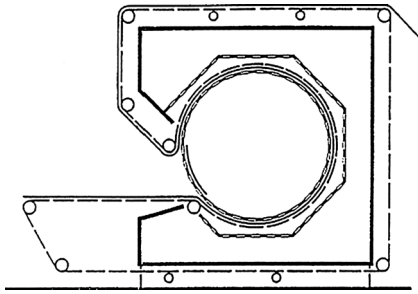
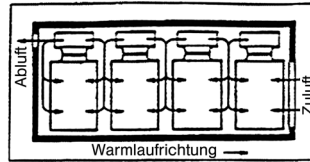
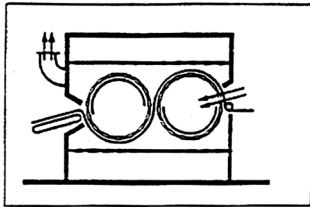
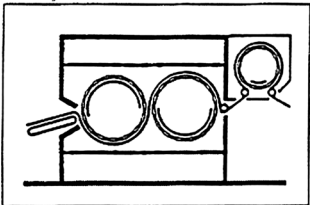


Abb. 6.117 Thermoverfestigungsanlage mit umlaufenden Anpressbändern

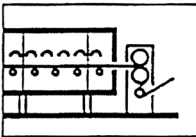
Thermoverfestigung einsetzbar. Abbildung 6.117 zeigt eine Thermoverfestigungsanlage mit umlaufenden Anpressbändern für die Verfestigung von Spinnvliesstoffen aus Bikomponentenfasern bzw. Bifilamentfasern.



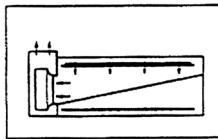
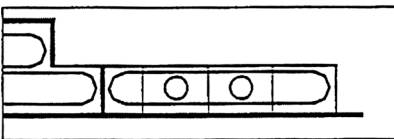
Automatische Kühlung



Anbau Kühltrommel



Kühlen und Glätten gleichzeitig



Separates Kühlfeld mit Luftdurchsaugung (auch mit Bedüsung möglich)

Abb. 6.118 Beispiele für Vlieskühlung mittels Durchströmung und Bedüsung

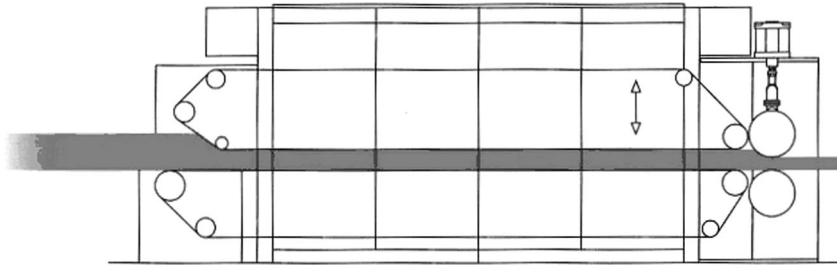


Abb. 6.119 Doppelbandanlage Rotoswing

Bei hohen Produktionsgeschwindigkeiten oder hohen Temperatur- und Strömungsgleichmäßigkeiten in Verbindung mit großen Arbeitsbreiten ist der Einsatz von Hightech-Durchströmtrommeln gegenüber Siebtrommeln vorteilhaft. Bandanlagen mit Bedüsung sind dann zweckmäßig, wenn ein hohes Vliesvolumen erhalten bleiben muss. Bedüsen und Durchströmen können auch in einer Bandanlage kombiniert werden. Möglichkeiten für Kühlung und Kalibrierung von Vliesstoffen sind in Abb. 6.118 für Siebtrommeln und Bandanlagen zusammengestellt.

Mit der Weiterentwicklung der von der Firma Fleissner entwickelten Doppelbandanlage ROTOSWING (Abb. 6.119) steht für die Heißluftverfestigung eine Anlage zur Verfügung, bei welcher das Oberband zum Unterband verstellbar werden kann. Durch die stufenlose Verstellung des Oberbandes und der Düsenhöhe der oberen Düse ist eine optimale Kalibrierung hinsichtlich Dicke und Dichte des Vliesstoffes möglich. Mit dieser Anlage können z. B. Wattediese im Bereich von 20–4000 g/m² bei Dicken von 1–200 mm und größer verfestigt werden. Hohe Temperatur- und Strömungsgleichmäßigkeit über die Breite sichern einen konstanten Verfestigungseffekt. Die Doppelbandanlage gewährleistet die Erzielung einer gewünschten Vliesdicke und verhindert das Verblasen des Vlieses.

6.4.3

Thermofixierung

Die Thermofixierung ist der Prozess für das Erreichen einer guten Formbeständigkeit von Vliesstoffen aus oder mit thermoplastischen Fasern bei erhöhten Temperaturen. Ursache hierfür ist die thermisch bedingte molekulare Beweglichkeit in den Fasern. Die Formbeständigkeit kann durch Form- und Schrumpffestigkeit des Vliesstoffes charakterisiert werden. Die Fasern befinden sich während der Vliesherstellung und Verarbeitung unter Spannung und werden mehr oder weniger gedehnt. Flächengebilde enthalten somit latente Spannungen, deren Lösung nur dann möglich wird, wenn der Wärmeinhalt so groß ist, dass eine ausreichende molekulare Beweglichkeit eintritt. In diesem Fall ist mit dem Spannungsabbau ein Schrumpfen verbunden, wenn das Vlies frei auf einer Trommel oder auf einem Band fixiert wird, bzw. ein Schrumpfen wird vermieden, wenn die Ware in der

Breite gehalten wird. Eine Thermofixierung kann mittels Heißluft, Satttdampf oder Heißwasser durchgeführt werden. Den Fasern wird soviel Wärmeenergie zugeführt, dass sich die infolge von Verformungen stark angespannten inter- und intramolekularen Wechselwirkungen lösen und bei anschließender Abkühlung neu formieren und dabei ein Energieminimum der Lage einnehmen. Der Fixiereffekt ist nicht nur von der Temperatur, sondern auch von der Verweildauer, der Warenspannung und der Abkühlgeschwindigkeit abhängig. Als maximale Fixiertemperaturen lassen sich im Falle der Heißluftfixierung etwa folgende Werte für die bekannten synthetischen Chemiefasern angeben:

PP:	150 °C
PA 6:	190 °C
PA 6-6:	225 °C
PAC:	220 °C
PES:	230 °C

Diese Werte tangieren den Erweichungsbereich und liegen etwa 20–40 °C unter dem Schmelzpunkt. PES-Fasern werden am wirkungsvollsten in Heißluft fixiert, bei PA ist eine Satttdampf fixierung effektiver als eine Heißluft fixierung. Der Fixierprozess hat auch Einfluss auf die Ordnung und die Orientierung der Makromoleküle. Dies hängt mit der Umstrukturierung der teilkristallinen Faser-substanz zusammen, und zwar beobachtet man infolge der Fixierung eine Zunahme des Kristallinitätsgrades und insbesondere bei Schrumpfung während des Fixierens eine starke Auflockerung des ungeordneten Anteils. Als Thermofixierungsbedingungen können Temperatur und Zeit als ein Maß für die Möglichkeit der freien Schrumpfung, z. B. Voreilung in Maschinenrichtung am Spannrahmen oder am Trommeleinlauf, definiert werden. Normalerweise ist bei den gut durchlässigen Vliesstoffen die Ware innerhalb von ein bis zwei Sekunden auf die Fixiertemperatur aufgeheizt (vgl. auch Abb. 6.113), sodass bei Verwendung von Durchströmtrommeln die Dauer der Thermofixierung ausreichend ist und keinen Einfluss auf die Höhe der Kontraktionskraft ausübt. Die strukturellen Veränderungen haben bereits nach kurzer Zeit ihren Gleichgewichtszustand erreicht.

Bezüglich des Einflusses der Thermofixiertemperatur ist festzustellen: je höher diese Fixiertemperatur ist, umso niedriger liegen die nachfolgenden Kontraktionskräfte, d. h. umso niedriger liegt auch der Schrumpf bei wieder aufgeheizter Ware. Es ist bekannt, dass mit höherer Temperatur der Kristallisationsgrad ansteigt, wobei seine Zunahme auf Kosten der weniger orientierten Bereiche geht. Diese weniger orientierten Zonen sind in einem beträchtlichen Ausmaß für die Größe des Schrumpfes verantwortlich. Daher gilt, je niedriger ihr Anteil, umso größer ist die Dimensionsstabilität und umgekehrt. Im Verlauf der Thermofixierung schrumpft die Ware in Längs- und Querrichtung, wobei der Schrumpf in Querrichtung durch die Breitenkontrolle in den Nadeln vermieden bzw. kontrolliert wird. In Längsrichtung verändert sich die Ware so lange, bis die vorgegebene Voreilung in ihrer Länge ganz ausgeschumpft ist. Von diesem Punkt an findet die nachfolgende Thermofixierung unter Spannung statt. Deshalb gilt, je höher die

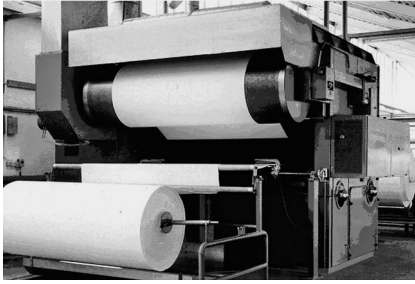


Abb. 6.120 Thermobondanlage mit Siebtrommel

Voreilung ist, umso niedriger sind die Spannungen. Die Thermofixierung von Vliesstoffen wird durchgeführt

- zur Faserfixierung
- zum Abbau von Spannungen im Vlies
- zum Erzielen der Dimensionsstabilität
- zum Verhindern des Breitenschumpfes bei nachfolgenden Ausrüstungsvorgängen wie Beschichten usw.

Durch das Fleissner-Durchströmprinzip wird eine sehr schnelle Aufheizung des Vlieses auf Fixiertemperatur erreicht; das bedeutet eine sehr kompakte Maschine mit allen Vorteilen des geringen Energieverbrauchs. Die erforderliche schockartige Kühlung wird auf der nachfolgenden Kühltrommel durchgeführt.

Für die Thermofixierung werden Ein- und Mehrtrommelanlagen eingesetzt (Abb. 6.120).

Bei vielen Ausrüstungsvorgängen von Vliesstoffen ist es erforderlich, während der gesamten Behandlungsdauer die Breite zu kontrollieren und evtl. Schrumpf zu verhindern. Solche Anlagen werden z. B. benötigt zur Fixierung von PES-Vliesen für Beschichtungsträger, zum Fixieren und Relaxieren von Spinnvliesen usw.

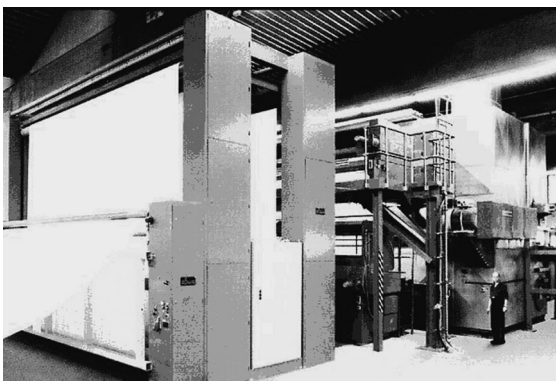


Abb. 6.121 7 m breite Thermofixieranlage

Neben dem konventionellen Horizontalspannrahmen mit Bedüsung werden dafür hauptsächlich der Fleissner-Rundspannrahmen und der Fleissner-Eintrommeltrockner mit Nadelleistenbändern eingesetzt (Abb. 6.121). Während der Rundspannrahmen hauptsächlich dort Verwendung findet, wo unterschiedliche Warenbreiten anfallen, und damit eine Veränderung der Spannbreite in weiten Grenzen notwendig ist, hat der Trockner mit Nadelleistenbändern dort große Vorteile, wo nur wenige Materialbreiten gefahren werden müssen.

Bei Fixieranlagen mit Bedüsung bzw. Durchströmprinzip bestehen wesentliche Unterschiede im Platzbedarf sowie im spezifischen Energiebedarf (s. Abschnitt 6.4.1, Abb. 6.106 und 6.107). Eine weitere Möglichkeit für eine Vliesfixierung bei gleichzeitiger Verhinderung des Flächenschrumpfes bietet die Fleissner-Eintrommelanlage mit umlaufendem Anpressband (s. Abb. 6.117). Das Vlies wird dabei zwischen Siebtrommel und einem um die Trommel umlaufenden Siebband geführt. Das Siebband liegt dabei unter Vorspannung an der Trommel an, sodass ein Schrumpfen vermieden wird. Gleichzeitig erhält man dabei eine Faserfixierung und eine Festigkeitssteigerung. Noch im gehaltenen Zustand wird das Vlies durch Durchsaugen von Frischluft abgekühlt. Spinnvliese können in gleicher Weise wie Faservliese fixiert werden [127].

6.4.4

Thermische Kalanderverfestigung (Thermobonding Prozess)

Bei der thermischen Kalanderverfestigung wird ein aus thermoplastischen Fasern oder Filamenten gebildetes Vlies im Walzenspalt eines Kalanders unter Einwirkung von Temperatur, Druck und Zeit gebunden. Dieses Verfahrensprinzip wird als Thermobondierverfahren bezeichnet und hat in den letzten Jahren – insbesondere bei der Verfestigung von leichten Vliesen aus Polypropylen – besondere Bedeutung erlangt. Bei Einsatz einer beheizten gravierten und einer glatten Walze erfolgt die kohäsive Verfestigung an den positiven Gravurstellen im Vlies. Zwischen den Bindestellen soll die Faser- bzw. Filamentstruktur erhalten bleiben. An den Bindestellen werden die Fasern plastifiziert und miteinander verschweißt. Die Festigkeit des Vliesstoffes wird wesentlich von den Fasereigenschaften, der Anzahl und Gestaltung der Bindestellen sowie den Prozessbedingungen beim Thermobondverfahren beeinflusst. Das Verfahren besitzt Vorteile insbesondere bei der Verfestigung leichter Vliesstoffe hinsichtlich

- niedrigem Energieverbrauch,
- hoher Produktionsgeschwindigkeiten und
- Erhalt der textilen Eigenschaften, wie z. B. Griff und Porosität zwischen den Bindestellen.

