



Leseprobe

Taschenbuch der Papiertechnik

Herausgegeben von Jürgen Blechschmidt

ISBN (Buch): 978-3-446-43802-6

ISBN (E-Book): 978-3-446-43701-2

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-43802-6>

sowie im Buchhandel.

den heutigen Stand der **chemischen Hilfsmittel** wie Prozesschemikalien (z. B. Retentionsmittel), Papierchemikalien (z. B. Nassfestmittel) oder die chemischen Hilfsmittel in der Füllstoffaufbereitung und Streicherei wären die Produktqualitäten und die Streichtechnik nicht möglich.

Beim Einsatz von Altpapier ist die wirtschaftliche Entsorgung der abgetrennten Nicht-Faseranteile wichtig. Dabei ist deren Verarbeitung zu Sekundärbrennstoff zur internen Nutzung ein wichtiger Beitrag zur Sicherung der Energieversorgung der Papierfabrik [10.8].

10.2 Stoffzufuhrsystem

10.2.1 Aufgabe und prinzipielle Lösung

Das Stoffzufuhrsystem, auch **konstanter Teil** genannt, soll dem Stoffauflauf eine Stoffsuspension konstanter Menge mit konstantem Druck, konstanter Stoffdichte und konstanter, vorgegebener Zusammensetzung zuführen. Dazu sind erforderlich

- konstante Dosierung der Stoffkomponenten, besonders des Dickstoffs und des Siebwassers, aber auch der Rückführungen,
- effektives Mischen der Komponenten und Vermischen mit dem Siebwasser, um daraus ein zeitlich konstantes Gemisch zu erzeugen,
- konstantes Zuführen dieser Mischung zum Stoffauflauf.

Jede Ungleichförmigkeit in Suspensionsmenge, Stoffdichte oder Stoffzusammensetzung äußert sich in Längsschwankungen des **Otro-Bahnge-wichts** (ofentrockene, flächenbezogene Masse der Bahn).

10.2.2 Ausführung

Das Stoffzufuhrsystem beginnt an den **Maschinenbüetten**, umfasst **Dosier- und Mischvorrichtungen** für die Dickstoffkomponenten wie auch von Fertigstoff und Siebwasser, sodann das **Siebwassersystem**, die **Mischpumpe** und endet mit der Rohrleitung am Stoffauflaufverteiler. Zur Qualitätsverbesserung des Produkts und zum Schutz der Papiermaschine werden im Stoffzufuhrsystem meist zusätzlich **Drucksortierer** und **Cleaner** eingesetzt, bei sehr schnellen Maschinen oder sehr anspruchsvollen Sorten auch **Stoffentlüfter** (Bild 10.10). Aus Ersparnisgründen werden insbesondere bei Karton und Verpackungspapieren oft noch Funktionen aus der Stoffaufbereitung in das Stoffzufuhrsystem übernommen.

Das **Dosieren** der einzelnen Komponenten (Fasern und Füllstoffe) erfolgt bei ca. 3...4 %. Die Faserstoffe sind Stoffströme aus der/den Ma-

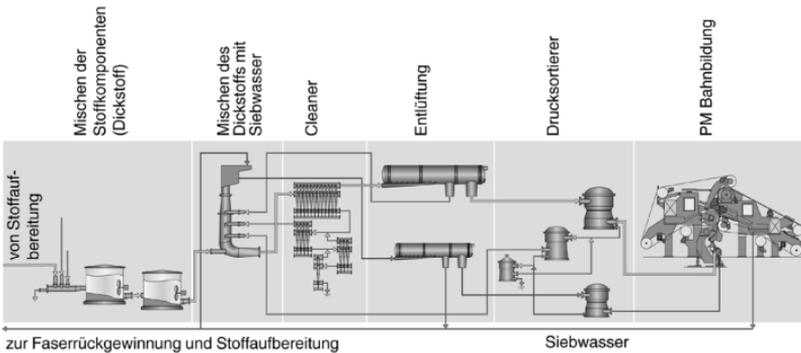


Bild 10.10: Stoffzufuhrsystem für eine moderne Papiermaschine hoher Geschwindigkeit (Quelle: Voith)

schinenbütte(n) sowie solche aus der Faserrückgewinnung und vom Ausschussstrang. Sie müssen in ihrer Zusammensetzung und Stoffdichte konstant sein. Früher konnten großräumige Büten mit Rührern als Puffer und Ausgleichselemente die Stoffdichte- und Mengenkonstanz gewährleisten. Die Durchsätze bei den heutigen Maschinen liegen jedoch in der Größenordnung von $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Dies würde bei den früher üblichen Verweildauern immense Dimensionen und Kosten bedeuten. So kommt den eingesetzten Apparaturen und Verfahren sowie der MSR-Technik eine hohe Bedeutung zu. Gemischt werden die Dickstoffkomponenten z. B. in einem **Mischrohr**, wobei sie in der Reihenfolge ihres Entwässerungsverhaltens eingebracht werden. Dabei sollte die am leichtesten zu entwässernde Komponente in Richtung Faserrückgewinnung angeordnet sein, um einen möglichst gut entwässerbaren Faserhilfsstoff zu erhalten. Anschließend erfolgt in der Mischbütte der bestmögliche Ausgleich evtl. noch vorhandener Unterschiede.

Das **Mischen** des Dickstoffs mit dem Siebwasser (und den Rückführungen) erfolgt im **Ansaugstutzen der Mischpumpe** (Bild 10.11). Dies kann durch entsprechende Geschwindigkeitsunterschiede der einzelnen Ströme geschehen. Selbstverständlich muss auch das Siebwasser mit konstanter Stoffdichte und konstanter, vorgegebener Menge zugeführt werden. Die **Fördermenge der Mischpumpe** bestimmt bei konstanter Dickstoffzufuhr die abgerufene Siebwassermenge und damit die Stoffdichte der Suspension, die dem Stoffauflauf zugeführt wird. Die Fördermenge wird heute über die Drehzahl des Pumpenantriebs geregelt. Früher waren Drosselung im Hauptstrom oder die Rückführung eines Teilstroms (fälschlich **Bypass** genannt) üblich, sie bringen jedoch Nachteile hinsichtlich Energieverbrauch und Regelgüte [10.9].

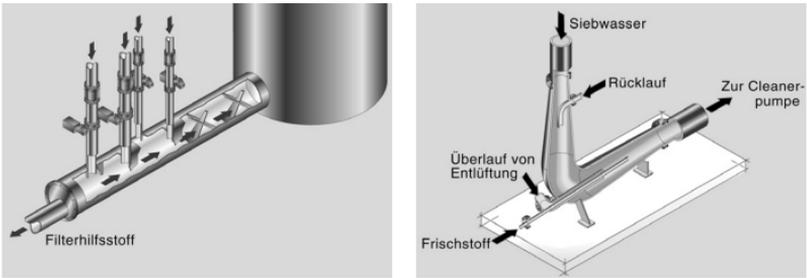


Bild 10.11: Zusammenführung und Durchmischung der Dickstoffkomponenten vor der Mischbütte (links) sowie (rechts) des Dickstoffs, der Rückführungen und des Siebwassers vor der Mischpumpe (Quelle: Voith)

Die mehrstufigen **Cleaneranlagen** (siehe Abschnitt 9) im Konstantteil stehen nach der Mischpumpe und übernehmen oft – wie auch die Sortierer – nur eine „Polizeifunktion“, wenn der Stoff aus der Stoffaufbereitung bereits den Qualitätsansprüchen genügt. Hier werden dann noch Sand, Splitter, Batzen und andere schwerere Partikel, z. B. aus dem Siebwasserkreislauf oder dem Ausschusssystem, abgeschieden. Dies soll vor allem unnötigen Verschleiß oder Beschädigungen in der Papiermaschine (Siebe, Filze, Foils, Walzen, Schaber), aber auch Minderung der Papierqualität oder Abrisse in der Papiermaschine vermeiden. Bei gestrichenen Papieren kann es zu einer stärkeren Eindickung im Cleaner-Rejekt der höheren Stufen kommen.

