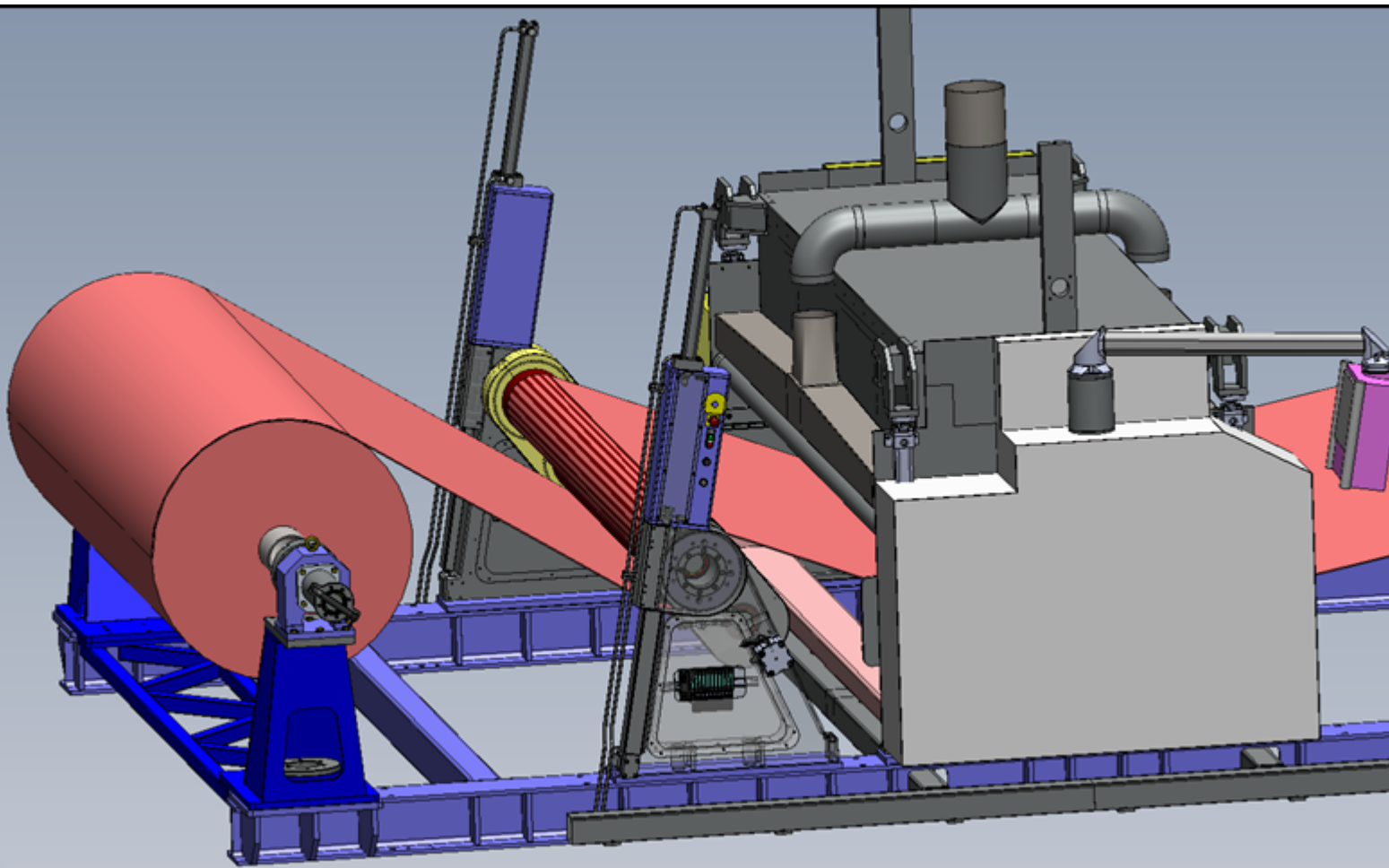




Prozessbeschreibung Thermofixieren von Spiralsieben

Prozessbeschreibung Thermofixieren

Inhaltsverzeichnis

Kapitel	Seite
1.0 Spiralsiebe	1
1.1 Spiralsiebaufbau	1
2.0. Thermofixierprozess	3
2.1 Aufbau von Kunststoffen	3
2.1.1 Elastomere	3
2.1.2 Duroplasten	4
2.1.3 Thermoplaste	4
2.2 Tiefgang Thermoplasten	5
2.3 Was geschieht auf mikroskopischer Ebene	6
3.0 Faktoren beim Fixieren	8
3.1 Fixiertemperatur	8
3.2 Fixierspannung	10
3.3 Kontaktzeit	11
3.4 Weitere Einflussfaktoren	11
4.0 Zwei-Walzen Fixierung	13
4.1 Aufbau	13
4.2 Ablauf des Thermofixierens	13
4.3 Wärmeaufbringung	15
4.3.1 Varianten der Wärmeaufbringung	15
4.3.2 Heizwalze (Wärmeleitung)	16
4.3.3 Heißluftkasten	21

Kapitel	Seite
4.3.4 Heizkasten mit Infrarotstrahlern	23
4.3.5 Kombination	25
4.3.6 Umhausung	25
4.3.7 Bewertung und Gegenüberstellung der einzelnen Varianten	27
4.3.8 Auswertung	30
4.4 Kühlung	31
4.5 Aufbringen der Spannung	31