6.4.4.1 Verfahrenstechnik

Durch die Kopplung der Vliesbildung mit dem Thermobondverfahren wird das gebildete Vlies dem Kalander zugeführt, zwischen zwei angetriebenen beheizten Walzen im Walzenspalt verdichtet und in sehr kurzer Zeit an den Kontaktstellen

Tabelle 6.10 Walzentemperaturbereich für verschiedene Faserstoffe nach [128]

Faserstoff	Temperaturbereich (°C)
Niederdruckpolyäthylen	126–135
Polypropylen	140–170
Polyamide 6	170–225
Polyamide 6-6	220–260
Polyester	230–260

angeschmolzen. Der so verfestigte Vliesstoff wird auf die geforderte Endbreite geschnitten und aufgewickelt. Auf den Grad der Vliesverfestigung haben Einfluss:

- die Fasereigenschaften, wie Feinheit, Länge, Kräuselung, viskoelastisches Verhalten unter hydrodynamischen Bedingungen und ihre Erweichungs- und Schmelztemperatur
- Flächenmasse des zu verfestigenden Vlieses
- Walzendurchmesser, Liniendruck im Walzenspalt
- Temperatur
- Vliesgeschwindigkeit
- Gravurart und Gravuranteil an der Walzenoberfläche.

Besonders die genannten sichtbaren Fasereigenschaften bestimmen bei konstanter Flächenmasse die Faserzahl im Vlies sowie seinen strukturellen Aufbau. Feinere Fasern ermöglichen, leichtere Vliese herzustellen. Die niedrigsten Flächenmassen von Vliesen liegen heute im Bereich zwischen 5 und 10 g/m². Für das Anschmelzen der Fasern werden für die verschiedenen Faserpolymere die in Tab. 6.10 genannten Walzentemperaturen angegeben [128].

Die Verfestigung eines Vlieses im Walzenspalt ist in Abb. 6.122 dargestellt.

Das Vlies läuft in den Kalandrier mit der Geschwindigkeit v_{VE} ein. Seine Vliesdicke d_{VE} ist von Flächenmasse und Vliesdicke abhängig. Bei Kontakt mit den beheizten Walzen tritt eine Vliesverdichtung bei gleichzeitiger Erwärmung ein. Die Wärmeübertragung auf das Vlies in Form von Wärmeleitung findet

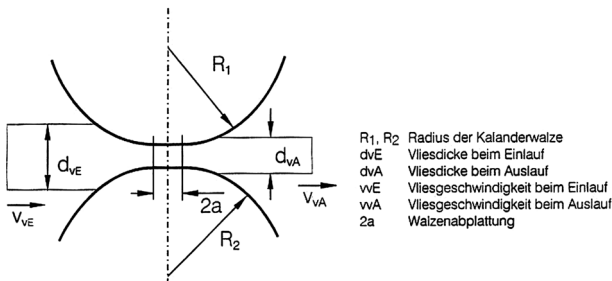


Abb. 6.122 Geometrische Bedingungen beim Thermobond-Verfahren bei glatten Walzen

während der Kontaktzeit t_K zwischen den Walzen und dem Vlies statt. Durch die aufgebrauchte Belastungskraft P ergibt sich eine Druckfläche der Breite $2a$ und der Länge L . Die auftretende Walzenabplattung kann nach der Hertzschen Gleichung 6.48 berechnet werden [129].

$$a = 1,52 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot R}{E_{St} \cdot L}} \quad (6.48)$$

mit

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Die Gleichung 6.48 gilt nur unter Annahme reiner elastischer Körper und, dass die Abplattung im Verhältnis zu den Körperabmessungen klein ist. Hierin bedeuten:

R	Walzenradius	mm
P	Belastungskraft	kp
E _{St}	Elastizitätsmodul für Stahl	kp/mm ²
L	Vliesbreite	mm
a	Abplattung	mm

Die Kontaktzeit t_K , d. h. die Verweilzeit des Vlieses im Walzenspalt, berechnet sich mit V_v = Vliesgeschwindigkeit zu:

$$t_K = \frac{2a}{V_v} [V_v \text{ in m/s}] \quad (6.49)$$

Die Erwärmung des Vlieses muss innerhalb der Kontaktzeit so erfolgen, dass bei gleichzeitiger Druckeinwirkung die Ausbildung der Verfestigungspunkte stattfindet. Nach Verlassen des Walzenspaltes ist eine Dickenzunahme des Vlieses festzustellen. Abbildung 6.123 lässt erkennen, dass mit größer werdender Vlies-

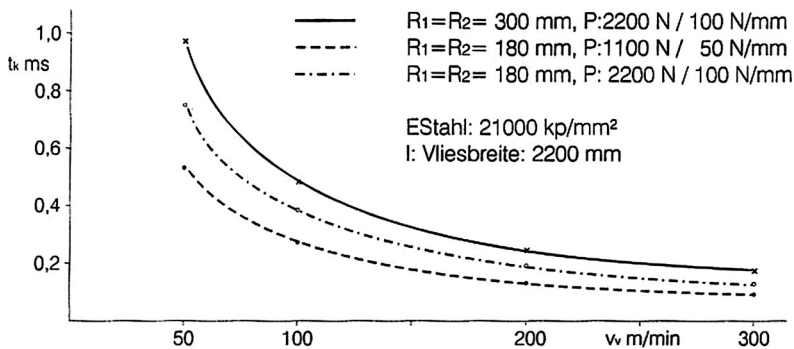


Abb. 6.123 Kontaktzeit im Walzenspalt in Abhängigkeit von der Vliesgeschwindigkeit

geschwindigkeit die Kontaktzeit kleiner wird. Sie kann mit größer werdender Linienkraft und/oder größerem Walzendurchmesser erhöht werden.

Daraus ergibt sich die Möglichkeit, bei konstanter Kontaktzeit durch Variation der Linienkraft die Vliesgeschwindigkeit und damit die Anlagenleistung zu erhöhen. Aus Untersuchungen von Bechter u. a. [130] folgt, in Abhängigkeit von der Temperatur tritt ein Maximum für die mittlere Höchstzugkraft bei verschiedenen Linienkräften auf. Bei Überschreiten der faserspezifischen Temperatur tritt ein Festigkeitsrückgang ein. Die Temperaturangaben beziehen sich immer auf die Temperatur der Walzenoberfläche. Sie ist nur so hoch zu wählen, dass die Verbindung zwischen den Faserteilen zu optimaler Festigkeit führt und die Faserstruktur im Bindebereich erhalten bleibt. Wei *et al.* [131] stellten fest, dass die Dicke des Vlieses aus geringorientierten Fasern in einem breiten Temperaturbereich konstant bleibt. Vliese aus hochorientierten Fasern zeigen mit Temperaturanstieg eine Dickenabnahme, deren Ursache eine Heißfaserschrumpfung ist. Damit im Zusammenhang steht auch die Deformationswärme, die nach Warner [132] durch das Schmelzen des Polymers teilweise wieder verbraucht wird.

Der Druck ist eine weitere wichtige Größe. Eine Druckerhöhung bewirkt eine Steigerung der Schmelztemperatur des Polymers. Aufgaben des Druckes sind:

- Verbesserung der Wärmeübertragung von den Walzen auf das Vlies und
- Schaffen der Verbindung zwischen den oberflächlich angeschmolzenen Fasern.

Der Druck zur thermischen Vliesverfestigung wird allgemein als Linienkraft angegeben. Richtigerweise ist er auf die Vliesbreite und nicht auf die Walzenbreite zu beziehen. Der Druckaufbau ist unter Beachten der Kontaktgeometrie und der hydrodynamischen Verhältnisse bei der Vliesverformung zu betrachten. Da im Allgemeinen mit gravierten Walzen gearbeitet wird, überlagern sich noch die elastischen und plastischen Verformungszustände des Vlieses im Bereich der Gravurstellen. Klöcker-Stelter [133] hat sich mit der Prozessmodellierung über

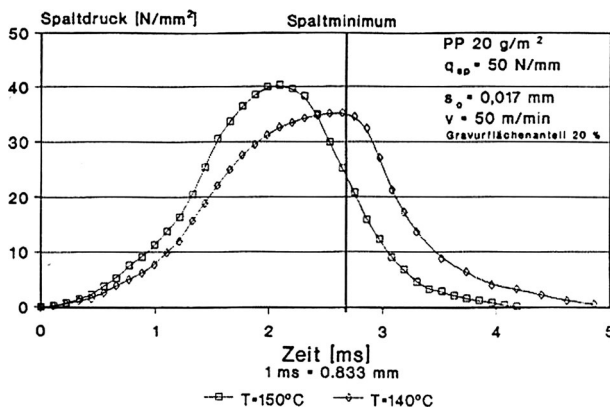


Abb. 6.124 Druck im Gravurpunkt mit Temperaturvariation für Polypropylenvlies [133]

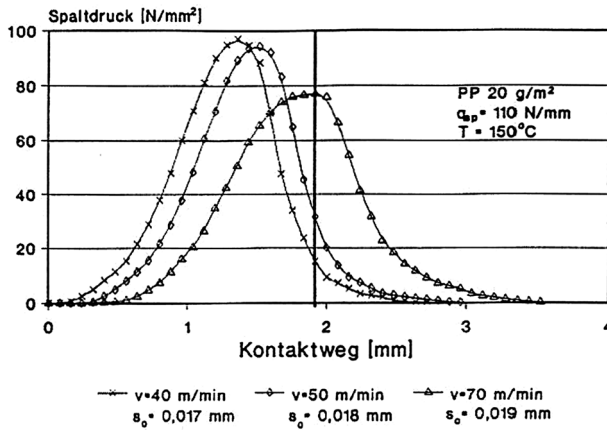


Abb. 6.125 Geschwindigkeitseinfluss auf Spaltdruck für Polypropylenvlies [133]

das Verhalten von Vliesen im Spalt bei der thermischen Kalanderverfestigung beschäftigt und kommt dabei aufgrund theoretischer und experimenteller Untersuchungen zu folgenden Ergebnissen: Während bei Annahme der Hertzschen Gleichung der maximale Spaltdruck im Spaltminimum liegt, tritt nach Abb. 6.124 das Druckmaximum vor dem Spaltminimum auf.

Dabei ist zu beachten, dass der Spaltdruck bei einer gravierten Walze nur durch die Gravurreihe auf das Vlies übertragen wird. Der auf den Gravurpunkt wirkende Druck ist somit von der Gravurteilung abhängig. Er ist im Vergleich zu einer glatten Walze um diesen Betrag zu vergrößern. Die Spaltlast ist in Abhängigkeit der Gravurteilung, der Flächenmasse des Vlieses und der Kontaktstreckenlänge zu erhöhen. Bei größeren Vliesflächenmassen sollte die Walzentemperatur so erhöht werden, dass das Druckmaximum den gleichen Abstand vom Spaltminimum einnimmt. Das Druckmaximum sinkt um den Betrag der größer werdenden Kontaktstrecke. Eine gleiche Druckwirkung wird auch erreicht, wenn die Spaltlast erhöht wird. Nach Abb. 6.125 tritt eine Verschiebung des Druckmaximums in Richtung Spaltminimum ein, wenn die Geschwindigkeit vergrößert wird.

Gute Festigkeitseigenschaften von thermobondierten Vliesstoffen, werden bei kritischem Spaltdruck erreicht, wenn das Erweichen der Fasern ausgelöst wird. Dabei muss die Erweichungstemperatur der Fasern vor dem Spaltminimum erreicht sein, damit der maximale Verfestigungsdruck vor dem engsten Spalt auf das Vlies wirken kann.

6.4.4.2 Anlagentechnik

Die Vliesverfestigung mittels Kalander ist direkt mit der Vliesbildung aus Fasern oder Filamenten gekoppelt. Das unverfestigte Vlies wird auf Transportbändern dem Kalander zugeführt und nach der thermischen Bindung auf Großdocken aufgewickelt. Steigende Anlagenleistungen und Arbeitsbreiten über 5 m bestimmen die Entwicklung der Anlagentechnik bezüglich

- Vliesführung im Kalander
- Walzenkonstruktion mit Gewährleisten einer konstanten linearen Spaltlast über die Arbeitsbreite
- Walzentemperatur mit Temperaturkonstanz bis $\pm 1^\circ \text{C}$ über die Breite und
- Auslegung der Walzengravur entsprechend den Anforderungen an den Vliesstoff.

Allgemein werden für das Thermobondverfahren Zweiwalzen- oder Dreiwalzen-Kalander eingesetzt. Der Zweiwalzen-Kalander arbeitet beispielsweise mit einer gravierten, beheizten Stahlwalze und einer glatten, beheizten Schwimmenden Walze Küsters® [134].

Dreiwalzen-Kalander ermöglichen Walzenkombinationen mit einer oder zwei gravierten Walzen [135]. Damit ergeben sich Möglichkeiten, die Vliesverfestigung mit zwei unterschiedlichen Gravuren, unterschiedlichen Linienkräften und/oder mit Vliesglättung durchzuführen. Für besondere Flexibilität und schnellsten Produktwechsel hat Andritz Küsters den neXcal twin® entwickelt. Bei diesem Twinkalander-Konzept kann der Gravurwalzenwechsel bei laufender Produktion durchgeführt werden. Durch Aus- und Einschwenken der Gravurwalzen wird innerhalb weniger Minuten ein neuer Produktprozess abgebildet. Abbildung 6.126 zeigt die Funktion des neXcal twin®.