Der **Drucksortierer** (siehe Abschnitt 9) im Stoffzufuhrsystem steht direkt vor dem Stoffauflauf und soll vor allem Batzen und sonstige Verschmutzungen, die sich evtl. aus Ablagerungen im Stoffzufuhrsystem gebildet haben, abscheiden und so den Betrieb der Papiermaschine und die Qualität des Produkts sicherstellen.

Lufteinschlüsse in der Suspension können Probleme hervorrufen:

- im Stoffzufuhrsystem durch verringerten Pumpen- und Sortierereffizienz, durch Schaumprobleme sowie durch Ablagerungen von hydrophoben und klebenden Bestandteilen und durch verstärkte mikrobiologische Aktivitäten,
- im Betrieb der Papiermaschine durch verringerte Entwässerungskapazität und häufigere Papierabrissereignisse oder
- im Produkt selbst durch verstärktes Auftreten von Nadellöchern, Schmutzeinschlüssen, Verschlechterung von Formation und Otrobahnprofil.

Die **Stoffentlüftung** wird vor allem bei hohen Papiermaschinengeschwindigkeiten und für grafische Papiere eingesetzt. Das am häufigsten ange-

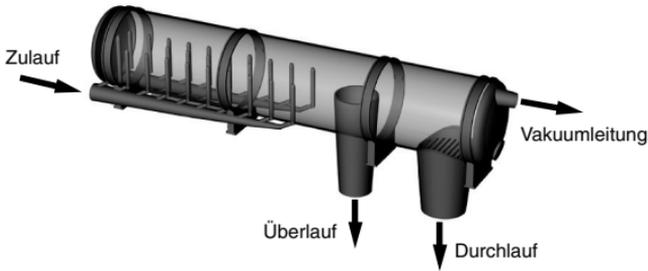


Bild 10.12: Beispiel für einen Entlüftungstank nach dem Siedepunktsprinzip (Quelle: Voith)

wandte System arbeitet nach dem Siedepunktsprinzip und besteht im Wesentlichen aus einem Entlüftungstank (Bild 10.12). Dabei wird der Druck in diesem Tank so weit abgesenkt, dass der Siedepunkt bei der vorhandenen Betriebstemperatur der Suspension erreicht wird (bei 50 °C liegt der Siededruck bei ca. 0,13 bar (absolut), also bei einem Vakuum von 0,87 bar). Zusätzlich schafft man durch Aufspritzen auf die Innenseite des Tanks eine große Suspensionsoberfläche sowie einen geringeren Steigweg für die Luftblasen und damit eine effektive Entlüftung. Außerdem werden durch die hydraulische Entkopplung evtl. **Pulsationen** der Mischpumpe eliminiert.

Zur Entlüftung werden auch **Entgasungspumpen** benutzt, die ein Zentrifugalfeld erzeugen, aus dessen Innerem die abgeschiedene Luft abgeführt wird. Chemische Entlüftung durch **Entschäumer** wird ebenfalls angewandt. Die früher angewandte Entlüftung im Siebwasserturm ist heute meist nicht möglich, da die Sinkgeschwindigkeit des Siebwassers deutlich höher ist als die Steiggeschwindigkeit der Luftblasen. Also werden auch größere Luftblasen mitgerissen. So hat eine Luftblase von etwa 1 mm Durchmesser eine Steiggeschwindigkeit in Wasser von ca. 1 m/s. Auch offene Gerinne mit hoher Anstauung sind prinzipiell nur dann hilfreich, wenn das Verhältnis von Verweildauer der Suspension, der Suspensionshöhe und der Steiggeschwindigkeit der noch abzuschheidenden Luftblasen im Einklang steht [10.10].

Luft gelangt in die Suspension vor allem über das Siebwasser im Formierbereich, im Siebwasserkanal und in den Büten. Um Lufteinschlüsse in die Suspension weitgehend zu vermeiden, gelten gewisse Regeln:

- Suspensionsströme aus Rohrleitungen werden unterhalb des Flüssigkeitsspiegels in die Bütte eingebracht.
- Suspensionsströme aus offenen Gerinnen werden mit möglichst geringer Geschwindigkeit in eine freie Suspensionsoberfläche eingeführt.

- Einzugswirbel (Badewannenwirbel) am Behälterauslauf werden durch ein Strömungskreuz oder einen Strömungsteller über dem Auslauf (und möglichst hohen Flüssigkeitsstand) vermieden.
- Schießende Strömung in offenen Gerinnen mit nachfolgendem plötzlichem Aufstau der Flüssigkeit (hydraulic jump) durch entsprechende Strömungsführung vermeiden oder entschärfen.
- In Förderrichtung ansteigende Rohrleitungsführung sicherstellen und Entlüftungsstutzen an den höchsten Punkten der Rohrleitungen anbringen.

In Bild 10.13 sind Möglichkeiten zur **Vermeidung von Luftproblemen** beispielhaft aufgezeigt [10.11]:

- Links: Ein Luft-Siebwassergemisch aus dem Formierbereich einer schnell laufenden Papiermaschine wird in einem Siebkorb in viele Einzelstrahlen zerlegt, dabei kann die Luft aus dem Gemisch entweichen und wird abgeführt.
- Mitte: Der Einzugswirbel und damit Lufteinzug wird durch einen Wirbelbrecher verhindert.
- Rechts: Auch bei unterschiedlichen Durchsätzen wird durch das ansteigende Rohrregister keine Luft in die Flüssigkeitsoberfläche eingeschlagen.

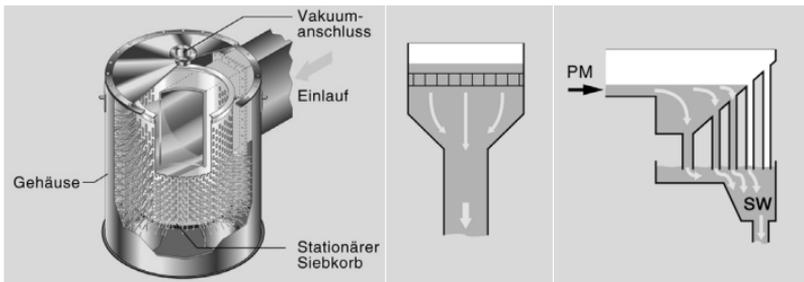


Bild 10.13: Beispiele im Stoffzufuhrsystem zur Vermeidung von Lufteinzug und Ablagerungen
 Links: Strömungsbremse und Vorentlüftung für ein schießendes Luft-Siebwassergemisch
 Mitte: Verhindern des Einzugswirbels
 Rechts: Verhindern von Lufteinzug bei unterschiedlichen Durchsätzen durch ein Rohrregister
 (Quelle: Voith)

Beim Kampf gegen **Ablagerungen** und den damit verbundenen Problemen ist zu beachten:

- Totgebiete in offenen Gerinnen, die durch Querschnitts- oder Richtungsänderungen entstehen können, vermeiden (z. B. durch einfache Strömungswieser bei Umlenkungen).