4.5.1 Spannungsaufbau über eine definierte Kraft	32
4.5.2 Umsetzung	33
4.6 Fazit	34
5.0 Durchlaufkalander	35
5.1 Aufbau	35
5.2 Ablauf des Fixierens	36
5.3 Heizwalze und Wärmehaube	37
5.4 Heizwalzengröße und Kontaktfläche	38
5.5 Siebspannung	40
5.6 Drehzahleinstellung der Auf- und Abwickeleinrichtung	41
5.7 Fazit	42
6.0 Gegenüberstellung beider Verfahren	43
6.1 Qualität	43
6.1.1 Fertigung von Spiralsieben	43
6.1.2 Fazit	43
6.2 Anzahl der Umläufe/Durchläufe	44
6.2.1 Spannungsaufbau	44
6.2.2 Fixiertemperatur und Kontaktzeit	45

Kapitel	Seite
6.2.3 Aufheiz- und Abkühlzeit	46
6.2.4 Kühlung	46
7.0 Versuchskalender	47
7.1 Aufbau	47
7.1.1 Wärmeaufbringung	48
7.1.2 Spannungsaufbau	48
7.2 Ablauf	49
7.3 Weiterentwicklung des Versuchskalenders	50
7.4 Erfahrungswerte	52
7.5 Versuchsreihe mit neuer Heizung	53
7.5.1 Aufbau der Versuchsheizung	53
7.5.2 Versuche	54
7.5.3 Ergebnis	54
7.5.4 Weitere Vorgehensweise	55
8.0 Literaturverzeichnis	57
8.1 Abbildungen	57
8.2 Texte	58