Die erforderlichen Linienkräfte können in einem Bereich von 15 bis 300 N/mm liegen und müssen über die gesamte Breite konstant sein. Dies erfordert geeignete Maßnahmen zur Biegelinienkompensation eines Walzenpaares. Hydraulisch regelbare Walzen [135] sind die fortschrittlichsten Lösungen dafür. Einerseits lassen sich durch die Druckregelung die geforderten Linienkräfte realisieren, andererseits kann mit dem Druckmedium Öl gleichzeitig die Walze beheizt und die benötigte thermische Energie in den Walzenspalt mit hoher Konstanz eingebracht werden. Das Konstruktionsprinzip beruht darauf, dass innerhalb einer hohl-

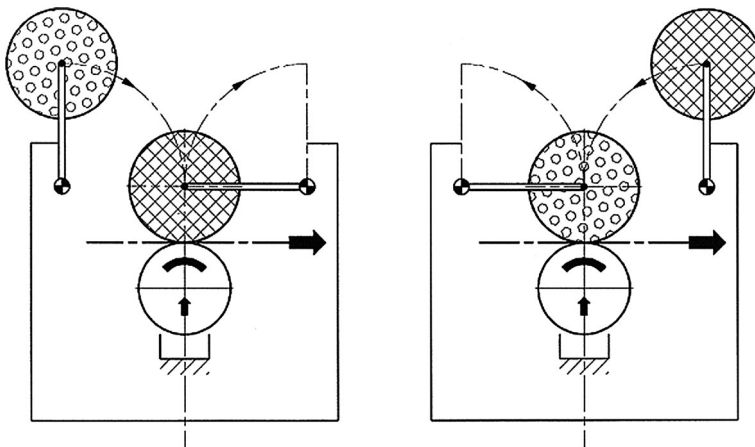


Abb. 6.126 Gravurwalzenwechsel beim neXcal twin® mit hot-S-Roll®

gebohrten Walze ein Öldruck aufgebaut wird, welcher der Linienlast direkt entgegenwirkt. Nach diesen Prinzipien arbeiten die beheizten Schwimmenden Walzen der Hot S-Roll® Reihe von Andritz Küsters mit maximalen Temperaturen bis 275 °C und bei Geschwindigkeiten bis 1000 m/min [135].

Die Kalanderverfestigung von Vliesen mit glatten, beheizten Walzen führt zu einer durchgängigen thermischen Bindung und verleiht dem Vliesstoff einen Foliencharakter. Die Art der Walzengravur und die Zahl der Bindestellen beeinflusst nicht nur den Verfestigungseffekt, sondern auch die Weichheit des Vliesstoffes [136]. Als Gravuren kommen runde, quadratische, rechteckige, ovale und rhombenförmige Erhebungen zur Anwendung. Um den textilen Charakter des Vliesstoffes zu erhalten, sollte der Anteil der verfestigten Fläche an der gesamten Vliesstofffläche möglichst gering sein. Er sollte eine Größe von 20–30% nicht überschreiten. Die Flächenmasse des Vlieses bestimmt die Gravurtiefe. Steile Seitenflächen der Gravur sind günstig für die Lokalisierung der Bindestelle und für gute Weichheit und Flexibilität des Vliesstoffes.

6.4.5

Ultraschall-Verfestigung

Markus Pasternak

6.4.5.1 Definition Ultraschall

Schall stellt sich als Druckwelle der verschiedensten Art dar, die sich in elastischen Medien (Gas, Flüssigkeit und fester Körper) ausbreitet [137].

In der Akustik unterscheidet man, je nach Frequenzbereich zwischen Infraschall, Hörschall, Ultraschall und Hyperschall (Abb. 6.127). Wobei die Frequenzen zur Verfestigung von Vliesen hauptsächlich bei 20 kHz, 30 kHz oder 35kHz liegen, je nach Anwendung.

Ultraschallschweißen ist eine Möglichkeit zur Verbindung von thermoplastischem Materialien, welche die Prinzipien der Akustik benutzen (mechanische Schallwellen), um eine molekulare Verbindung zwischen Vliesstoffen herzustellen.

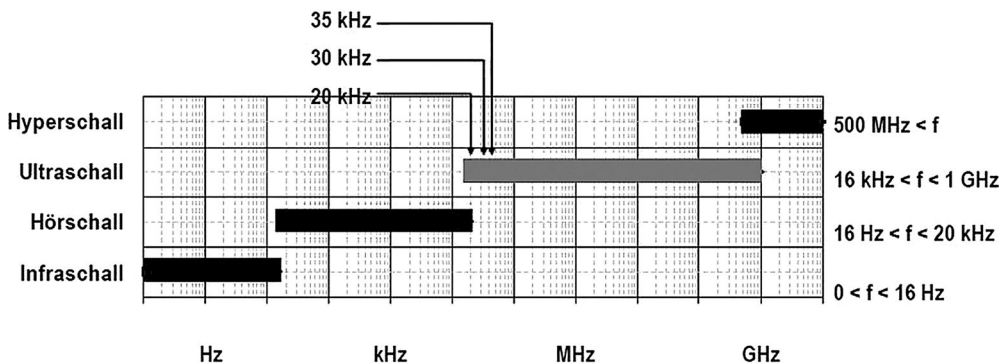


Abb. 6.127 Schallbereiche

len. Hierbei werden die Verbindungen zwischen den Molekülen aufgebrochen und neue Verbindungen hergestellt.

Während des Ultraschallschweißprozesses, werden mechanische Vibrationen unter Verwendung einer bestimmten Amplitude und Kraft in das Material übertragen.

6.4.5.2 Systemkomponenten

Eine Ultraschalleinheit zum Schweißen von Vliesen oder Verbundstoffen besteht im Wesentlichen aus einem Generator und dem sogenannten Schwinggebilde (Abb. 6.128). Dieses besteht aus dem Konverter, dem Transformationsstück und der Sonotrode.

Generator

Der Generator erzeugt aus der vorhandenen Netzspannung, mit einer Frequenz von normalerweise 50 Hz, ein Hochfrequenzsignal. Dieses liegt je nach Anwendung zwischen 20 000 Hz und 35 000 Hz und somit im Ultraschallbereich.

Zu den wichtigsten Aufgaben des Ultraschallgenerators zählen die Bereitstellung der Hochspannung und der Energie, die Konstanthaltung der Amplitude, die Möglichkeit mit unterschiedlichen Sonotroden zu arbeiten und der Schutz des Schwingsystems vor Überlastung.

Konverter

Das vom Ultraschallgenerator erzeugte Hochfrequenzsignal wird an den Konverter angelegt, der aus einem Paket von Piezokeramik- und Titanscheiben besteht. Durch das Anlegen dieses Hochfrequenzsignals wird der sogenannte „umgekehrte Piezoeffekt“ im Konverter Inneren erzeugt. Wird eine hochfrequente Spannung auf dieses Paket gelegt, beginnen die Scheiben sich abwechselnd auszudehnen und wieder zusammenzuziehen. Das führt zu einer longitudinalen Bewegung im μ -Bereich.

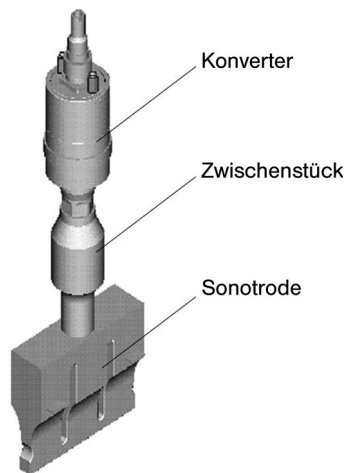


Abb. 6.128 Schwinggebilde

Transformationsstück

Die durch Generator und Konverter erzeugte Bewegung ist zu gering, um Vliesstoffe oder ähnliches zu verschweißen, deshalb muss diese verstärkt bzw. transformiert werden. Das Transformationsstück übersetzt die Eingangsamplitude des Konverters auf die notwendige Amplitude am Eingang der Sonotrode und überträgt die Schwingungsenergie an die Sonotrode. Realisiert wird diese Transformation durch ein unterschiedliches Massenverhältnis im Bauteil.

Sonotrode

Wie auch beim Transformationsstück, wird mit der Sonotrode durch ein unterschiedliches Massenverhältnis die Amplitude vergrößert. Die Sonotrode ist das eigentliche Werkzeug, welches die Schwingungsenergie und die Schweißkraft in das Material überträgt. Je nach Frequenz (Bsp.: 20 kHz bedeutet 20 000-mal pro Sekunde) dehnt und zieht sich die Sonotrode zusammen und beaufschlagt das Material mit der benötigten Amplitude.

Gravierte Ambosswalze

Für die Verfestigung oder das Verschweißen von Vliesen wird beim Ultraschallverfahren, ähnlich wie beim thermischen Verfahren, eine gravierte Walze benötigt. Sie fungiert als eine Art Amboss, welche die Schwingungsenergie der Sonotrode fokussiert. Die eingravierte Struktur hat großen Einfluss auf das Schweißergebnis. Anordnung, Größe, Form, Abstand usw. sind Faktoren, die auf das Produkt bzw. die Anwendung abgestimmt und optimiert werden müssen. In der Regel liegt der Anteil der gravierten Flächen zwischen 2 % und 25 %.

6.4.5.3 Funktionsprinzip

Eine Ultraschalleinheit zum Schweißen von Vliesen oder Verbundstoffen besteht im Wesentlichen aus einer Walze, dem Ultraschallgenerator und einem Schwinggebilde. Das Schwinggebilde ist über der Walze befestigt [138] (Abb. 6.129).

Beim Ultraschallkalender sind mehrere Ultraschalleinheiten über der Walze montiert. Wie bei anderen Kalanderverfahren entsteht der Energieeintrag zur Verfestigung zwischen den Werkzeugen, hier zwischen Sonotrode und Walze.

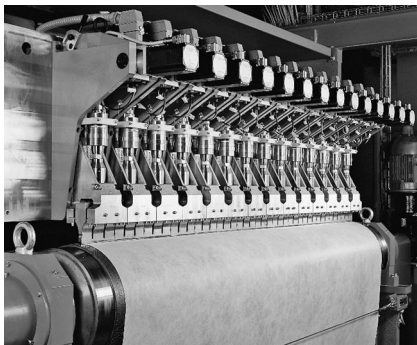


Abb. 6.129 Ultraschallkalender

Angeregt durch die mechanischen Schwingungen der Sonotrode werden die Moleküle des Vlieses in Bewegung versetzt. Bewegung erzeugt Reibung und dies erzeugt wiederum Wärme. Es entsteht somit Grenzflächenreibung und das Material erreicht seine Schmelztemperatur, wird dann entweder verfestigt oder mit einem anderen Material verbunden, je nach Applikation. Voraussetzung für die Verfestigung von Vliesstoffen mittels Ultraschall ist eine konstante Energieeinwirkung über die gesamte Breite der Anwendung. Um dies zu gewährleisten, müssen ebenso mechanische Voraussetzungen erfüllt sein wie zum Beispiel eine hohe Rundlaufgenauigkeit der Gravurwalze, sowie deren Lagerung. Auch eine stabile Befestigung der Ultraschalleinheiten ist eine Grundvoraussetzung.

Aber auch die gleichmäßige Amplitudenverteilung und deren Konstanzhaltung bei unterschiedlichen Kräften sind ausschlaggebend für ein gutes Schweißergebnis. Dies wird durch den Generator und das Design der Sonotrode gewährleistet.

Zwischen Sonotrode und Walze muss der Spalt konstant gehalten werden, um eine gleichbleibende Verarbeitungsqualität zu erhalten sowie ein reproduzierbares Ergebnis und hohe Verarbeitungsgeschwindigkeiten. Durch die von Herrmann Ultraschalltechnik GmbH & Co. KG entwickelte *Non-Contact/Non-Wear-Technologie* werden diese Bedingungen erfüllt.

Das Schweißsystem besteht dabei aus einem starr gelagerten Schwinggebilde, das dank einer hochpräzisen Mechanik exakt auf den gewünschten Abstand zur Konturwalze positioniert werden kann. Der Spalt oder die anstehende Kraft zwischen Sonotrode und Walze wird über den gesamten Fertigungsverlauf gemessen. Die Steuerung regelt den Schrittmotor, der die Mechanik auf den gewünschten konstanten Wert ausregelt. Mit diesem System ist es nunmehr möglich, die Einstellungen von jeder Anwendung ohne mechanischen Einrichtaufwand vorzunehmen [139].

Thermische Ausdehnungen der Werkzeuge werden damit ausgeglichen, auch wechselnde Pressflächenanteile können verarbeitet werden. Gleichzeitig wird der Verschleiß der Werkzeuge auf ein Minimum reduziert, da sich Sonotrode und Walze nicht berühren.

6.4.5.4 Vorteile des Ultraschallverfahrens

Für den Anwender dieses Verfahrens ergeben sich mehrere Vorteile.

Durch den gezielten Energieeintrag in den Gravurpunkten bleibt das restliche Material unbeeinflusst. Das heißt, die Grundeigenschaften des Materials werden, im Gegensatz zum thermischen Verfahren, ausschließlich am Gravur- bzw. Verbindungspunkt beeinflusst. Außerhalb des Bondingpunktes tritt keine Schmelze aus, somit bleibt beispielsweise die Filterleistung, das Aufsaugverhalten usw. des Materials nahezu erhalten und auch die Haptik behält einen weichen Charakter.

Ultraschall benötigt keine Aufwärmphasen, wodurch eine effektive Ausnutzung der Zeit gegeben ist. Die unmittelbare Systemverfügbarkeit und das einfache Anpassen der Parameter beim Produktwechsel führen zu einer höheren Produktivität. Gerade was die Aufwärm- und Rüstzeiten betrifft oder das Reinigen, muss bei Ultraschall nicht gewartet werden, bis sich das komplette System abgekühlt hat.

Der größte Vorteil gegenüber anderen Verfahren besteht in den niedrigen Energiekosten. Geringe Wärmeverluste an die Umgebung sowie der hohe Wirkungsgrad der Technologie gepaart mit dem gezielten Energieeintrag, macht Ultraschall zu einer der effektivsten Anwendungen, die nur einen Bruchteil der Energie von klassischen Verfahren benötigt.

6.5

Chemische Verfahren

Wolfgang Schilde, Hilmar Fuchs

6.5.1

Adhäsion und Kohäsion

Die Verfestigung von Vliesen auf Basis chemischer Verfahren erfolgt durch adhäsive und kohäsive Verfestigung. Diese Verfahren werden auch außerhalb der Vliesverfestigung angewandt [140], auch für nachträgliche Ausrüstungsbehandlungen [141–143] (s. Kapitel 7). Chemische Vliesverfestigungsverfahren werden auch in Kombination mit Verfahren zur mechanischen und thermischen Verfestigung [144] angewandt (s. Kapitel 3, 6 und 7).