- Für ausreichende Strömungsgeschwindigkeit in den Rohrleitungen sorgen (z. B. üblicherweise mindestens 1 m/s, aber bis 2 m/s bei stark zu Ablagerung neigenden Stoffen).
- Entleerungsstutzen an den Tiefpunkten, Entlüftungsstutzen an Hochpunkten der Rohrleitungen anbringen.
- Retentionsmittel mit der Suspension schnell durchmischen, um zu hohe örtliche Konzentrationen zu vermeiden.

Die hohen Anforderungen an die **Konstanz** der dem Stoffauflauf zugeführten Suspension betreffen nicht nur deren Stoffdichte, Stoffzusammensetzung (Faserarten, Füllstoffe) oder Farbe, sondern auch deren Entwässerungsverhalten auf der Papiermaschine. Heute stehen Messverfahren zur Verfügung, um alle diese Eigenschaften direkt oder indirekt zu messen und feinfühlig zu steuern. Dabei werden die einzelnen Regelkreise zu einem Gesamtregelkonzept für höchste Betriebssicherheit und Produktqualität zusammengeführt.

10.3 Stoffauflauf

10.3.1 Aufgabe und prinzipielle Lösung

Der Stoffauflauf soll einen gleichmäßigen Strahl genau in Maschinenrichtung, mit gleichem Strahlwinkel in vertikaler Richtung (z-Richtung) und mit einstellbarer Geschwindigkeit erzeugen. Dazu muss die aus dem Stoffzufuhrsystem angelieferte Suspension in Maschinenrichtung umgelenkt werden. Durch Druck der Mischpumpe wird sie in der Stoffauflaufdüse bis zum Austritt auf etwa Maschinengeschwindigkeit beschleunigt. Bei den meisten heutigen Bauarten erfolgt die Verteilung über die Breite mithilfe eines **konischen Verteilers**. Dieser strömt den **Verteilerblock**, der mit sehr vielen Rohren ausgestattet ist, unter spitzem Winkel an. Der Verteilerblock teilt die Suspension in zahlreiche, gleich große Einzelströme auf, die anschließend im **Düsenraum** wieder miteinander vereinigt werden. Die erforderliche Gleichförmigkeit des Suspensionsstrahls ist durch die entsprechende Formgebung und Fertigung des Verteilrohrs, des Verteilerblocks, der **Düse** und der **Lippen** zu gewährleisten. Im Verteilrohr sollte die Quergeschwindigkeit etwa konstant sein, um die Umlenkverluste beim Übergang in die Verteilerplatte über die Breite konstant zu halten. Andererseits muss der Druckverlust der Suspension durch die Reibung im Verteilrohr über eine entsprechende Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit ausgeglichen werden, damit der Druck und somit der Durchsatz über die Breite konstant sind. Dies wird durch entsprechende Querschnittsveränderungen des Verteilrohrs über die Maschinenbreite erreicht. Die Düse muss über die Breite in ihrem Querschnitt konstant sein, um darin Querströmungen zu vermeiden. Diese

würden sich in örtlichen Änderungen des Otro-Bahngewichts und der Strahlrichtung bemerkbar machen. Zudem ist teilweise auch der Druckverlust infolge Reibung an den Seitenwänden zu kompensieren. Schließlich muss der Spalt zwischen den Stoffaufläufklappen im Betrieb über die Breite konstant sein. Er ist andererseits meist für Korrekturzwecke noch örtlich feinfühlig (bis ca. $1/1000$ mm) verstellbar. Der Durchsatz wird (bei gleichem Druck = Strahlgeschwindigkeit) über die Lippenöffnung eingestellt, die meist zwischen 6 und 25 mm beträgt. Die Einstellung des Drucks und damit der Strahlgeschwindigkeit (bei gleicher Lippenöffnung) erfolgt über die Mischpumpe.

10.3.2 Bauformen und Betrieb

Bild 10.14 zeigt einen modernen Stoffauflauf der neuesten Generation für **Doppelsiebmaschinen** mit Verdünnungsregelung für das Querprofil des Otro-Bahngewichts. Dieses Konstruktionsprinzip wird auch für Langsiebstoffaufläufe angewendet. Es sind zu erkennen:

- das Verteilrohr und der Umlenkblock zur gleichmäßigen Verteilung der Suspension über die Breite,
- das Verteilrohr für das Verdünnungswasser mit den Dosierventilen,
- der Turbulenzeinsatz, um Faserflocken aufzureißen,
- die Düse zur Beschleunigung der Suspension, oft bestückt mit Lamellen für eine optimale Oberfläche des Freistrahls und für eine ungerichtete Faserverteilung,
- die Blende an einer der Lippen zur Ausbildung des Suspensionsstrahls, wobei diese insbesondere bei älteren Stoffaufläufen zur örtlichen Korrektur der Strahldicke über die Breite eingesetzt wird.

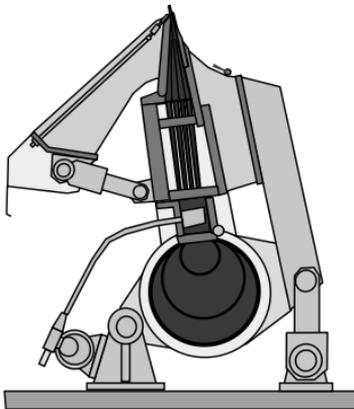


Bild 10.14: Über die Breite modular aufgebauter Stoffauflauf der neuen Generation für Doppelsiebformer mit Verdünnungsregelung (Quelle: Voith)

Heutige Betriebsparameter wie z. B. 2000 m/min Maschinengeschwindigkeit (entsprechend ca. 6 bar Suspensionsdruck im Verteilrohr) und 50 °C Suspensionstemperatur sowie Maschinenbreiten über 10 m stellen hohe Anforderungen an die Konstruktion hinsichtlich mechanischer und thermischer Verformung. Diesen wurde bisher wie folgt Rechnung getragen:

- sichere Unterstützung des Stoffauflaufs über die Breite, um unabhängig von der Maschinenbreite dessen Stabilität zu gewährleisten,
- Druckkammer(n) an einer oder an beiden Lippen der Düse, um die großen Verformungskräfte aufgrund des Drucks aufzufangen,
- je eine Temperaturkammer an der Oberlippe und am Turbulenzgenerator, um den Einfluss der Temperaturunterschiede zwischen Suspension und Umgebung zu kompensieren.

Die neueste Generation von Stoffaufläufen ist über die Breite modular aufgebaut und benötigt daher keine Kompensation für Druck und Temperatur.