1.0 Spiralsiebe

1.1 Spiralsiebaufbau

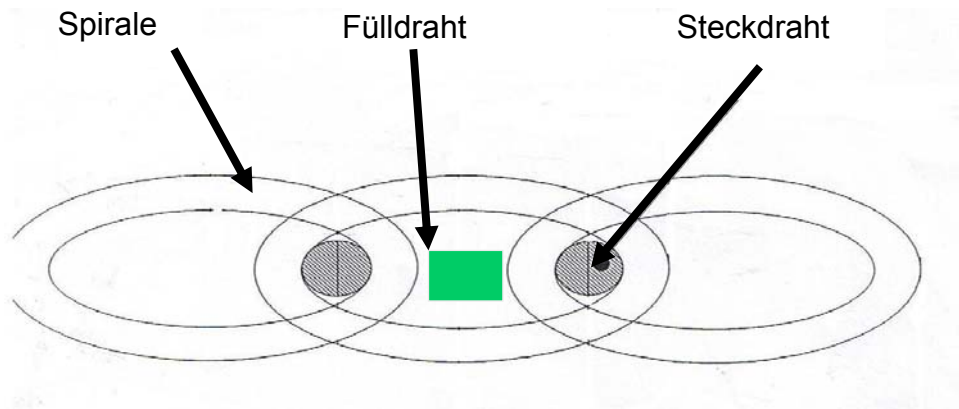


Abb. 1.1: Schematische Darstellung

Ein Spiralsieb ist aus einer Vielzahl miteinander verbundener Spiralen aufgebaut. Diese Spiralen sind so angeordnet, dass benachbarte Spiralglieder reißverschlussartig ineinander greifen. Durch dieses Ineinandergreifen überlappen sich deren Windungsbögen, was Verbindungskanäle bildet. In diese Kanäle werden sogenannte Steckdrähte eingeführt, um die Spiralen miteinander zu verbinden. Es werden immer rechts- und linksgewickelte Spiralen abwechselnd aneinandergesetzt. Innerhalb einer Spirale und zwischen zwei Verbindungskanälen bildet sich ein weiterer Kanal, der als Füllkanal bezeichnet wird. Zur Verringerung der Luftdurchlässigkeit werden in diese verbleibenden Hohlräume Fülldrähte eingeführt.



Abb. 1.2: Gefülltes Sieb (90-600cfm)

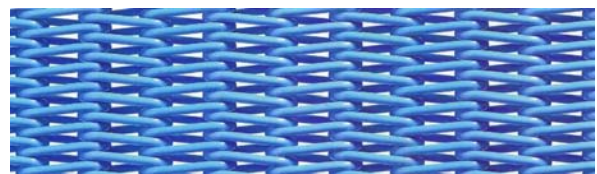


Abb. 1.3: Ungefülltes Sieb (900-1200cfm)

Aufgrund dieses Freibleibens der Füllkanäle weisen ungefüllte Spiralsiebe eine höhere Luftdurchlässigkeit als gefüllte Spiralsiebe auf. Bei ungefüllten Spiralsieben beträgt die Luftdurchlässigkeit 900cfm und höher, während der Wert bei gefüllten

Sieben zwischen 90 und 600cfm liegt. Dieser Wert ist abhängig von der Größe des verwendeten Fülldrahtes.

Anmerkung:

Cfm (cubic feet per minute) ist ein Maß für den Stoffdurchsatz. $1\text{cfm}=1,699\text{m}^3/\text{h}$

1.2 Thermofixieren

Der letzte Schritt bei der Herstellung von Spiralsieben ist das Thermofixieren. Hier wird das Spiralsieb einer Temperaturbehandlung bei gleichzeitiger Verstreckung unterzogen. Dieser Vorgang dient zur Bildung der Festigkeit und Dimensionsstabilität.

Da in der Papiermaschine Produktionsgeschwindigkeiten bis zu 2000 m/min und hohe Kräfte auftreten, muss ausgeschlossen werden, dass sich die eingesetzten Spiralsiebe verformen oder der vorherrschenden Belastung nicht standhalten.

Gründe warum Spiralsiebe fixiert werden müssen sind folgende:

- Bildung der Dimensionsstabilität ➔ Einkerben des Steckdrahtes
- Festigkeit des Siebes
- Gleichmäßige Luftdurchlässigkeit

Beim Fixieren verändert sich die Form der Spiralen, aufgrund des Streckvorgangs unter Wärme kommt es zu einer Verformung des Spiralsiebes bzw. der einzelnen Spiralen. Diese flachen ab und werden geglättet.