Eine kohäsive Bindung bildet sich ohne Bindemittel zwischen gleichartigen Vliesfasern aus. Der kohäsiv verfestigte Vliesstoff ist demnach bindemittelfrei und besteht aus Fasern gleicher Eigenschaften. Ein adhäsiv verfestigter Vliesstoff dagegen enthält Bindemittel (vernetzte bzw. koagulierte Bindeflüssigkeit oder erstarrte Bindefasertropfen), das die Matrixfasern miteinander verklebt. Er kann auch aus verschiedenartigen Fasern bestehen. In bindefaserhaltigen Vliesstoffen befinden sich adhäsive und kohäsive Bindungen.

Die Bindungen bei adhäsiver Verfestigung beruhen auf intermolekularen Kräften, die in der Grenzschicht zwischen Faser und Bindschicht herrschen. Die maximale Adhäsion und zugleich die maximale elastische Dehnbarkeit erreicht dieses Zweikörper-System, wenn sich beide Komponenten in Grenzschicht-Dimensionen auf einen geringen Abstand genähert haben, sich aber – in molekularen Dimensionen betrachtet – noch nicht berühren. Bei der kohäsiven Bindung polymereinheitlicher Vliesfasern existiert keine Grenzschicht.

Zur Verbesserung der Adhäsion kann die Faseroberfläche durch chemische Modifikation, Oxidation, Plasmabehandlung oder Behandlung mit siliziumorganischen Verbindungen verbessert werden. Dadurch kann die Temperatur einer nachfolgenden thermischen Behandlung gesenkt und die Vliesstofffestigkeit wesentlich erhöht werden [145].

Die Morphologie der Bindestelle (Abb. 6.130) wird wesentlich von Bindemittel-Eigenschaften und von der Applizierungstechnik beeinflusst. Hierzu gehören:

- Koagulat einer Bindeflüssigkeit: punktförmige bis flächige Verbindung
- Film einer Bindeflüssigkeit: ausgeprägte flächige Verbindung
- Schmelze von Pulvern: ausgeprägte flächige Verbindungen

- Bindefasern, geschmolzen oder erweicht: vorwiegend punktförmige Verbindungen

Bei der räumlichen Verteilung der Bindestellen lassen sich unterscheiden:

- Vollbindung: eine homogene Bindestellen-Verteilung über der Vliesstofffläche und -dicke: typisch für die Bad-Applizierung und bei homogener Bindefaser-Zumischung
- Oberflächliche Bindung: die Bindestellen, in der Fläche homogen verteilt, konzentrieren sich auf einer Vliesstoffseite: typisch für den Sprüh- und Rakelauftrag

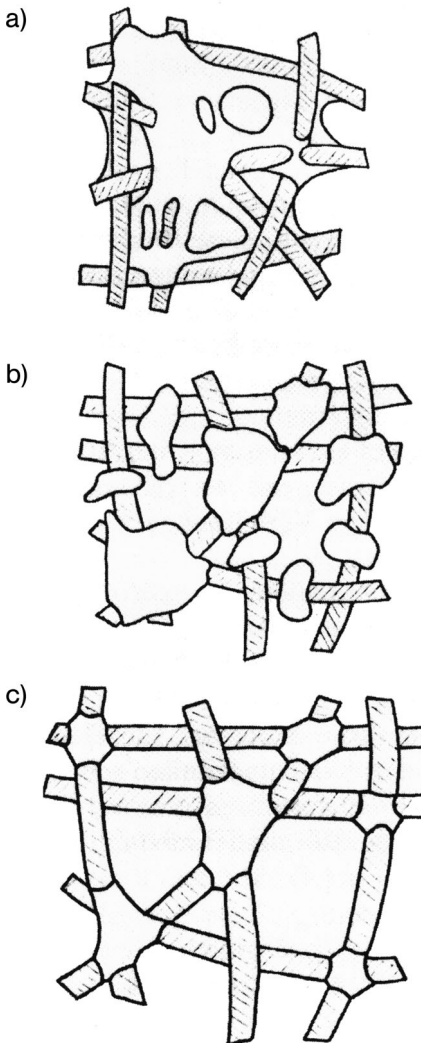


Abb. 6.130 Formen der Bindestelle bei adhesiver Bindung aus [142]: a) flächige Umhüllung mehrerer Faserkreuzungspunkte, b) kleinflächige und punktförmige Umhüllung von Faserkreuzungspunkten c) punktförmige Umhüllung von Faserkreuzungspunkten

- Partielle Bindung: die Vliesstoff-Oberfläche ist, zumeist in Form regelmäßiger Muster, lokal verfestigt: typisch bei einseitigem Auftrag nach der *print-bonding*-Technik, bei der Prägekalandrierung
- Graduelle Bindung: die Bindestellen-Konzentration verändert sich kontinuierlich über die Vliesstoffdicke hinweg: typisch für migrierten Binder nach der Badapplizierung und beim Pflatschtauftrag.

6.5.2

Kohäsive Verfestigung

Kohäsiv verfestigte Vliesstoffe können bindemittelfrei und auch aus nur einer Faserstoffart hergestellt werden.

Vollflächig kohäsiv verfestigte Vliesstoffe zeichnen sich durch eine hohe Steifigkeit und Formbeständigkeit aus. Die Steifigkeit kann durch partielle Verfestigung beeinflusst werden (Prägekalander).

Verfahren zur Herstellung kohäsiv verfestigter Vliesstoffe sind:

- Thermofusion (Nutzung der Thermoplastizität)
- Prägekalander
- Kohäsive Bindung durch Anlösen der Faseroberfläche, wobei das Lösemittel bei der Thermobehandlung verdampft

6.5.3

Adhäsive Verfestigung

Das Bindemittel wird mittels verschiedener Auftragsverfahren in das Vlies eingebracht:

- Badapplizierung
- Einseitiger Bindemittelauftrag
- Zumischen von Bindefasern
- Aufstreuen/Einstreuen thermoplastischer Pulver

Die eingesetzten Bindemittel sind in Kapitel 3 ausführlich dargestellt.

Folgende Verfahren werden angewandt:

- Flotteneintrag in das Vlies und Abquetschen oder Absaugen des überschüssigen Bindemittels
- Der Flotteneintrag erfolgt über Zwickel-Applizierung auf dem Foulard oder durch Trogapplizierung (Walzen oder Siebband)
- Additionsauftrag (nass in nass), wobei auf eine Zwischentrocknung verzichtet wird
- Einseitiger vollflächiger Bindemittelauftrag durch Rakeln oder Pflatschen
- Kleinflächiger Bindemittelauftrag mittels Gravurwalzen oder Rundschablonen
- Bindemittelauftrag durch Drucken

- Einseitiger oder beidseitiges Besprühen des Vlieses mit Bindemittel
- Aufbringen verschäumter Bindemittel
- Applizierung thermoplastischer oder duroplastischer Pulver
- Das Bindepulver kann bereits bei der Vliesbildung eingebracht werden, oder es wird mit einer Pulverstreueinrichtung berührungslos aufgestreut.

6.6

Verbundstoffe

Peter Böttcher

Mit der qualitativen und quantitativen Entwicklung der Technischen Textilien wächst auch die Produkt- und Funktionsvielfalt der textilen Verbundstoffe. Dabei werden Textilien jeglicher Herstellungsart und Aufmachungsform miteinander und auch mit nichttextilen Materialien verbunden. Hauptziele dafür sind u. a. bessere Verarbeitbarkeit bei festigkeitstragenden Verbunden, Mehrfachfunktion, wie Flüssigkeit transportieren und filtern bei Flächenverbunden sowie Speicherfunktionen bei Verbunden mit mittig eingelegten nichttextilen Funktionselementen.

6.6.1

Vliesverbundstoffe

Vliesverbundstoffe sind textile Flächengebilde aus Vliesen bzw. verfestigten Vliesen, die mit anderen textilen Elementen kombiniert sind, wobei der Vliesstoff- bzw. Filzcharakter bestimmend ist [146].

Nach [146] werden diese Vliesverbundstoffe nach der Herstellungsart in folgende Gruppen eingeteilt:

6.6.1.1 Aus Schichten aufgebaute Vliesverbundstoffe

Dies sind Verbundstoffe, die in einem separaten Arbeitsvorgang aus mindestens einem vorgefertigten, gegebenenfalls vorverfestigten Vlies und mindestens einem vorgefertigten weiteren textilen Flächengebilde (z. B. Vlies, Vliesstoff, Gewebe, Gewirke, Gestrick, Netz, Fadengelege) hergestellt sind. Dabei kann die Schichtenstruktur erhalten bleiben. Die Verbindung der Schichten untereinander kann z. B. durch Nadeln, Nähwirken, Hochfrequenzschweißen, Ultraschall oder Kaschieren erfolgen. Es kann auch die Schichtenstruktur aufgehoben werden.

Gebräuchliche Bezeichnungen für solche Verbundvliesstoffe sind z. B. fadenverstärkter Vliesstoff, gewebeverstärkter Vliesstoff, Papiermaschinenfilz.

6.6.1.2 Durch Fadenschlingen verstärkte Vliesverbundstoffe

Dies sind Vliesverbundstoffe, die in einem Arbeitsvorgang aus einem vorgefertigten Faserflor, Vlies, vorgefertigten verfestigten Vlies und einer Vielzahl von Fäden Flächengebilde durchdringen und einbinden. Hierzu gehören z. B. die Polhenkel-Vlieswirkstoffe, wie Voltex [147].

Dass diese terminologischen Festlegungen von der Technik längst überholt sind, zeigen neue Vliesverfestigungsprinzipien, die sich auch für die Herstellung von Vliesverbundstoffen eignen, wie das Verwirbeln, das Vermaschen in der Vliesebene, das Übernähen, das Thermofusionieren und Thermokalandrieren.

Unbedeutend erscheint aus heutiger Sicht, ob bei solchen Verbunden der Vliesstoffcharakter erhalten bleibt oder nicht. Wichtig sind vom Produkt aus betrachtet doch allein die beiden Möglichkeiten:

- 1) Der Vliesverbundstoff besteht in einer oder mehreren Komponenten aus einem Vliesstoff.
- 2) Der Verbund wird durch Wirkprinzipien der Vliesverfestigung hergestellt.

6.6.1.3 Verfahrensvarianten

Die Verfahrensvielfalt der Verbundherstellung ist mit Mitteln der Vliesverfestigungsvarianten sehr groß und in ständiger Weiterentwicklung. Die Abb. 6.131 und 6.132 geben eine Übersicht über die mechanischen und chemischen Verbindungsmöglichkeiten zur Herstellung von Vliesverbundstoffen.

In Tab. 6.11 sind allgemeine Hinweise zu den einzelnen Verbindungselementen und ihrer Anordnung im Verbund zusammengestellt.

6.6.1.4 Verbinden durch Vernadeln

Das Vernadeln als das senkrechte oder schräge zur Vliesoberfläche erfolgende Durchstoßen einer Vielzahl mit Widerhaken oder mit anderen Faserteilen mitnehmenden Profilen versehenen Nadeln bildet weltweit den Hauptanteil der Vliesverfestigungsverfahren.

Das Herstellen von Verbunden mittels Vernadelung ist eine effektive Verfahrenstechnik. Hinsichtlich Dicke der Verbundkomponenten, Anzahl und Art der Verbundkomponenten gibt es wenig Beschränkungen. Auch das mittige Einlagern

Prinzip	Vernadeln	Vermaschen		Verwirbeln	Vernähen
		horizontal	vertikal		
Verbindung	Faserpfropfen	Fasermasche	Fasermasche	Faserknäuel	Fadennaht
Beispiel	Faservlies, aufgenadelt auf Gewebe	2-Kunit-Nähgewirke, verbunden nach KSB-Verfahren	Vlies und offenes Gewebe, vermascht nach Malivliesverfahren	Faservlies und Metallgewebe mit Wasserstrahlen verbunden	Vliesstoff und Gewebe durch Nähen oder Nähwirken mit Bindefäden verbunden

Abb. 6.131 Mechanische Verbindungsmöglichkeiten für die Herstellung von Vliesverbundstoffen

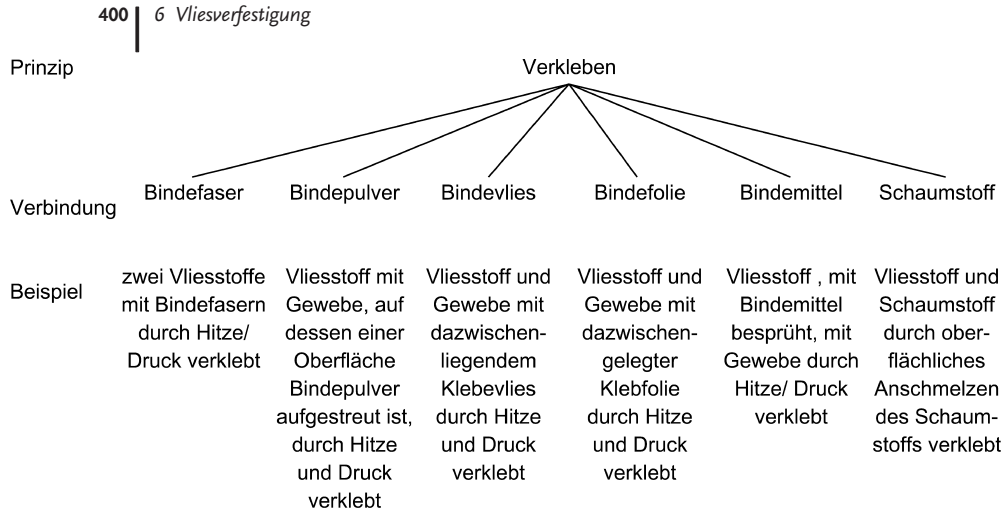


Abb. 6.132 Chemische Verbindungsmöglichkeiten für die Herstellung von Vliesverbundstoffen

von nichttextilen Funktionsmitteln ist üblich. Produktionstechnisch bekannt sind zum Beispiel folgende Einlagerungsmaterialien:

- getrocknete Heilkräuter für medizinische Anwendungen
- wasserspeichernde Materialien, wie Superabsorber, bei Inkontinenzprodukten, Windeln
- Grassamen, Düngemittel bei Begrünungs- und Erosionsschutzmatten
- hochquellende Bentonite bei Abdichtungsbahnen für den Deponie-, Wasserbau
- Sand, Kies oder andere mineralische Materialien für beschwerende Abdeck- oder Filtermatten im Wasserbau
- Schläuche für Heiz- oder Dräneffekte.