Der aus dem Stoffauflauf austretende Freistrahл unterliegt strömungstechnischen Gesetzen [10.12], [10.13]:

- Zu viel Turbulenz reißt die Strahloberfläche auf (geringe Turbulenz dagegen begünstigt die rasche **Reflockulation**).
- Die Richtung des Strahls in z-Richtung wird bestimmt durch den Blendenvorsprung an der Lippe, den Spalt und den **Untertlippenvorsprung** gegenüber der Blendenspitze (Bild 10.15).
- Mit der Änderung des **Strahlwinkels** bei gleicher **Strahlgeschwindigkeit** ändern sich der Auftreffabstand des Strahls auf das Sieb (Bild 10.16) und seine vertikale Geschwindigkeitskomponente, was Einfluss auf die Blattbildung hat.

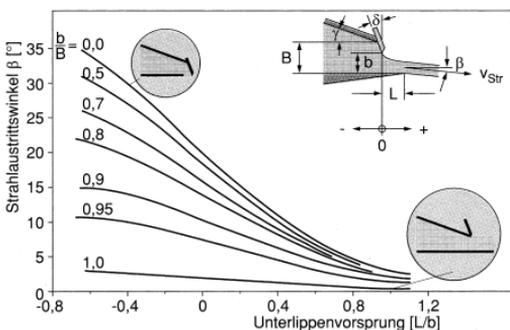


Bild 10.15: Einfluss der geometrischen Verhältnisse an der Düsenlippe auf den Strahlaustrittswinkel [10.12]

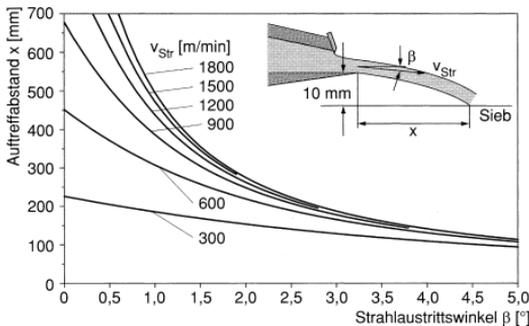


Bild 10.16: Einfluss von Austrittswinkel und Strahlgeschwindigkeit auf den Auftreffabstand [10.12]

Die **Strahlgeschwindigkeit** v lässt sich nach der Ausflussformel (vereinfachte Bernoulli-Gleichung) berechnen:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (10.1)$$

g Erdbeschleunigung ($9,81 \text{ m/s}^2$), h Druck in der Düse in m Wassersäule.

Insbesondere bei niedrigen Strahlgeschwindigkeiten ist die Strömungsgeschwindigkeit an der Druckmessstelle in der Düse zu berücksichtigen, also die vollständige **Bernoulli-Gleichung** anzuwenden. Bei Doppelsiebmaschinen muss der Strahl im Formierbereich erst in einen „Druckraum“ eintreten, der durch die **Außensiebspannung** erzeugt wird (siehe Abschnitt 10.4). Damit wird die Suspensionsgeschwindigkeit gegenüber dem Sieb etwas abgebremst, was vor allem bei niedrigeren Geschwindigkeiten zu beachten ist. Die Berechnung der daraus resultierenden Verringerung der Suspensionsgeschwindigkeit ergibt nur einen Mittelwert, da in diesem Druckraum der Druck über die Suspensionshöhe besonders bei hohen Maschinengeschwindigkeiten wegen des Zentrifugalfelds sehr unterschiedlich ist.

Mit der **Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Strahl zu Sieb** wird die vornehmliche Faserorientierung bei deren Ablage auf dem Sieb bestimmt. Bei einer Geschwindigkeitsdifferenz von null werden die Fasern gleichförmig in alle Richtungen verteilt abgelegt, außer sie wurden im Stoffauflauf bereits etwas vororientiert. Ist eine Geschwindigkeitsdifferenz gegeben (Vor- oder Nacheilung), so orientieren sich die Fasern stärker in Maschinenaufrichtung. Dadurch werden wichtige Qualitätsmerkmale des Produkts wie Steifigkeit, Schrumpfverhalten beim Trocknen oder die Ausdehnung beim Wiederbefeuchten beeinflusst.

Bild 10.17 zeigt, wie sich die Geschwindigkeitsdifferenz auf das Verhältnis der Festigkeiten in Längs- und Querrichtung sowie auf die Formationsgüte auswirkt. Bei einer Differenzgeschwindigkeit von etwa null ist das **L/Q-Festigkeitsverhältnis** ein Minimum und die **Formation** am

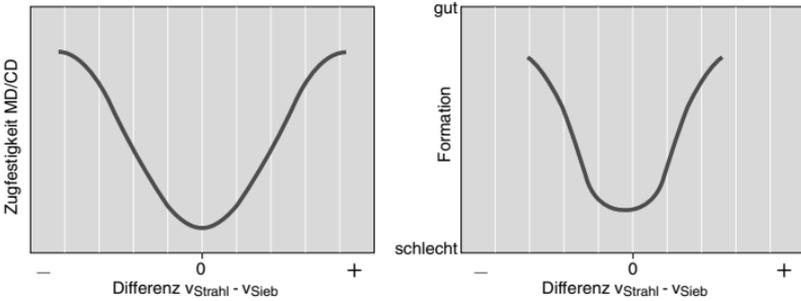


Bild 10.17: Prinzipieller Einfluss der Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Strahl und Sieb auf das Festigkeitsverhältnis in Längs- und Querrichtung der Bahn sowie auf die Formation

schlechtesten. Durch eine höhere Geschwindigkeitsdifferenz werden die Fasern stärker in Längsrichtung orientiert und ergeben so eine höhere Festigkeit in Längsrichtung. Dagegen nimmt die Festigkeit in Querrichtung ab. Die Formationsgüte wird besser. Der Strahl kann dem Sieb voreilen oder nacheilen, das Ergebnis ist dabei meist unterschiedlich bei gleichem Absolutwert der Geschwindigkeitsdifferenz. Der Verlauf der Kurve sowie das maximale L/Q-Verhältnis hängen auch von der Faserlänge ab. Bei großen Faserlängen ist die Kurve enger und geht zu höheren L/Q-Werten, bei geringeren Faserlängen ist die Kurve flacher.

Um das **Querprofil des Otro-Bahngewichts** zu beeinflussen, wurde in der Vergangenheit der Blendenvorsprung örtlich feinfühlig verändert. Dabei darf die Blende natürlich nur im elastischen Bereich verformt werden. Ein örtlicher Eingriff an der Blende hat weitreichende Auswirkung auf das Nachbargebiet. Bei modernen Stoffaufläufen erfolgt die Korrektur vor allem über die örtliche Zugabe von Suspension geringer Stoffdichte. Die Vorteile sind örtlich engere Beeinflussung des Otro-Querprofils

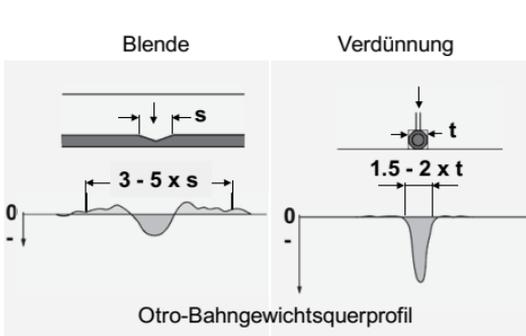


Bild 10.18: Beispiel für die Auswirkungen von lokaler Blendenvorstellung sowie von Verdünnungswasserzugabe auf das Otro-Querprofil

(Bild 10.18) sowie die Vermeidung von Querströmungen im Strahl. Eine Begrenzung ergibt sich nur über die jeweils möglichen Stoffdichtebereiche von Stoffsuspension und Verdünnung.