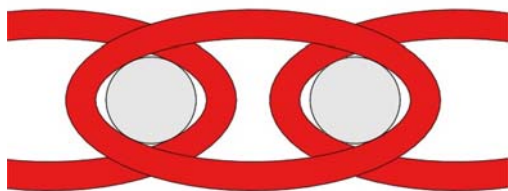


Abb. 1.4: Unfixierte Spirale

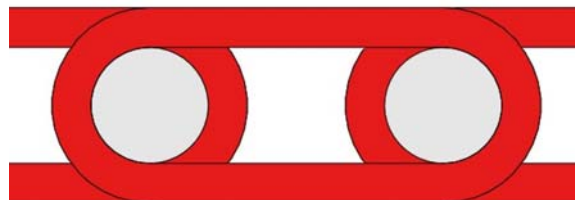
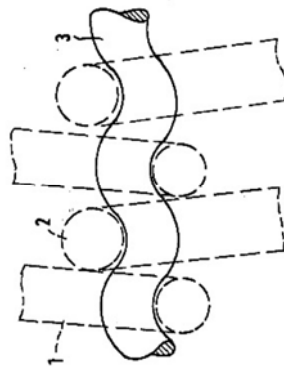


Abb. 1.5: Fixierte Spirale



- 1=linke Spirale
- 2=rechte Spirale
- 3=Steckdraht

Abb. 1.6: Eingekerbter Steckdraht [1]

2.0. Thermofixierprozess

Spiralsiebe bestehen aus Thermoplasten. Im folgenden Text wird ein kurzer Überblick der drei verschiedenen Kunststoffarten Elastomere, Thermoplasten und Duroplasten gegeben, welcher Aufschluss darauf gibt, warum Thermoplasten verformbar sind.

2.1 Aufbau von Kunststoffen

2.1.1 Elastomere

Elastomere sind weitmaschig bis zur Zersetzungstemperatur vernetzte hochpolymere Werkstoffe, die sich bei niedrigen Temperaturen stahlelastisch verhalten und die auch bei hohen Temperaturen nicht viskos fließen, sondern sich bei Raum- oder einer tieferen Temperatur bis zur Zersetzungstemperatur gummielastisch verhalten. [2]

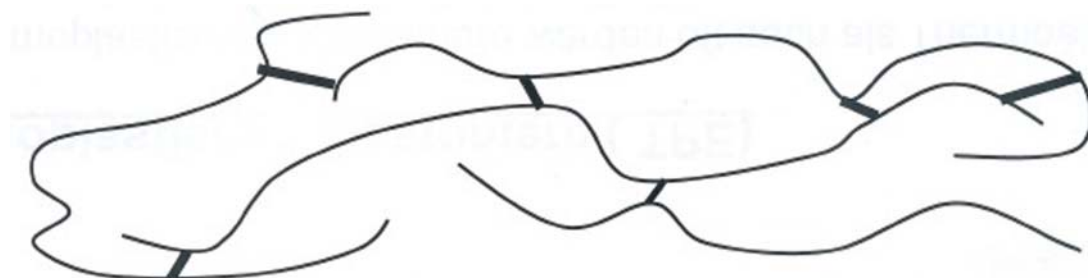


Abb. 2.1: Elastomer [3]

2.1.2 Duroplasten

Bei den Duromeren sind die Makromoleküle im Gegensatz zu den Elastomeren engmaschig vernetzt. Sie besitzen hohe Schubwerte und lassen sich bei Raumtemperatur nur unter Aufwand von sehr hohen Kräften gering aber reversibel verformen. Duroplaste sind wie Elastomere nicht schmelzbar, sondern zersetzen sich bei höheren Temperaturen. [4]