Tabelle 6.11 Allgemeiner Strukturvergleich der Verbundverfahren

Verfahren	Verbindungselement	Anordnung der Verbindungselemente	Nebeneffekte
Vernadeln	Faserpfropfen	vertikal von einer in die andere Schicht	Verdichtung, leichte Vermischung
Vermaschen	Fasermasche	vertikal von einer in die andere Schicht	leichte Verdichtung, leichte Vermischung
Vermaschen	Fadenmasche	durch beide Schichten durchgehend	
Verwirbeln	Faserknäuel	vertikal bis diagonal von einer in die andere Schicht	Verdichtung, leichte Vermischung
Verkleben	Klebspunkte bis Klebefläche	zwischen den sich berührenden Oberflächen beider Schichten	leichte Versteifung

Die Masse der Einlagerungen beträgt 30 g/m² bis 5000 g/m² und erfordert in Abhängigkeit von der Funktion weiche bis hochfeste Vliesstoffkomponenten.

Die Einlagematerialien unterscheidet man

- nach der Art der Aufmachung:
 - schüttfähig
 - auflegbar
 - stopfbar
 - abzugsfähig
- nach der äußeren Form:
 - körnig
 - faserförmig
 - pulverförmig
 - breitflächig
 - fadenförmig
 - schlauchförmig
- nach den spezifischen Eigenschaftsmerkmalen:
 - schmelzbar
 - quellbar
 - hochtemperaturbeständig
 - verrottungsbeständig
 - verrottbar
 - teilverrottbar.

Die genannten Einlagematerialien sind ebenso einsetzbar in Verbunden, die durch Nähwirken mittels Faser- oder Fadenmaschen hergestellt werden (s. Abschnitt 6.6.1).

Beim Vernadeln sind die Verbundelemente zum vertikalen Pfropfen umorientierte Faser- oder Filamentteile aus einer oder mehreren der zu verbindenden Schichten. Für die Wahl der Vernadelungsparameter gibt es folgende Erfahrungen:

Nadelfeinheit

Die Nadelfeinheit ist wie bei der Vliesverfestigung auf den Durchmesser der durch die Widerhaken zu transportierenden Faser- oder Filamentteile abzustimmen. Aus praktischen Erkenntnissen heraus empfiehlt sich allerdings eine etwas gröbere Nadel (kleinere Gauge-Zahl) als die für den Faserdurchmesser übliche, da entweder bereits verfestigte Vliesstoffstrukturen oder mittig eingelagerte Füllmaterialien durchdrungen werden müssen.

Stichtiefe

Die Stichtiefe ist so festzulegen, dass einerseits ein ausreichend tiefes Eintragen von Faserteilen der einen Verbundkomponente in den Querschnitt der anderen erfolgt. Andererseits ist zu beachten, dass aufgrund zu großer Stichtiefe kein Austragen von Faserteilen aus der Oberfläche der unteren Verbundkomponente eintritt. Dies kann zu störenden Oberflächen führen. Auch das bei zu großen

Stichtiefen mögliche Austragen von eingelegten Funktionsmaterialien aus der Vliesverbundstoffoberfläche kann zu negativen Effekten führen.

Stichdichte

Die Stichdichte beeinflusst mehr als die Stichtiefe die Trennfestigkeit des Verbundes; d. h. hohe Stichdichten ergeben auch hohe Verbundfestigkeiten.

Eine interessante Variante der Verbundherstellung durch Anwenden des Vernadelns ist das Fasernähen, bei dem durch schmales reihenartiges Aussetzen von Widerhakennadeln als Quer- oder Längsreihe im Nadelbrett eine nahtartige Verbindung entsteht. Die sich dabei einstellende Oberflächenstruktur als Berg für den unvernadelten Teil und als Tal für die vernadelte nahtartige Spur ermöglicht spezielle Funktionseffekte. So ergeben sich beim Verlegen als Böschungsschutz- und Begrünungsmatte eine Wasserspeicherfunktion und ein effektiver Halt für eine oberflächlich aufzubringende Humusbedeckung.

Eine weitere Variante einer Verbundstoffherstellung durch Vernadeln ist die des reihenförmigen Verbindens zweier übereinander liegender Vliesstoffe zur Herstellung von Schläuchen [148]. Dabei führt das in Arbeitsrichtung erfolgende reihenförmige Vernadeln zur Ausbildung einer Faserpfropfennaht durch Ein- und Durchstoßen von Faserteilen des oben liegenden Vliesstoffes in den Querschnitt des unteren. Ein Schneiden in Mitte dieser Faserpfropfennähte ergibt textile Schläuche, wobei der Abstand zwischen zwei solcher Faserpfropfennähte den Innendurchmesser des Vliesstoffschlauches bestimmt. Die Nahtfestigkeit solcher Faserpfropfennähte beträgt bis 450 N/cm und ist stark vom zu verbindenden Vliesstoff abhängig. Die Nahtfestigkeit wird in folgender Rangfolge von den Prozessparametern des Vernadelns bestimmt:

- 1) Nadelart, d.h. speziell die Größe des Fasererfassungsraumes des Widerhakens. Dieser Wert muss abgestimmt auf den Faserdurchmesser möglichst hoch sein.
- 2) Nahtbreite, sie sollte wegen der mittigen Teilung mindestens 3 cm betragen.
- 3) Einstichtiefe, d.h. maximale Anzahl durchstechender Widerhaken. Der tatsächliche Austrag der Faserpfropfen auf der Vliesstoffunterseite soll 6 mm nicht überschreiten.
- 4) Stichdichte, je nach Anforderung liegt diese zwischen 20 und 40 Stich/cm².

Durch das ein- oder wechselseitige Eintragen von vertikal angeordneten Faserteilen in eine der Verbundschichten ergibt sich eine materialseitige Vermischung. Bezogen auf die theoretisch zur Verfügung stehende Gesamtfaserlänge wird bei üblichen Vernadelungsbedingungen grob nur ein Anteil von 2-10 % von der einen in die andere Verbundkomponente umorientiert. Dieser Effekt sollte aber bei Eigenschaftsdarstellung und Funktionsbewertung des Vliesverbundstoffes beachtet werden.

Weiterhin ist beim Herstellen von Verbundvliesstoffen durch Vernadeln zu beachten, dass dieser mechanische Verbindungsprozess immer eine Verdichtung und eine Dickenminderung des Verbundes ergibt.

Für die Herstellung von Vliesverbundstoffen mit Nähwirkvliesstoffen wurden folgende Erkenntnisse gewonnen [149]:

Beim Verbinden z. B. von zwei Nähwirkvliesstoffen durch Vernadeln werden die Faserpfropfen, gebildet aus Fasern, Faserteilen des zuerst durchstochenen Vliesstoffes, in den Querschnitt des zweiten Vliesstoffes verbindend eingetragen. Eine wichtige Voraussetzung ist somit das Vorhandensein möglichst vieler beweglicher, horizontal angeordneter Fasern, Faserteile auf der Einstichseite der Widerhakennadeln. Tabelle 6.12 zeigt dazu prinzipielle Eignungseinschätzungen verschiedener Nähwirkvliesstoffe.

Die dabei entstehenden vertikalen Faserpfropfen sollen zur Erhöhung des gesamten elastischen Verhaltens bei oberflächiger Druckbeanspruchung beitragen. Dabei sollen diese vertikalen Faserpfropfen in der Packungsdichte möglichst dicht und in der Länge möglichst gleichmäßig sein. Diese Forderung ist hinsichtlich Nadelauswahl am besten mit sogenannten Krönchen- oder Kranznadeln zu realisieren. Dies sind Nadeln, die auf jeder Kante des Arbeitsschaftes nur einen Widerhaken haben, alle drei Widerhaken haben zur Nadelspitze den gleichen Abstand. Die Versuche zur Variation von Nadelfeinheit und Stichdichte ergaben:

- Der Verbindungsprozess des Vernadelns führt zu einer Dickenreduzierung und Dichteerhöhung. Dieser Effekt nimmt mit zunehmender Nadelfeinheit ab und mit zunehmender Stichdichte zu.
- Die thermische Zusatzverfestigung mit Bindefasern führt zur Erhöhung von Trennkraft und Druckelastizität.
- Der für die textilen Verbunde, z. B. für PKW-Innenausstattungen, geltende Grenzwert der Trennkraft von mindestens 12 N/5 cm wird nur von Varianten über 150 Stich/cm² bzw. 75 Stich/cm² mit thermischer Zusatzverfestigung gesichert überschritten.
- Faserpfropfen, die aus Maliwatt genadelt werden, ergeben höhere Trennkraften als die aus Mali.
- Faserpfropfen aus genadelten Maliwatt ergeben leicht höhere Trennkraften als vergleichbare aus Kunit.

Tabelle 6.12 Eignung verschiedener Nähwirkvliesstoffe für ein Verbinden durch Vernadeln

Nähwirkvliesstoff		Vernadelungseignung	
Typ	Lage zur Einstichseite	gut	schlecht
Maliwatt	gleich	sehr viel querliegende bewegliche Fasern	Zerstörung des Fadens der Masche
Malivlies	Maschenseite	Maschenseite bleibt	wenig querliegende, bewegliche Fasern
	Faserseite	viel querliegende, bewegliche Fasern	Maschenseite verschwindet
Kunit	Maschenseite	wenige bewegliche, querliegende Faserteile aus Fasermasche	
	Faserseite		keine querliegenden Faserteile

Tabelle 6.13 Eignung verschiedener Flächengebilde für die NAPCO®-Technologie [148]

Verbundfläche 1	Verbundfläche 2	Faserbeweglichkeit*	Faserpfropfenbildung*
Nadelvliesstoff	Nadelvliesstoff	+	+
Filamentvliesstoff (verklebt)	Nadelvliesstoff	+ / 0	+ / 0
Filamentvliesstoff (verwirbelt)	Nadelvliesstoff	0 / -	0 / -
Nähwirkvliesstoff**	Nähwirkvliesstoff**	+	+

* + gut; 0 mittel; - gering

** Maliwatt, Malivlies

Eine andere Herstellungsvariante von Vliesverbundstoffen durch Vernadeln ist das NAPCO®-Verfahren der Firma Laroche (Frankreich) [148]. Hier werden durch den beidseitigen, reihenartigen Einstich von Widerhakennadeln zwei übereinander angeordnete Vliesstoffe so durchstochen, dass Faserpfropfen wechselseitig eingetragen werden. Abstandshalter, auch als *Spacer* bezeichnet, halten während der Verbundherstellung die Vliesstoffoberflächen auf definierten Abstand voneinander. Mit dieser Verfahrenstechnik lassen sich auch drei Vliesstoffe zum Verbundstoff verarbeiten, das Füllen des von beiden Vliesstoffen gebildeten Abstandes mit nichttextilen Funktionsmitteln ist möglich.

Weil die Faserpfropfen beide verbundenen Vliesstoffe auf Abstand halten, müssen die Fasern eine bestimmte auf den Abstand bezogene Mindestlänge aufweisen und relativ beweglich in der Struktur der Ausgangsvliesstoffe angeordnet sein. Tabelle 6.13 zeigt dazu Untersuchungsergebnisse von unterschiedlichen Vliesstoffstrukturen. In Tab. 6.14 sind weitere Ergebnisse hinsichtlich allgemeiner Zusammenhänge zwischen Prozessparametern und Verbundstoffeigenschaften zusammengestellt.

Tabelle 6.14 Zusammenhänge zwischen Konstruktions-/Prozessparameter und Funktionseigenschaften [148]

Konstruktions-/Prozessparameter	Funktionseigenschaft
zunehmende Stichdichte	zunehmend: Anzahl Faserpfropfen, Trennkraft, Druckelastizität, Wasseraufnahme
abnehmende Abzugsgeschwindigkeit	abnehmend: bleibende Verformung zunehmend: Höchstzugkraft
zunehmende Nadelfeinheit	abnehmend: bleibende Verformung zunehmend: Dichte, Stauchhärte
zunehmende Stichtiefe	zunehmend: Trennkraft
abnehmende <i>Spacer</i> breite	zunehmend: Stauchhärte abnehmend: Porenvolumen, bleibende Verformung

6.6.1.5 Verbinden durch Nähwirken

Die verfahrens- und produkttechnisch interessante Variante des horizontalen Verbindens von zwei Vliesstoffen und/oder Geweben, Maschenstoffen mit einer vertikalen Faseroberfläche durch Fasermaschen nach dem Schichtbindeverfahren wird in Abschnitt 6.2 ausführlich beschrieben.

Die Nähwirktechnik mit den Verfahrensvarianten Malivlies und Maliwatt (s. Abschnitt 6.2) ermöglicht die Einbindung von flächigen Verbundkomponenten, wie Gewebe, Spinnvliesstoff, Folie o. ä., direkt bei der Vliesverfestigung und auch als separaten Prozess. Die Verbindungselemente sind dabei Fasermaschen (Malivlies) oder Fadenmaschen (Maliwatt).

6.6.1.6 Verbinden durch Verwirbeln

Die innovative Vliesverfestigung mittels Hochdruckwasserstrahlen (Abschnitt 6.3) eignet sich auch für die effektive Herstellung spezieller Vliesverbundstoffe und wird zum Beispiel in [150] ausführlich beschrieben. Dabei handelt es sich um einen Verbund aus einem voluminösen Nähwirkvliesstoff und einem dünnen Faservlies, wobei letztes mittels Wasserstrahlen verfestigt, verdichtet und gleichzeitig mit dem Nähwirkvliesstoff verbunden wird.