Örtliche Querströmungen im Strahl verändern das Querprofil der **Faserorientierung**, d. h. die vorrangige Ausrichtung der Fasern. Diese Querströmungen können hervorgerufen werden durch örtliche Verstellung der Blende (s. o.), durch eine über die Breite nicht konstante Spaltöffnung, durch nicht gleichförmige Strömungsquerschnitte in der Düse oder durch ungleiche Suspensionszufuhr zur Düse, z. B. hervorgerufen durch den Verteiler oder andere Komponenten im Stoffauflauf. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit, alle Bauteile genauestens herzustellen und auf die extremen Betriebsbedingungen (Druck und Temperaturdifferenz) abzustimmen. Das Ausmaß der Abweichung der **Hauptfaserrichtung** von der **Maschinenrichtung** richtet sich nach der Winkelabweichung des Strahls, der Absolutgeschwindigkeit des Strahls und nach der Differenzgeschwindigkeit von Strahl und Sieb [10.1], [10.14]. Eine Strahlwinkelabweichung von nur 1° bedeutet bei einer Strahlgeschwindigkeit von 2000 m/min eine Querkomponente der Strahlgeschwindigkeit von etwa 20 m/min. Bei einer Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Strahl und Sieb in Maschinenrichtung von null wären diese 20 m/min als Querkomponente allein maßgebend für die vorrangige Faserorientierung, die dann im rechten Winkel zur Maschinenrichtung weist. Bei einer angenommenen Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Strahl und Sieb in Maschinenrichtung von 40 m/min ergibt sich ein für die Ablagerung der Fasern maßgeblicher Winkel von 27° , was gleichzeitig den Winkel der Hauptfaserrichtung in der fertigen Bahn bedeutet. Die Geschwindigkeitsverhältnisse ändern sich, wenn der Strahl mit Vor- oder aber mit Nacheilung auf das Sieb trifft. Dies ist in Bild 10.19 schematisch dargestellt.

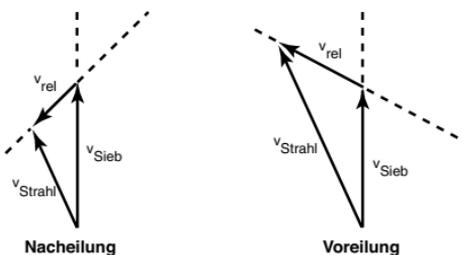


Bild 10.19: Auswirkungen von Querströmungen im Strahl auf die Relativgeschwindigkeit zwischen Strahl und Sieb und damit auf die Hauptfaserrichtung in der Bahn

In Bild 10.20 sind weitere Bauarten von Stoffaufläufen abgebildet:

- A. Ein **Lochwalzenstoffauflauf** moderner Bauweise mit in der Suspension rotierenden Lochwalzen.

- B. Ein **Langsiebstoffauflauf** mit ähnlichen Bauelementen wie beim Doppelsiebstoffauflauf beschrieben. Diesem Stoffauflauffypp wird üblicherweise ein Schwingungsdämpfer vorgeschaltet, um Pulsationen aus dem Stoffzufuhrsystem abzubauen. Ein solcher Dämpfer ist ein geschlossener Behälter mit einer von der Suspension durchströmten Lochplatte (Reflexionsdämpfung). Darüber steht ein Luftpolster, womit ein hydropneumatischer Dämpfungseffekt erzeugt wird (Bild 10.21).
- C. Ein Stoffauflauf mit **Zentralverteiler**, von dem aus in mehreren Leitungen die Suspension dem eigentlichen Stoffauflauf zugeführt wird.
- D. Ein **Zweischichtenstoffauflauf** zur Erzeugung mehrlagiger Produkte. Er besteht aus zwei hydraulisch eigenständigen, aber mechanisch miteinander verbundenen Stoffaufläufen. Die beiden Stoffaufläufe werden mit unterschiedlichen Stoffarten beschickt. Bis zum Düsenende der jeweiligen Stoffaufläufe bleiben die Suspensionsströme

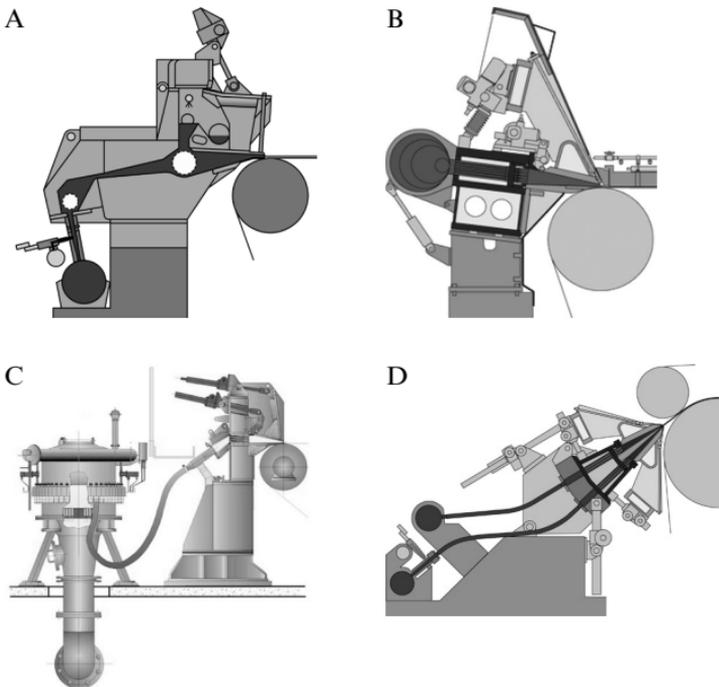


Bild 10.20: Moderne Bauarten von Stoffaufläufen
 A Lochwalzenstoffauflauf, B Langsiebstoffauflauf, C Zentralverteiler-Stoffauflauf,
 D Zweischichtenstoffauflauf (Quelle: Voith)

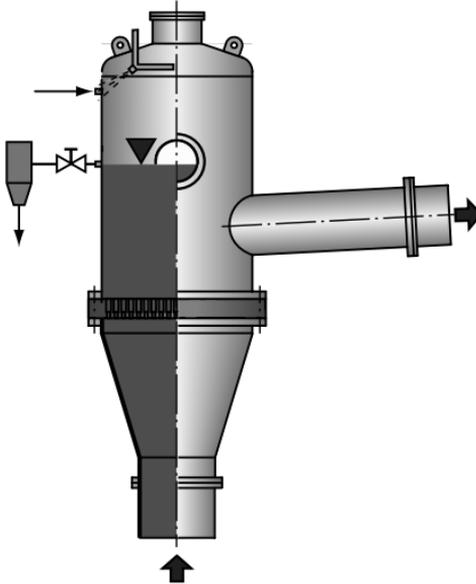


Bild 10.21: Schwingungsdämpfer zur Reduzierung von Pulsationen aus dem Stoffzufuhrsystem (Quelle: Voith)

getrennt. Erst im Strahl und in der Entwässerungszone werden sich die beiden Suspensionsströme teilweise etwas vermischen. Solche Zwichschichtenstoffaufläufe sind für Tissue- und Verpackungspapiere sowie auch für grafische Papiere im Einsatz. Ihr Vorteil ist, dass bei der Erzeugung von mehrlagigen Produkten eine Formerpartie eingespart werden kann. Bei einlagigen Produkten kann sich durch Einsatz unterschiedlich teurer Rohstoffe in den beiden Schichten ein wirtschaftlicher Vorteil ergeben.

10.4 Siebpartie

10.4.1 Aufgabe und prinzipielle Lösung

In der Siebpartie wird aus der Suspension eine endlose Bahn erzeugt. Dieser Vorgang liegt zwischen reiner **Filtration** (Aufbau eines Filterkuchens unterhalb der noch nicht entwässerten Suspension) und reiner **Eindickung** (gleichförmige Erhöhung der Stoffdichte über das gesamte Suspensionsvolumen). Die Entwässerung soll gleichmäßig über die Breite erfolgen. Die bei der Entwässerung wirkenden **Kräfte** können sein:

- **Schwerkraft**, d. h. die Suspensionshöhe über dem Sieb im Schwerfeld der Erde, wobei dieser Druck nur zu Beginn der Bahnformierung, im Bereich der „**initialen Entwässerung**“, eine gewisse Entwässerungsleistung ergibt. Dort wird sogar noch mit einem Siebtisch, bei dem mehrere Siebleisten unterschiedlicher Breite eng nebeneinander positioniert sind, die Entwässerungsmenge mit dem Ziel einer höheren Retention (s. u.) kontrolliert reduziert.
- **Hydrodynamische Kräfte**, z. B. durch **Registerwalzen** und **Foils**, die unter dem Sieb angebracht sind und ein Vakuum (und Druckstöße) erzeugen. Diese Kräfte sind abhängig von der Siebgeschwindigkeit sowie vom Durchmesser der Registerwalze bzw. vom **Foilwinkel**. Den prinzipiellen Druckverlauf bei den beiden Entwässerungselementen zeigt Bild 10.22. Registerwalzen erzeugen einen Druckstoß im Einlaufzwickel und ein Vakuum im Ablaufbereich. Sie sind für höhere Siebgeschwindigkeiten wegen ihrer dann hohen Druckstöße nicht geeignet, die Anwendungsgrenze liegt bei etwa 500 m/min. Bei noch höheren Geschwindigkeiten fängt die Suspension an zu springen. Foils haben eine scharfkantige Auflaufkante, an der ein leichter Druckstoß auftritt. Es folgt eine ebene, horizontale Länge mit anschließender Abschrägung nach unten, dem Foilwinkel, der üblicherweise zwischen 0° (Blades) und 3° liegt. Je größer der Foilwinkel, desto höher ist der dabei erzeugte Unterdruck und die daraus

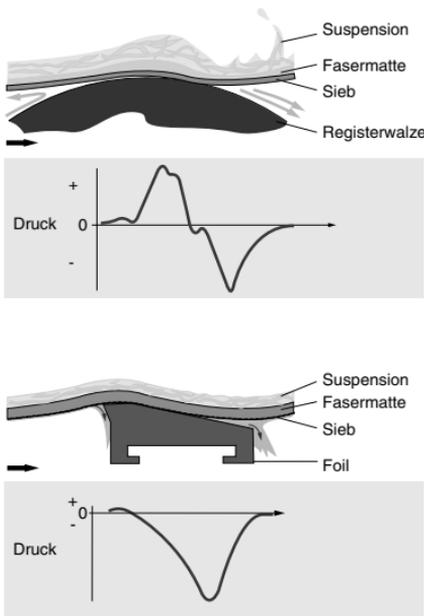


Bild 10.22: Druckverläufe an Registerwalzen und Foils

resultierende Turbulenz in der Suspension auf dem Sieb. Somit werden bei höheren Geschwindigkeiten Foils mit geringerem Foilwinkel eingesetzt. Weniger häufig sind Stufenfoils anzutreffen.

- Externe **Vakuumpquellen** nutzt man zur Bahnentwässerung in **Saugwalzen** (hohe offene Fläche unterschiedlicher Bauart) zu Beginn der Bahnbildung und am Ende der Siebpartie, in **Foilkästen** und **Nasssaugern** (mit Foils bzw. Siebleisten bestückte Kästen, eingesetzt vor der Wasserlinie, vor der die Bahnoberfläche wegen des Oberflächenwassers noch glänzt) und in **Saugkästen** (hinter der Wasserlinie, ab der kein Wasser mehr an der Bahnoberfläche sichtbar ist). Vor der Wasserlinie wird nur Wasser aus der Bahn gesaugt, hinter der Wasserlinie strömt auch Luft durch die Bahn, wobei Wasser mitgerissen wird. Durch das bei Nasssaugern angelegte Vakuum wird die Bahn verdichtet und Wasser entfernt. Sobald die Bahn den Vakuumbereich verlässt, erhöht sich wieder ihr Volumen. Dabei wird das bereits vorher abgeschiedene Wasser teilweise wieder aus dem Sieb aufgenommen (Rückbefeuchtung) [10.15].
- **Mechanische Kräfte** durch die Siebspannung S bei Umschlingung einer gekrümmten Fläche (**Formierwalze oder gekrümmter Schuh**) mit dem Radius r . Der vom Sieb auf die Suspension ausgeübte Druck p beträgt $p = S/r$. Die Siebspannung muss dabei ausreichend groß sein, um die durch die Zentrifugalwirkung (Zentrifugalbeschleunigung $c = v^2/r$ und Suspensionsdicke h hinter dem Außensieb) auf das Außensieb erzeugte Kraft aufzufangen, also

$$S > r \cdot (h \cdot \rho \cdot g) \cdot v^2/(r \cdot g)$$

$h \cdot \rho \cdot g$ Druck durch die Suspensionsdicke im Schwerfeld der Erde, $v^2/(r \cdot g)$ Vielfaches der Erdbeschleunigung aufgrund der Zentrifugalkraft

Der am Innensieb anliegende Druck ist entsprechend geringer. Für eine symmetrische Entwässerung wird daher an das Innensieb ein Unterdruck angelegt.

Unterschiedliche **hydrodynamische Prozesse** beeinflussen die Bahnbildung:

- Die eigentliche Entwässerung erfolgt senkrecht zur Siebebene.
- In Maschinenrichtung ist ein orientiertes Schergefälle überlagert, das von der Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Strahl und Sieb herrührt.
- Zudem wirken Turbulenzkräfte aufgrund der Entwässerungselemente, die Faserflocken in der Suspension, aber auch z. T. den bereits abgelegten Filterkuchen, wieder aufreißen.

Die für die Bahnbildung erforderliche **Entwässerungszeit** t (und damit Entwässerungslänge) für eine Suspensionshöhe h ist

$$t = h^\beta$$

β eine für den gegebenen Fall empirisch zu ermittelnde Größe. β hängt u. a. ab von Stoffart, Stoffdichte und den Entwässerungskräften.