Zur Herstellung des Verbundmaterials wurden sechs Düsenbalken mit ansteigendem Wasserstrahlendruck eingesetzt. Zu beachten ist dabei, dass der Wasserstrahlendruck des ersten Düsenbalkens 0,2 bis 0,5 MPa nicht übersteigen sollte. An die Wasserstrahlbehandlung schließt sich ein Trocknungs- und Fixierprozess an. Die nach diesem Verfahren hergestellten Wirkvlies-*Spunlace*-Verbunde (Abb. 6.133) sind charakterisiert durch hohe Festigkeit und Voluminosität, eine feinporeige Vliesschicht auf ein oder zwei Oberflächen und gute Verarbeitungseigenschaften aufgrund ihrer Gleitfähigkeit. Die Verbindung zwischen Vliesgewirke und wasserstrahlverfestigtem Vlies ist gleichmäßig fest.

Durch ihr Eigenschaftsspektrum bilden die Wirkvlies-*Spunlace*-Verbunde interessante alternative Produkte u. a. für folgende Anwendungen:

- Tiefenfilter zur Nass- und Trockenfiltration
- Isolationsmaterial
- Polstermaterial
- Saugkörper für technischen, medizinischen und hygienischen Einsatz

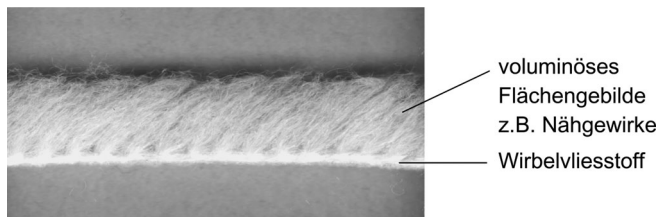


Abb. 6.133 Wirkvlies-Wirbelvliesstoff-Verbund

Wesentliche Vorteile der Wirkvlies-*Spunlace*-Verbunde sind ihre Festigkeit, Voluminosität, gute Weiterverarbeitbarkeit durch verbesserte Gleitfähigkeit, Schnittkantenfestigkeit, die Möglichkeit der Kombination bestimmter Funktionen, z. B. Dämmeffekt der Wirkvliesstoffe mit Schwerentflammbarkeit und Hitzebeständigkeit der Vliesschicht, hohes Speichervermögen mit Abscheidefähigkeit kleinster Partikel beim Einsatz als Filtermedium, auch verbunden mit Leitfähigkeit bzw. antistatischer Wirkung sowie hohe Feuchteaufnahmefähigkeit.

Auch das Verbinden zweier Vliesstoffe mit mittig dazwischen eingelagerten Zellstoff bzw. Pulp durch Wasserstrahlverwirbelung wird praktiziert [151]. Der Einsatz solcher Vliesverbundstoffe erfolgt in Windeln, Hygieneprodukten.

6.6.1.7 Verbinden durch Verkleben

Die Herstellung von Vliesverbundstoffen durch Kleben ist analog der von anderen textilen Flächenverbunden aus Geweben, Maschenstoffen o. ä. einmal eine Verbundtechnik mit Tradition und zum zweiten eine wirtschaftliche und durchaus umweltverträgliche Variante, soweit man bei letzterem auf Lösungsmittel, Emissionen, nichtverwendbare Reststoffe verzichtet.

Thermoplastische Klebeflächen in Form der Klebevliese, -netze und -folien für die wirtschaftlich und ökologisch effektiv flächige Verbindung von Vliesstoffen untereinander oder mit anderen textilen oder nichttextilen Flächen sind bekannt. Solche Klebeflächen gibt es in allen Polymerarten in einem großen Flächenmassebereich ab 6 g/m² bis 200 g/m², in Breiten bis 3 m und in vielen Varianten der Schmelztemperatur (Tab. 6.15).

Ihre Vorteile sind:

- Wirtschaftlichkeit
- Umweltfreundlichkeit (sowohl bei der Verarbeitung als auch bei der Herstellung)
- Sauberkeit
- einfache Verarbeitung
- ausgezeichnete Haftfestigkeiten
- trockenes und lösemittelfreies Verarbeiten

Tabelle 6.15 Schmelzbereiche thermoplastischer Klebeflächen

Art	Polymer	Schmelzbereich [°C]
Klebevlies	Co-Polyamid	80-135
	Co-Polyester	90-135
	Polyolefin	110-170
Klebefolie	Co-Polyamid	75-190
	Co-Polyester	65-135
	Polyurethan	65-155
	Polyethylen	60-130
	Polypropylen	135-150

- platzsparende und saubere Lagerung
- weiche, durchlässige Verklebung bei Vliesen und geschlitzten Folien.

Tabelle 6.16 enthält dazu noch einen allgemeinen Eigenschaftsvergleich der Klebeflächen zu anderen Klebsystemen.

Die wichtigsten Prozessparameter bei der Herstellung eines Vliesverbundstoffes durch Kleben sind Temperatur und Druck, konkret deren Höhe und Einwirkungs-dauer. Diese werden durch die Temperatur für deren Übertragung von den Heizelementen in die Klebefuge an beide zu verklebende Oberflächen, der Länge dieses Einwirkungsweges und der Durchlaufgeschwindigkeit und beim Druck durch den Spalt oder dem Abstand der Druckelemente, dessen Einwirkungslänge wie der Durchlaufgeschwindigkeit bestimmt. In Tab. 6.17 sind solche Zusammenhänge zwischen Kaschierprozess und wichtigen Funktionseigenschaften der Textilverbunde zusammengestellt [153].

Wichtige Einflussfaktoren prozessspezifischer Art beim Einsatz thermoplas-tischer Klebstoffflächen zur Herstellung von Vliesverbundstoffen sind in Tab. 6.18 zusammengestellt [153].

Man stellt fest, dass Temperatur, Druck und Geschwindigkeit (auch als Verweilzeit unter Druck und Temperatur zu bezeichnen) vor allem auf Luftdurchlässigkeit und Trennkraft Einfluss nehmen. Der Produktivitätsparameter Geschwindigkeit steht dabei gegen optimale Werte der wichtigen Funktionseigenschaften Luft-durchlässigkeit, Trennkraft, Steifigkeit. Die druckelastischen Eigenschaften werden vorwiegend von der Konstruktion der Verbundkomponenten bestimmt.

Prozessvariable bei der flächigen Verklebung mit Klebeflächen sind vom Pro- dukt her das Polymer und der Schmelzpunkt und von der Anlage her die Tem- peratur, der Druck und die Verweilzeit. Außerdem gibt es vom Polymer her noch Variationsmöglichkeiten hinsichtlich der Zeit der Auskristallisierung und der Schmelzviskosität.

Tabelle 6.16 Vergleich verschiedener Klebesysteme (nach [152] ergänzt)

Verfahren	Pulver- punkt	Pasten- punkt	Klebvlies	Klebfolie	Flamm- kaschie- rung	Sprühen	Breitschlitz- düse
Polymer	PA/PES	PA/ PES	PA/PES/ PO ¹⁾	PU/PES/PO ¹⁾ / PA	PU	PA/PES/ PU	PA/PES/ PU
minimales Auflage- gewicht in g/m ²	5	10	12	15	20	1	1
Infrarotstrahler	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein
Schmelzvorrich- tung	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein
Emission	wenig	wenig	nein	nein	ja	wenig	wenig
Anlagenreinigung	ja	ja	nein	nein	ja	ja	ja

Tabelle 6.17 Zusammenhänge zwischen dem Kaschierprozess und den Funktionseigenschaften

Maschine	Kaschierprinzip		Funktionseigenschaften*			
	Druckart	Druckgröße	Luftdurchlässigkeit	Trennkraft	Steifigkeit	Druckelastizität
Flachbettkaschieranlage	Fläche	hoch	0	++	++	0
Filzkalander	Fläche	gering	0	+	+	0
Kaschierkalander	Linie	sehr hoch	0	++	++	0

* ++ starker Einfluss; + mittlerer Einfluss; 0 kein Einfluss

Maschinentechnisch anwendbar sind alle Hitze- und Druck ausübenden Systeme, wie Flachbettkaschieranlagen, Pressen, Kalander, Filzkalander u. ä. Klebevliese geben hohe Verbundfestigkeiten zu allen textilen Konstruktionen, wie Gewebe, Maschenstoffe, Vliesstoffe und zu vielen nichttextilen Komponenten, wie Folien aus PU, PES, PE; PVC, PO, Leder, Holz, Papier, Metall, Glas, Weich- und Hartschaum aus Polyurethan, Polyether, Stoffen aus Glas-, Keramik-, Aramid-, Kohlefasern.

Neu ist die rationelle mechanische Kombination dieser Klebeflächen mit einem Vliesstoff. Dies ergibt ein durch Bindefäden verfestigtes Vlies, bei dessen Herstellung ein leichtes Klebevlies oberflächlich direkt mit angebunden wird.

Das Aufbringen von Schmelzklebstoffen, z. B. in Pulverform auf eine Verbundkomponente, das Einwirken von Hitze zum Aufschmelzen des Klebers, das anschließende Zusammenführen mit der zweiten Komponente und das ganzflächige bis punktförmige Verkleben ist eine Variante der Verbundherstellung mit langer Tradition. Dabei müssen die einzelnen Verbundkomponenten verfahrensabhängige Anforderungen, wie bei allen anderen Verbundverfahren auch, erfüllen [154]. In diesem Falle sind dies:

- ausreichende Wärmebeständigkeit, um die Verarbeitungstemperatur des Schmelzklebers auszuhalten

Tabelle 6.18 Zusammenhänge zwischen Prozessparametern und Funktionseigenschaften beim Verbinden mittels Klebeflächen

Prozessparameter	Funktionseigenschaften*			
	Luftdurchlässigkeit	Trennkraft	Steifigkeit	Druckelastizität
Temperatur, zunehmend	++, zunehmend	+, zunehmend	0	0
Druck, zunehmend	++, abnehmend	0	+, zunehmend	0
Geschwindigkeit, zunehmend	+, abnehmend	++, abnehmend	+, abnehmend	0

* ++ starker Einfluss; + mittlerer Einfluss; 0 kein Einfluss

- eine ausreichend geschlossene Oberfläche, damit das Schmelzkleberpulver nicht durchfällt oder sich in der Struktur verliert
- flache Oberfläche, damit sich das Streupulver nach dem Bestreuen nicht auf dem Substrat verschiebt.

Dabei kann das Aufbringen des pulverförmigen Schmelzklebers z. B. durch eine Streueinrichtung oder über ein Gravurwalzen-Auftragssystem erfolgen. Bei letzterem kann auch ein punktförmiger Auftrag von bereits flüssigem Schmelzkleber stattfinden.

Als Schmelzklebstoffe werden vor allem Co-Polyamide in Granulat-, Pulver- und Folienform angeboten, aber auch Co-Polyester, Ethylvinylacetatpolymere und Polyethylen. Mit ihnen lassen sich z. B. Thermobondings mit Membranfolien zu Laminaten für atmungsaktive Linersysteme, harzverfestigte Glasfasermatten mit Dekovliesen oder Thermobondings mit Polyurethanschaum zur Autoinnenauskleidung verbinden.

Neben diesen Schmelzklebern finden auch Plastisole, Kontakt- und Haftklebstoffe sowie Lösungsmittel- bzw. Dispersionsklebstoffe Anwendung.

6.6.2

Vliesstoffe für Verbundwerkstoffe

Die Entwicklung der Verbundwerkstoffe begann mit glasfaserverstärkten Verbundstoffen in Form von Vliesstoffen. Der Trend geht heute bei leistungsfähigen Endprodukten mehr zum Einsatz von Hochleistungsfaserstoffen, verarbeitet zu beanspruchungsdimensionierten Fadengelegen, Geweben, Maschenstoffen, Nähgewirken. Für den Einsatz von Vliesstoffen gelten die nachstehenden Hinweise zu Aufmachung und Qualität.

Eine optisch einwandfreie und beständige Oberfläche ist eine wesentliche Voraussetzung für die Gebrauchsfähigkeit von glasfaserverstärkten Verbundwerkstoffen, da die Oberfläche vielfältigen Belastungen durch Strahlung, Abrieb, Chemikalien, Steinschlag usw. ausgesetzt ist.

Wird die Oberfläche nicht vergütet, so drücken sich die Armierungstextilien teilweise bis an die Oberfläche durch. Es können Armierungsfäden teilweise freigelegt werden. Sie dienen dann als Docht für den Medienangriff, der das gesamte Laminat in Mitleidenschaft zieht.

Die wirtschaftlichste und sicherste Methode zur Oberflächenvergütung bietet sich mit dem Einsatz von Oberflächenvliesstoffen auf Basis Glasfasern und Chemiefasern an. Die Oberflächenvliesstoffe bestehen aus hydrophoben Fasern, die mit Bindemitteln verträglich mit der Kunststoffmatrix gebunden sind. Damit die Oberflächenvliesstoffe ihre Funktion erfüllen, müssen folgende Forderungen berücksichtigt werden:

- Die tragende Verstärkung muss vollkommen abgedeckt sein, darum gleichmäßiges Vliesstoffbild.

- Die Vliesstoffabdeckung muss fein und dicht, aber saugfähig sein. Dadurch wird die Schrumpfung herabgesetzt und der Harzgehalt gleichmäßig.
- Die Fasern müssen zäh und fest sein, um Abrieb und Rissbildung zu verringern.
- Die Fasern müssen vergilbungsfrei sein, damit keine Beeinträchtigung bei lichtdurchlässigen Bauteilen eintritt.
- Die Oberflächenvliesstoffe müssen eine gute Haftung zur Kunststoffmatrix aufweisen.

Durch die geeignete Auswahl von Vliesbildungstechnologien, Fasern und Verfestigungstechniken lassen sich Oberflächenvliesstoffe herstellen, die speziell den Anforderungen der verschiedenen Verarbeitungstechnologien sowie denen an das Bauteil gestellten Medienresistenzen entsprechen.

Die Entwicklung der Faserverbundstoffe wurde stark geprägt und beeinflusst durch die Kunststoffindustrie und entwickelte sich ab 1970 vor allem durch den Glasfaserstoffeinsatz zu einem eigenen Produktmarkt [155] (Tab. 6.19).