Retention ist ein Maß für die Zurückhaltung von Fasern und Feststoffen auf dem Sieb. Sie wird definiert als Verhältnis der Masse der auf dem Sieb verbleibenden Faser- und Feststoffe zur Masse der auf das Sieb aufgeführten Faser- und Feststoffe. Der Wert wird meist in % ausgedrückt. Der in der Praxis ebenfalls verwendete Begriff **Siebdurchfall** kennzeichnet das Verhältnis der Massen von durch das Sieb in das Siebwasser gelangten Faser- und Feststoffen zu den auf das Sieb aufgeführten. Höhere Retention ergibt eine geringere Stoffdichte im Siebwasser und entlastet damit die Aggregate im Stoffzufuhrsystem. Die Stoffdichte im Stoffauflauf wird geringer, die Formation verbessert und die **Siebabrasion** vermindert. Zudem ergibt sich insbesondere auf Langsiebmaschinen eine etwas geringere **Zweiseitigkeit** (Unsymmetrie der Bahn in z-Richtung) des Produkts. Die Retention wird durch Retentionsmittel verbessert, die Fein- und Füllstoffe flocken und damit besser im Faserverbund halten.

Zu Beginn der Filtration ist der **Entwässerungswiderstand** sehr gering und wächst stark an mit zunehmender Dicke der Papierbahn. Die örtliche Entwässerungsmenge nimmt in Maschinenrichtung ab, entsprechend weniger Filtrat fällt an, wobei dessen Stoffdichte immer geringer wird. Für eine hohe Retention ist eine schonende Entwässerung zu Beginn der Bahnbildung (initiale Blattbildung) wichtig. Mit fortschreitender Entwässerung müssen stärkere Entwässerungskräfte aufgebracht werden, schließlich wird der Trockengehalt der Bahn noch durch ein entsprechend hohes Vakuum in den Flachsaugern oder in der Siebsaugwalze erhöht.

10.4.2 Ausführungsformen

Auch heute noch wird auf dem früher vorherrschenden **Langsieb** ein großer Teil der grafischen Papiere erzeugt. Es ist die klassische Siebpartie, auch **Fourdrinier** genannt. Der Suspensionsstrahl aus dem Langsiebstoffauflauf trifft im Bereich des Siebtischs auf das Sieb auf. Durch die Anordnung der Siebtischleisten wird eine behutsame initiale Entwässerung gewährleistet, störende mitgerissene Luft kann durch entsprechende Positionierung der Strahlauftrefflinie abgestreift werden. Danach folgen z. B. die o. a. Entwässerungselemente wie Foils, Foilkästen mit und ohne Vakuum, Nasssauger, Saugkästen und **Siebsaugwalze**. Durch das hohe

Vakuum im Walzenmantel, das an der ablaufseitigen Dichtleiste plötzlich zusammenbricht, entsteht ein sehr lauter Sireneneffekt [10.1]. Die Lautstärke lässt sich durch Art des Bohrmusters und der Dichtleiste reduzieren. Bei langsameren Maschinen wird oft eine **Siebschüttelung** eingesetzt. Dabei wird die **Brustwalze** horizontal quer zur Maschinenrichtung bewegt. Frequenz (z. B. bis 600 1/min) und Hub (z. B. bis 25 mm) dieser Schüttelbewegung sind einstellbar. Brustwalzen aus Carbonfasern sind deutlich leichter und erlauben daher höhere Schüttelfrequenzen. Ebenfalls zur Formationsverbesserung kann kurz vor der Wasserlinie ein Egoutteur eingesetzt werden, eine siebgespannte Walze mit sehr hoher offener Fläche. Sie wird angetrieben. Ein solcher **Egoutteur** dient auch zum Aufbringen von Wasserzeichen in die Bahn. Der Einsatz des Egoutteurs ist auf eine maximale Geschwindigkeit von etwa 1000 m/min begrenzt. Eine neue Generation von **Leitwalzen** ist aus Carbonfasern gefertigt. Diese weisen eine hohe Eigenfrequenz auf, was vorteilhaft ist für die heutigen hohen PM-Geschwindigkeiten. **Breitstreckwalzen** sind Walzen mit einstellbarer Mantelkrümmung, sie sollen das Zusammenlaufen von Sieben (und Filzen oder der Papierbahn) verhindern. In allen Bereichen der Papiermaschine müssen die Walzenoberflächen sauber gehalten werden. Dies geschieht durch auf den Einsatzort abgestimmte Kombination von Walzenbezug und **Schaber**.

Da am Langsieb immer nur in eine Richtung entwässert wird, ist der Blattaufbau in Dickenrichtung unterschiedlich (Bild 10.23). Außerdem ist die Entwässerungskapazität begrenzt. Eine Verbesserung dieser Parameter erfolgte mit der Einführung der **Hybridformer**. Hierbei wird ein zweites Sieb auf das Langsieb gesetzt und ein Teil der Suspension durch einen Saugkasten mit unterschiedlichen Entwässerungselementen nach oben entwässert. Beim Hybridformer sind der Entwässerungsmenge nach oben und damit dem Symmetriegrad des Blattes sowie der Betriebsgeschwindigkeit nach oben und unten Grenzen gesetzt.

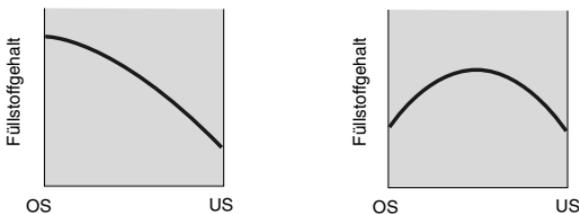


Bild 10.23: Typische Füllstoffverteilung in z-Richtung der Bahn bei einseitiger (Langsieb) und beidseitiger (Doppelsiebformer) Entwässerung (OS Oberseite, US Unterseite)

Dagegen erreicht man mit dem **Doppelsiebformer** einen **symmetrischen Blattaufbau** (Bild 10.23). Heute werden damit Geschwindigkeiten von über 2000 m/min gefahren. Der Stoffauflauf ist konstruktiv für eine kurze freie Strahllänge und für hohe Strahlstabilität auch bei den hohen Geschwindigkeiten konzipiert. Die Entwässerung beginnt meist mit einer **Formierwalze** mit einstellbarem Vakuum. Auch **Formierschuhe** (gekrümmte oder gerade) werden in unterschiedlicher Anordnung in diesem Bereich eingesetzt, z. B. für Umbauten (Bild 10.24). Es folgen zwei gegeneinander wirkende, mit Vakuum beaufschlagte Saugkästen, die mit Siebleisten oder Foils bestückt sind. Dabei ist ein Kasten mit seinen Entwässerungselementen fix installiert, während die Leisten im Gegenkasten in Richtung Sieb beweglich sind und in dieses kontrolliert eintauchen können.

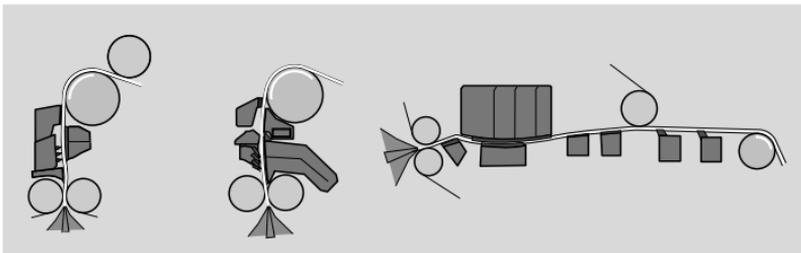


Bild 10.24: Doppelsiebformer mit Formierschuhen, die heute vor allem für Umbauten eingesetzt werden (Quelle: Voith)

Bild 10.25 zeigt die heute meistverbreiteten Siebpartietypen **Langsieb**, **Hybridformer** und **Doppelsiebformer mit Formierwalze**. Andere, heute nur in Spezialfällen eingesetzte oder veraltete Bahnbildungsarten zeigt Bild 10.26 mit den Rundsiebformertypen **Gegenstromrundsieb**, **Gleichstromrundsieb**, **teilbeaufschlagtem Rundsieb**, dem **Saugformer**, einem auf das Langsieb aufgesetzten Saugformer, die alle meist zur Erzeugung von Verpackungspapieren und Karton eingesetzt werden oder wurden, sodann den **Saugbrustwalzenformer** zur Tissueerzeugung sowie ein Schrägsieb zur Herstellung von Spezialpapieren.