Andere Eigenschaftsanforderungen an die Bauteile, wie höhere Festigkeiten oder geringere Massen, führten ab 1985 zu dem Einsatz von Hochleistungsfaserstoffen und ab 1995 zu dem Einsatz von Naturfasern in Faserverbundstoffen.

Damit erweiterte sich der Einsatz der Faserverbundstoffe weltweit in fast alle Bereiche der Industrie. Folgende Beispiele stehen für erfolgreiche Anwendungen:

- Maschinenbau: Trägerprofile, Spindeln und Schlitten in Werkzeugmaschinen, Greifer an Webmaschinen, Platten, Gehäuse;
- Bauindustrie: Masten, Druckbehälter, Rohre, Schwingböden in Sporthallen;
- Energieerzeugung: Flügel, Propeller für Windenergie- und Wasserkraftanlagen;
- Elektroindustrie: gedruckte Schaltungen, Leiterplatten, Abdeckgehäuse;
- Sportgeräte: Bob, Schlitten, Tennisschläger, Fahrräder, Ski, Surfbretter, Angelruten;
- Medizintechnik: Prothesen, Röntgenkassetten, Chirurgiehilfen;
- Flugzeugbau: Rumpfverkleidungen, Seiten- und Höhenruder, Propeller, Rotorblätter, Innen- und Außenverkleidungen;
- Schiffsbau: Rümpfe für Renn- und Segelboote, Deckaufbauten, Hausboote, Kajaks, Rettungsinseln;
- Personenschutz: Helme, Westen, Panzerungen für Gebäude und Fahrzeuge;
- Automobilbau: Kupplungs-, Bremsbeläge, Innenverkleidungen, Tanks, Felgen, Spoiler, Motorhauben, Karosserieteile.

Tabelle 6.19 Weltverbrauch an Faserverbundstoffen

Jahr	Menge in 1000 t
1985	887
1995	1452
2007	8200

Tabelle 6.20 Eigenschaftsvergleich von Verkleidungswerkstoffen

Werkstoff	Dichte in g/cm ³	Zugfestigkeit in GPa
Stahl	7,8	0,6–1,2
Aluminium	2,8	0,35
Glasfaserverbundstoff	2,1	0,75
Kohlenstofffaserverbundstoff	1,5	0,7–1,3

Neue Anwendungen sind vor allem im Bereich der Verkleidungen von Luft-, Wasser- und Landfahrzeugen zu erwarten. Hier bieten faserverstärkte Kunststoffe in Verbindung mit geringem Gewicht relativ hohe Festigkeiten und Steifigkeiten [156] (Tab. 6.20). Sie sind sehr korrosionsbeständig und erlauben einen hohen Grad an Designfreiheit, der z. B. mit Metallen, wenn überhaupt, nur durch wesentlich höheren Kostenaufwand realisierbar wäre.

Literatur

- 1 INDA (2004) Worldwide Outlook for the Nonwovens Industry 2004–2009
- 2 Sachs L (1999), *Angewandte Statistik*, Springer-Verlag, 144
- 3 Purdy T (2000) Hyperpunch needling for quality felts, Oskar Dilo Maschinenfabrik KG
- 4 US Patent 3,829,939 (1974) Dilo R, Needle punching machine
- 5 Dilo J P (1985) Vernadelungstechnologie für Geovliese, *textil praxis internat* 4: 370, 375–380
- 6 EP/DE Patent 196 15 697 (2005) Dilo J P, Leger J, Nadelbalkenantrieb einer Nadelmaschine
- 7 EP Patent 0 892 102 (2001) Dilo J P, Leger J, Nadelmaschine
- 8 DE Patent 10 2004 043 890 (2005) Leger J, Nadelmaschine
- 9 EP Patent 1 644 565 (2006) Dilo, J P, Verfahren zum Verfestigen einer Faservliesbahn durch Vernadelung
- 10 DE Patent 1 660 765 (1967) Dilo R, Vorrichtung zum Herstellen endloser Papiermaschinenfilze oder technischer Schlauchfilze
- 11 DE Patent 1 660 763 (1967) Dilo R, Vorrichtung zur Herstellung von Schlauchfilzen aus einem Faservliesband
- 12 Albrecht W, Fuchs H, Kittelmann W, (2000) *Vliesstoffe*, Wiley VCH Verlag, 295
- 13 Lünenschloß J, Janitza J (1982) *Vliesstoffe*, Georg Thieme Verlag
- 14 DE Patent 22 02 127 (1976) Dilo R, Vorrichtung zur Herstellung nicht gewebter textiler Flächengebilde ohne Trägermaterial mit filzartiger und gemusterter Oberflächenstruktur
- 15 EP Patent 183 952 (1989) Dilo R, Dilo J P, Anlage zum Herstellen strukturierter textiler Veloursnadelfilzbahnen
- 16 EP Patent 0 411 248 (1995) Dilo J P, Verfahren zum Herstellen gemusterter textiler Nadelfilz- bzw. Vliesbahnen
- 17 Ploch S, Böttcher P, Scharch D (1978) *Malimo-Nähwirktechnologien*, Fachbuchverlag Leipzig
- 18 Offermann P, Tausch-Marton H (1978) *Grundlagen der Maschenwarentechnologie*, Fachbuchverlag Leipzig
- 19 Lünenschloß J, Albrecht W (1982) *Vliesstoffe*, Georg Thieme Verlag Stuttgart/New York
- 20 DIN 62 050 (1990) *Gewirke und Gestricke, Teil 2: Kettengewirke*
- 21 DIN 62 050 (1990) *Gewirke und Gestricke, Teil 1: Gestricke und Kuliergewirke*
- 22 DIN 61 211 (2005) *Auf Nähwirkanlagen hergestellte textile Flächengebilde*
- 23 Ploch S (1989) *Vlies-Nähwirken, Teil 2, Allg. Vliesstoff-Report 7: 46–47*

- 24 ISO 11224 (2003) Vliese, verfestigte Vliese und Vliesverbundstoffe auf Basis textiler Fasern
- 25 Anonym (2007) Prospekt Nähwirkmaschine für die Vliesverarbeitung Maliwatt; KARL MAYER Malimo Textilmaschinenfabrik GmbH Chemnitz
- 26 Schreiber J, Koldinsky O, Kopal J (1995) Vliesbildung und Verfestigung trennen?, *Vliesstoff Nonwoven International* 11/12: 346–347
- 27 Scholtis W (1984) Getrennte Vliesbildung und -verarbeitung – eine Variante bei der Herstellung von Vlies-Faden-Nähgewirken, *Textiltechnik* 34, 11: 614–617
- 28 Anonym (2007) Prospekte Nähwirkmaschinen für die Vliesverarbeitung Maliwatt und Malivlies, KARL MAYER Malimo Textilmaschinenfabrik GmbH Chemnitz
- 29 Lieferprogramm Wirkwerkzeuge, Karl Mayer Malimo Textilmaschinenfabrik GmbH Chemnitz
- 30 Schreiber J (1983) Erzeugnisausmusterung Teil 1 bis 6, F/E-Bericht des Forschungsinstituts für Textiltechnologie (FIFT) Chemnitz
- 31 Scholtis W (1978) Mustermöglichkeiten mit der Nähwirkmaschine Malimo, *Typ Maliwatt, Modell 14012, Textiltechnik* 28, 11: 699–703
- 32 DIN 53 852 (1991) Bestimmung von Garnlängenverhältnissen in Geweben und Maschenwaren
- 33 Scholtis W (1976) Einfluss der Bindung auf die Eigenschaften von Vlies-Faden-Nähgewirken, *Textiltechnik* 26, 12: 768–773
- 34 Scholtis W, Ploch S, Böttcher P (1971) Maliwatt- und Malivlies-Nähwirkverfahren – einige neue technologische Erkenntnisse, *Deutsche Textiltechnik* 21, 8: 513–515
- 35 Böttcher P (1978) Eigenschaften von Nähgewirken und Möglichkeiten ihrer zielgerichteten Beeinflussung, *Textiltechnik* 28, 7: 424–428
- 36 Böttcher P, Hunger M (1978) Untersuchungen zur Verbesserung der Festigkeit von leichten Vlies-Nähgewirken, *Textiltechnik* 28, 1: 56–61
- 37 Assmann B (1987) Ausgewählte Zielgrößen der Malivlies-Erzeugnisse in Abhängigkeit wesentlicher Einflussgrößen, Dipl.-Arbeit TU Chemnitz, Sektion Textil- u. Ledertechnik
- 38 Schmalz E (1998) Technologische Untersuchungen zum Angleichen des Längs- und Querfestigkeitsverhaltens von Vlies-Nähgewirken „Malivlies“ für technische Anwendungsbereiche, F/E-Bericht Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. Chemnitz
- 39 Offermann P, Mägel M (1985) Modellierung des Verfestigungsprozesses beim Nähwirkverfahren Malimo, Typ Malivlies, Teil 2, *Textiltechnik* 35, 6: 308–310
- 40 Mägel M (1983) Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur mechanischen Verfestigung von Vlies-Nähgewirken, Dissertation TU Dresden, Fakultät für Maschinenwesen
- 41 Scholtis W (1975) Bindungen von Vlies-Nähgewirken, *Textiltechnik* 25, 12: 764–769
- 42 Munden DL (1959) The geometry and dimensional properties of plain knitted fabrics, *J Text Inst* 50, 7: 448–471
- 43 Offermann P, Jenschke D (1982) Theoretische Strukturmodellierung von Vlies-Nähgewirken, *Textiltechnik* 32, 3: 187–191
- 44 Offermann P, Mägel M, Ponnahannadige K (1982) Modellierung des Vliesverfestigungsprozesses beim Vlies-Nähwirken, *Textiltechnik* 32, 4: 247–250
- 45 Offermann P, Mägel M (1985) Modellierung des Verfestigungsprozesses beim Nähwirkverfahren Malimo, Typ Malivlies, Teil 1, *Textiltechnik* 35, 5: 265–267
- 46 Ploch S (1976) Ermittlung von Durchstich- und Einbindekräften bei Nähwirkmaschinen Malimo, Typ Voltex, *Textiltechnik* 26, 12: 773–778
- 47 Ploch S (1978) Höhe der Durchstichkräfte bei Nähwirkmaschinen Malimo, Typ Voltex, *Textiltechnik* 28, 7: 418–424
- 48 Ploch S (1979) Einbindekräfte bei Nähwirkmaschinen Malimo, Typ Voltex, *Textiltechnik* 29, 4: 230–235
- 49 Zschunke H (1973) Durchstich- und Einbindekräfte bei Malivlies, Dissertation
- 50 Nedewa (1973) Durchstich- und Einbindekräfte bei Maliwatt, Dissertation
- 51 Schmalz E (1997) Verarbeitung von einheimischen nachwachsenden Rohstoffen auf Nähwirkmaschinen, Vortrag 5. Chemnitzer Textilmaschinenentagung

- 52 Ploch S, Scholtis W, Zschunke H (1965) Verfahren zur Herstellung eines Textilstoffes und Vorrichtung an Nähwirkmaschinen zur Durchführung des Verfahrens, Patent DD 39 819
- 53 Ploch S, Scholtis W, Zschunke H (1965) Verfahren und Vorrichtung an Nähwirkmaschinen zur Herstellung eines Textilstoffes, Patent DD 39 820
- 54 Ploch S (1993) Vliesgewirke – Struktur und Eigenschaften, *Melliand TB* 5: 390–393
- 55 Ploch S, Zschunke H, Schreiber J, Dietrich K-H, John M, Rödel J (1990) Verfahren zur Herstellung eines Vliesgewirkes, Patent DD 282 585
- 56 Ploch S (1995) Kunit – Multiknit – KSB, Neue Varianten der Vlies-Wirktechnik, *Melliand TB* 6: 404–408
- 57 Erth H, Fuchs H (1999) Verfahrenstechnische Optimierung der Nähwirkstelle beim Kunit-Verfahren, Vortrag 7. Chemnitz Textilmaschinen Tagung
- 58 Anonym (2007) Prospekt Nähwirkmaschinen für die Vliesverarbeitung, Kunit/Multiknit KARL MAYER Malimo Textilmaschinenfabrik GmbH Chemnitz
- 59 Erth H, Schilde W, Landgraf F (1998) Wirkvliesstoff Maliknit und Verfahren zu dessen Herstellung, Patent DE 198 43 078 C2, IPK D 04 H1/45
- 60 Heilmann H, Ploch S, Roth G, Stein E, Vogel W, Zeisberg P, Zschunke H (1994) Vliesstoff sowie Verfahren und Vorrichtung zu dessen Herstellung, Patent DE 42 20 338 A1
- 61 Tröger J (1995) Neues Verfahren zur Herstellung von Abstands-Vliesgewirken und Verbundstoffen, *ITB Vliesstoffe Technische Textilien* 2: 32–37
- 62 Erth H, Schreiber J, Schmidt G (2006) OptiKnit – Maschenvliesstoff mit neuen Möglichkeiten, *Melliand TB* 6: 333–335
- 63 Böhm C (1995) Vliesverfestigung auf maschenbildenden Maschinen, *Technische Textilien/Vliesstoffe, Maschenindustrie* 45, 5: 391–393
- 64 Anonym (2007) Prospekt Wirkmaschinen mit parallelem Schusseintrag RS MSU S-V, KARL MAYER Malimo Textilmaschinenfabrik GmbH Chemnitz
- 65 Anonym (2007) Prospekt Wirkmaschinen mit multiaxialem Schusseintrag Multiaxial, KARL MAYER Malimo Textilmaschinenfabrik GmbH Chemnitz
- 66 Anonym (2007) Prospekt Warp Knitting Machines, LIBA Maschinenfabrik GmbH Naila
- 67 Kunde K (1999) Modernste Highpile-Technik, Vortrag 7. Chemnitzer Textilmaschinen Tagung
- 68 White C, Zevnik F (1989) Nonwoven technology – An appraisal of hydroentanglement technology, EDANA Int. Nonwovens Symposium Papers: 37–67
- 69 Holliday Th (1991) Spunlace Patents and processes, TAPPI Nonwovens Conf Papers: 305–310
- 70 Anonym (1992) Fluid entanglement principles and systems, *Nonwovens Ind* 12: 32–33
- 71 Patentschrift US 2862251 vom 2.12.58 und Patentschrift US 3033721 vom 08.05.62 (Chicopee Manufacturing Corp) (1958, 1962)
- 72 Münstermann U (2006) Technische Neuentwicklungen und Produkte mit dem Fleissner – AquaJet, 21. Hofer Vliesstofftagung
- 73 Watzl A (2007) Dying and printing of spunlace nonwovens, *Melliand Int.* 3: 300
- 74 Watzl A (2006) Spunbond meets Spunlacing, EDANA Int. Nonwovens Symposium, Wien (A)
- 75 Watzl A (2008) Fleissner – führend bei Produktionsanlagen von wasservernadelteten Nonwovens-Composites, *AVR – Allgem Vliesst Rep* 1: 22–23
- 76 Wuagneux E (2007) Spunlace: Still wiping up?, *Nonwovens Ind* 3: 28
- 77 Wilson, A (2007) Machinery Marathon, *Nonwovens Report Int.* 5: 30–35
- 78 Patentschrift US 3391048 vom 02.07.68 (Eastman Kodak Co.) (1968)
- 79 Patentschrift US 3214819 vom 02.11.65 (Du Pont de Nemours) (1965)
- 80 Patentschrift US 3353225 vom 22.11.67 (Du Pont de Nemours) (1967)
- 81 Turi M (1988) The outlook for spunlace nonwovens, *Nonwovens Ind* 11: 30–32, 34, 36
- 82 Patentschrift US 3493462 vom 03.02.70 (Du Pont de Nemours) (1970)
- 83 Coppin Ph (1998) Spunlacing worldwide, Insight 1998, Section II: 1–18

- 84 White C F (1990) Hydroentanglement technology applied to wet formed and other precursor webs, TAPPI Nonwovens Conf Papers: 177–187
- 85 BobDale (2007) PGI's Technology Platform, Insight 2007, Section 17: 4
- 86 EDANA (2007) Statistics – Nonwoven Production in Europe in 2006
- 87 Pu X V, Liang YeYi (2007) Situation and Development of Spunlaced Nonwovens Ind, 6: 3
- 88 Patentschrift EP 0108621 A2 vom 16.05.84 (Du Pont de Nemours) (1984)
- 89 Patentschrift EP 0446432 A1 vom 18.09.91 (Internat Paper Co) (1991)
- 90 Möschler W (1997) Technologische Einflussfaktoren auf den Verwirbelungseffekt bei der Wasserstrahlverfestigung von Feinfaservliesen, XXV Internat Nonwovens Colloquium Brno: 1–7
- 91 Münstermann U (1996) AquaJet für Lyocell fiber nonwovens, *Chemical Fibers Internat* 6: 457–458
- 92 Watzl A (1997) Energieverbrauch beim Wasservernadeln mit dem Fleissner-AquaJet Spunlace System, *Mittex* 2: 8–9
- 93 Watzl A (1997) Multi-step route along the waterway, *Nonwovens Rep Int* 5: 16–17
- 94 Möschler W, Meyer A, Brodtka M (1995) Faserstoff- und Prozesseinflüsse auf die Eigenschaften von Wirbelvliesstoffen, *ITB Vliesstoffe – Technische Textilien* 2: 26, 28, 30–31
- 95 Leihkauf B (1992) Bestimmung der Wasserstrahlprallkraft als Voraussetzung für die Optimierung der Spunlaced-Technologie, Diplom Arb. TU Chemnitz
- 96 Heller J (2001) Spunlace Profitable, Efficient and Reliable Nonwoven Production, MTS Nonwoven Technology Conference, Mainz (DE)
- 97 Ohmura K (1991) Japanese microfiber nonwovens, *Nonwovens Ind* 5: 16, 18
- 98 WardDT (1997) Wasserstrahlverwirbelung für schwere Vliesstoffe, *ITB Vliesstoffe Technische Textilien* 1: 24, 28, 29
- 99 Mswana S N (2007) Splitting of Island-in-the-sea-fibers, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, Vol 2, Issue 4
- 100 Der Einfluss der Fasergeometrie und -physik auf das Verhalten von Fasern bei der Vliesverfestigung mittels Wasserstrahlverwirbelung, AiF-Projekt Nr. 9256 B, STFI Chemnitz, Abschlussbericht (1995)
- 101 Hendler J, Brodtka M (1988) Vliesverfestigung durch Faserstoffverwirbelung – Norafin, *Textiltechnik* 38: 430–434
- 102 Noelle F (1999) Wasserstrahlverfestigung bei Geschwindigkeiten von über 200 m/min, *Techn. Textilien* 2: 63–64, 66
- 103 Möschler W (1995) Some recent results in the fields of hydroentanglement of fibrous webs and of their thermal after-treatment, EDANA Int Nonwovens Symp Bologna, Book of Papers XIII:1–23
- 104 Hendler J (1990) Wirbelvliesstoffe, 5. Hofer Vliesstofftage: 1–17
- 105 Vuillaume A M (1989) Latest advances in the hydroentanglement technology, Fiber developments/Polymer based, Nonwovens Conf, Sect. IX: 1–4
- 106 Bartholomew A, Abercrombie A (1989) The use of rayon in water-entangled nonwovens, EDANA Int. Nonwovens Symp 69–93
- 107 Brodtka M, Meyer A, Möschler W (1995) Verarbeitungs- und Produkteigenschaften von Wirbelvliesstoffen aus Spezialfasern, *Techn. Textilien* 3: 13–16
- 108 Meyer A, Möschler W (1996) Technologieaspekte beim Herstellen von Wirbelvliesstoffen aus Fein- und Splittfasern, 11. Hofer Vliesstofftage: 1–4
- 109 Woodings C R (1993) High Pressure hydroentanglement of cellulosic fibres, IN-DEX 93 Congress Papers, Section 5c, VI: 1–17
- 110 Watzl A, Spunlacing von airlaid / carded composites, Fleissner GmbH, Mitteilung File KS 16737
- 111 Münstermann U (1997) Imagine the future of viscose technology, *Lenzinger Berichte* 76
- 112 Münstermann U (1996) Das Fleissner – AquaJet – Spunlace – System, 11. Hofer Vliesstofftage
- 113 Fuchs, H (1999) Vliesverfestigung durch Verwirbelung mittels gasförmiger Medien Möglichkeiten und Grenzen, 14. Hofer Vliesstofftage
- 114 Patentschrift DE 100 19 342 vom 17.07.1999 (Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V.) (1999)

- 115 Steinbach U, Erth H. (2006) Vliesverfestigung mit Dampfstrahlen, *AVR – Allg Vliesst Rep* 4: 28–30
- 116 Münstermann U, Krebs S (2007) Fleissner-SteampJet, Vliesstoffverfestigung durch Dampfstrahlen, eine innovative Ergänzung zur Wasserstrahlverfestigung, 22. Hofer Vliesstofftage
- 117 Anonym (2006) Conference Report Tokyo tech, *Nonwovens Report International* 4: 28
- 118 Watzl A (1998) Mikrofasern – Eine neue Herausforderung für die Spunlace-Technik, 13. Hofer Vliesstofftage
- 119 Berger E, Schilde W, Erth H (2008) Neuartige hochleistungsfähige Spunlace- Düsenstreifen, *AVR – Allg Vliesst Rep* 2: 96
- 120 Fleissner Broschüre (2007) „Spunbond meets Spunlacing“
- 121 Watzl A (1989) Erweiterte Anwendung des Durchströmprinzips für die Trocknung von Nonwovens und Papier, *Melliand Textilber* 70: 911–920
- 122 Watzl A (1997) Thermofusion, Thermo-bonding und Thermofixierung für Nonwovens, Firmeninformation der Fleissner GmbH & Co
- 123 Schmidt F (1998) Gegenüberstellung des Durchbelüftungs- und des Düsenbelüftungsprinzips (energetische Betrachtungen, Möglichkeiten der Temperaturführung bei zonenweiser Aufteilung, Firmeninformation der Fleissner GmbH & Co)
- 124 Watzl A (1995) Verbesserung der Eigenschaften von Geotextilien durch Thermoverfestigung und Thermofixierung von Vliesstoffen, 23 Internat Kolloquium über Vliesstoffe Brno (CZ)
- 125 Bobeth W (1993) Textile Faserstoffe, Beschaffenheit und Eigenschaften, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg
- 126 Saindon R (1992) High-Loft Nonwovens, *Inda Journ Vol I*
- 127 Watzl A (1987) Anlagen für die Herstellung von Vliesstoffen für die Automobilindustrie, *Textil praxis internat* 11: 1344–1346, 1351–1354
- 128 Loy W (1989) Taschenbuch für die Textilindustrie, Fachverlag Schiel & Schön GmbH Berlin
- 129 Sass F, Bouche Ch (1955) Dubbels Taschenbuch für den Maschinenbau I: 404
- 130 Bechter D, Kurs G, Maag E, Schütz J (1991) Über die thermische Verfestigung von Vliesstoffen 1. Mitteilung: Der Einfluss der Kalandbedingungen auf die Festigkeit von Polypropylenvliesstoffen, *textilpraxis Internat* 11: 1236–1240
- 131 Wei K Y, Vigo T L, Goswami B C (1985) Structure-property relationship of thermally bonded polypropylene nonwovens, *Journ of Appl Polymer Science*, **Abschn 30**: 1523–1534
- 132 Warner S B (1989) Thermal bonding of polypropylene fibres, *Text Res Journ* 3: 151–153
- 133 Klöcker-Stelter St (1992) Entwicklung eines Prozessmodells zum Verhalten textiler Gebilde im Spalt biegekompensierter Walzenkaland am Beispiel der Vliesverfestigung, Dissertation an der Uni Bremen, FB Produktionstechnik
- 134 Prömpler S (1998) Kaland-Technologie zur Herstellung von Vliesstoffen für technische Verwendungszwecke, Taschenbuch für die Textilind, Fachverlag Schiele & Schön GmbH Berlin
- 135 Firmeninformation der Andritz Küsters GmbH, Krefeld (2007)
- 136 Schilde W, Wolf K (1995) Wissenschaftliche Untersuchungen zur Modellierung des Bindemechanismus von thermisch gebundenen Faservliesstoffen unter Berücksichtigung der Fasereigenschaften und des Radialdruckes, AiF-Forschungsvorhaben 9412 B STFI e.V. Chemnitz und ITB der TU Dresden
- 137 Cobet U (1987) Ultraschalltechnik – Grundlage und Anwendungen, Physik Verlag Weinheim
- 138 Schreiber L (1996) Sonderdruck aus VDI Nachrichten 19: 21
- 139 Herrmann Ultraschalltechnik GmbH & Co. KG <http://www.herrmannultraschall.com/fundamentals-nonwovens.html> (Stand 27.07.2009)
- 140 Wenderdel C, Krug D (2011) Analyse-methode zur Bewertung der Faser-Bindemittel-Wechselwirkung bei der MDF-Herstellung, *Holztechnologie*, **Band 52**, 1, 44–50
- 141 Rouette HK (1995) Lexikon der Textilveredlung, Laumann-Verlag
- 142 Albrecht W, Fuchs H, Kittelmann W (2000) Vliesstoffe, Wiley-VCH

- 143 Rouette H K (2006) Handbuch Textilveredlung, Band III Beschichtung, Deutscher Fachverlag
- 144 Hohmuth H, Käppel D (2009) Anwendung von Vliesstoffen im Bereich der Fahrzeugakustik, *Technische Textilien* 1, 34–36
- 145 Gorchakova VM, Batalenkova VA, Izmailov BA (2004) The influence of fibres surface treatment with alkoxysilicones on nonwoven materials properties, *Technologie Tekstilnoj Promyslenosti* 2, 58–61
- 146 DIN 61 210 (1992) Vliese, verfestigte Vliese und Vliesverbundstoffe auf Basis textiler Fasern
- 147 DIN 61211 (2003) Auf Nähwirkanlagen hergestellte textile Flächengebilde: Technologische Einteilung, Begriffe
- 148 Böttcher P (2004) Maschinentechnische Varianten der Nadeltechnik für innovative Produkte; *Melliand Textilber* 2: 92–94
- 149 Böttcher P (1996) Untersuchungen zum Einsatz der Nadeltechnik als mechanische Veredlung von Nähwirkvliesstoffen, BMWI 77/96
- 150 Schmalz E (2004) Hycofil – Innovative Vliesstoff/Gewebe-Verbunde für Filterschläuche, *Techn Text* 11: 193–194
- 151 Bernhardt S (2007) Herstellung von Hygiene-, Medical- und Wipes-Nonwoven durch die Spunlace-Airlaid-Technologie, *Allg. Vliesstoffreport* 1: 28
- 152 Kauderer H-J (1993) Verfahrenstechniken der kontinuierlichen Textillaminierung, *tpi* 48: 895
- 153 Böttcher P (2004) Klebstoffvliese, *Techn. Text.* 2: 92–94
- 154 Böttcher P (1999) Untersuchungen zur umwelt- und recycelfreundlichen Herstellung von Textilverbunden für Technische Textilien, *Techn Text* 4: 274–276
- 155 Böttcher P (2005) Faserverbundstoffe – Nischenmarkt mit Zukunft; *Allg. Vliesstoffreport* 4: 14–16
- 156 Böttcher P (2002) Textile Verbundstoffe, ihr Einsatz im Fahrzeugbau und die Altfahrzeugverordnung, *Int. Textilbulletin Fachausgabe Vliesstoffe* 1: 51–54
- 157 EDANA (2010) Annual Statistics Nonwovensproduction in Europe
- 158 Anonym (2011) Globale Marktpotenziale für cellulosische Vliesstoffe; *Technische Textilien* 5–6/2011, 269–271
- 159 Münstermann U (2010) Market Trends for Heavy Weight Spunlace Products and Newest Fleissner-AquaJet Machinery Developments; *Textile Filter Symposium, Chemnitz, 09.03.2010*
- 160 Weigert TH, Münstermann U (2011) Wirtschaftliche Produktion von Spunlacevliesen am Beispiel von Wischtüchern; *26. Hofer Vliesstofftage, 10.11.2011*