Bei hohen Geschwindigkeiten entstehen starke **Sprühströmungen**, da das Siebwasser mit Maschinengeschwindigkeit aus dem Sieb austritt. Diese Geschwindigkeitsenergie kann genutzt werden, um das Siebwasser einfach aus der Siebpartie zu entfernen und erst außerhalb der Maschine in geeigneter Form abzubremsen. Alle Arten von Wassersprühströmungen und Nebel, z. B. beim Sieb Ablauf von einer Walze, werden beim Auflaufen auf ein Hindernis (nachfolgende Walze, Rinne o.ä.) abgelenkt und treten in die Maschinenhalle aus. Deshalb sind heute die schnellen Papiermaschinen gekapselt. Diese Kapselungen sind in der Regel auch gezielt besaugt.

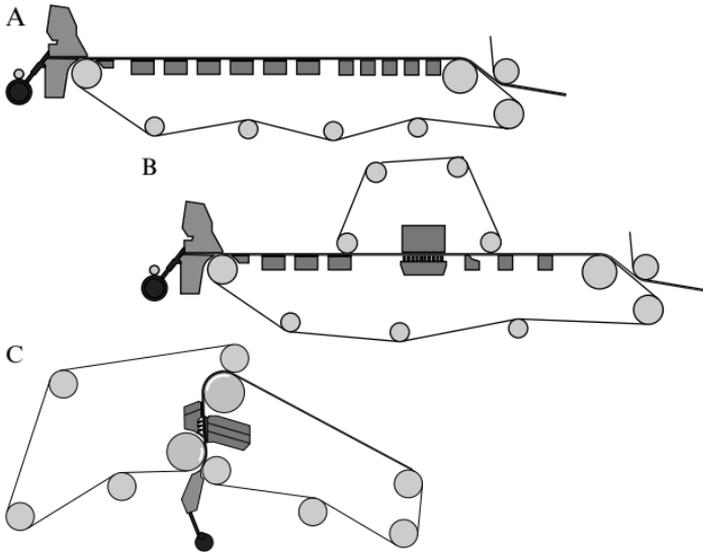


Bild 10.25: Die heute meistverbreiteten Siebpartietypen
A Langsieb, B Hybridform, C Doppelsiebformer (Quelle: Voith)

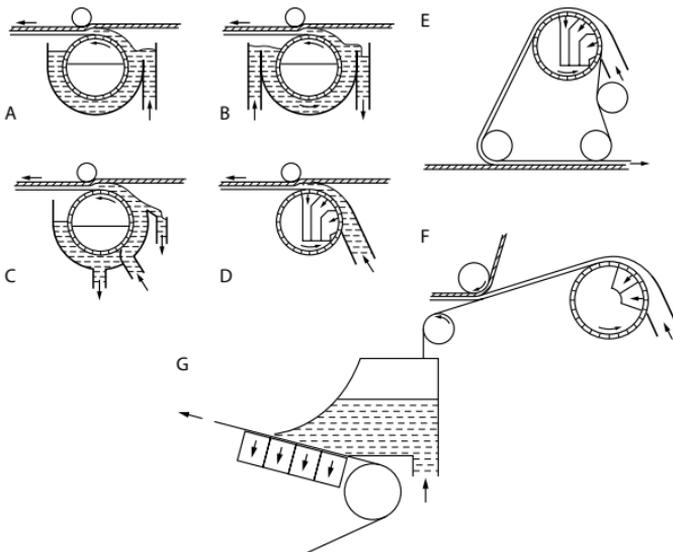


Bild 10.26: Heute weniger gebräuchliche oder veraltete Bahnbildungssysteme [10.1]
A Gegenstromrundsieb, B Gleichstromrundsieb, C teilbeaufschlagtes Rundsieb,
D Saugformer, E auf das Langsieb aufgesetzter Saugformer, F Saugbrustwalzenformer zur Tissue-Erzeugung, G Schrägsieb

10.4.3 Siebe

An die in der Siebpartie [10.16] verwendeten Siebe werden hohe Anforderungen gestellt, nämlich

- gleichförmige Entwässerung der aus dem Stoffauflauf gelieferten Suspension,
- bestmögliche Unterstützung der nassen Papierbahn auch bei hohen Entwässerungsdrücken,
- problemlose Bahnabgabe am Übergang zur Pressenpartie,
- ausreichende Speicherkapazität für Siebwasser und dessen kontrollierte Abgabe,
- möglichst geringer Verschleiß.

Daraus resultieren teils widersprüchliche Erfordernisse für die Siebkonstruktion, wie:

- Einerseits sollte die der Papierbahn zugewandte Sieboberfläche hinsichtlich Siebmarkierung besonders für Druckpapiere möglichst glatt sein [10.17], andererseits aber eine große und gleichförmige offene Fläche für die Entwässerung aufweisen.
- Das freie Volumen im Sieb sollte ausreichend groß sein zur Speicherung, andererseits sollte möglichst wenig Siebwasser mitgeschleppt werden.

Siebe bestehen aus **Längsfäden (Kette)** und **Querfäden (Schuss)**. Früher wurden die Siebe aus Metallfäden gewoben. Ab den 1960er-Jahren erfolgte der Übergang zu **Kunststoffsieben** (Polyester, Polyamide), die heute bis auf wenige Spezialfälle Standard sind. Die Kunststoffsiebe sind endlos gewoben, wobei die Länge etwa zwischen 25 m und 100 m liegt. Die größte Breite liegt bei ca. 12 m. Um übermäßige Längung und zu starke Breitenreduktion der Siebe im Betrieb zu vermeiden, werden sie thermisch fixiert. Die **Siebstandzeit** auf der Papiermaschine beträgt üblicherweise 30 bis 50 Tage, mit Abweichungen nach oben und unten.

Die Kunststoffsiebe sind heute mehrlagig, meist dreilagig. Da sich die Sieboberfläche auf der Papierbahn abbildet, muss sie eine besonders feine Porenstruktur aufweisen. Daher wird an der Oberfläche mit feinen Fäden (Monofile mit etwa 0,12 mm bis 0,15 mm Dicke) gearbeitet, an der Unterseite mit gröberen Fäden (Monofile mit etwa 0,20 mm bis 0,30 mm Dicke), um den Verschleiß zu reduzieren. Um die Querstabilität der Siebe zu erhöhen, werden zusätzlich Schussfäden in den Siebaufbau (mittig) integriert. Zudem muss jedoch gerade bei breiten Maschinen auf die Dimensionierung der das Sieb führenden Walzen geachtet werden, damit die Walzendurchbiegung durch Eigengewicht und Siebzug nicht zu groß wird und das Sieb zusammenlaufen lässt. Bild 10.27 zeigt ein 20-Schaft-Formiersieb.