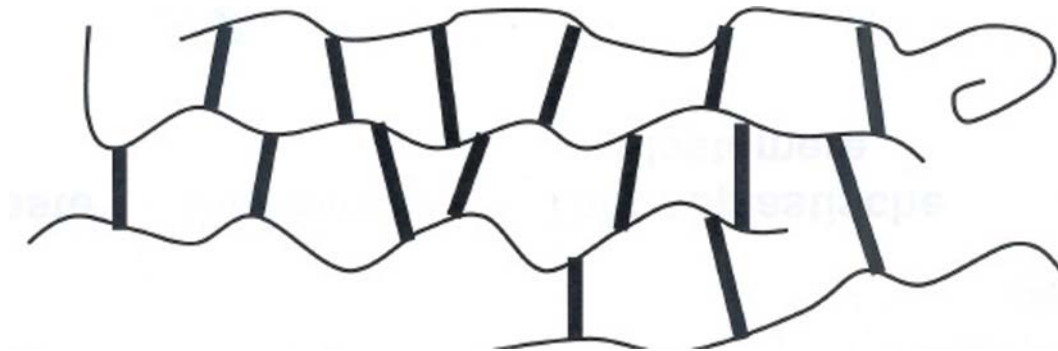


Abb. 2.2: Duroplast [5]

Anmerkung: Bei den zu sehenden Vernetzungen der Makromoleküle von Elastomeren und Duroplasten handelt es sich um chemische Verbindungen.

2.1.3 Thermoplaste

Thermoplaste bestehen aus langen Molekülketten, welche keine Querverbindung besitzen. Dadurch sind die Plastomere bei höheren Temperaturen leicht verformbar und lassen sich bei Einwirkung von Kräften zunehmend plastisch deformieren. Nach ihrer Entlastung kehren sie nicht mehr in ihre ursprüngliche Form zurück. [7]

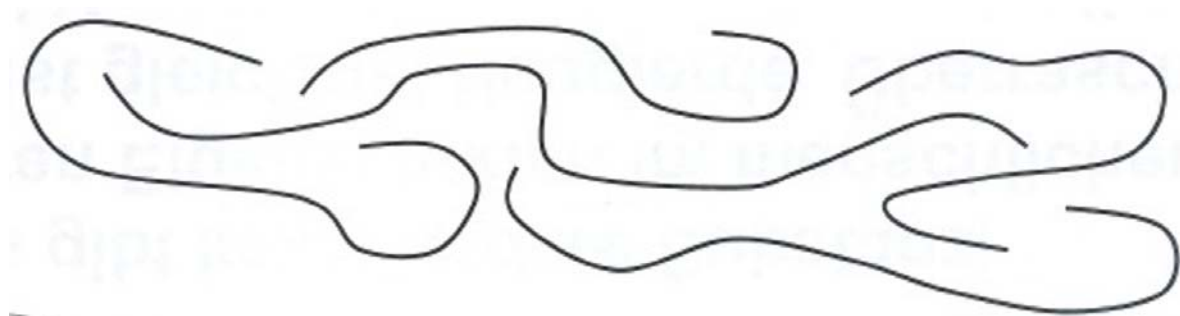


Abb. 2.3: Thermoplast [6]

Anmerkung: Thermoplasten können ebenfalls Verbindungen zwischen den einzelnen Makromolekülen aufbauen, allerdings sind diese physikalischen Ursprungs, es wird deshalb nicht von Vernetzungen gesprochen.

2.2 Tiefgang Thermoplasten

Um den Prozess, der beim Thermofixieren stattfindet zu verstehen muss der Aufbau von Thermoplasten genauer betrachtet werden. Thermoplasten bestehen aus Monomeren, die sich durch chemische Reaktionen zu Makromolekülen vernetzen. Diese chemischen Bindungen werden bei dem Verfahren der Thermofixierung nicht verändert, da diese sich erst im Schmelzbereich verändern lassen.

Weitere Bindungen bestehen bei Thermoplasten zwischen den Makromolekülen, diese Bindungen sind physikalischen Ursprungs und lassen sich schon im Bereich von 100° Celsius auflösen, bzw. verschieben, während die chemischen Bindungskräfte stabil bleiben.

Thermoplasten gibt es in zwei verschiedenen Formen, sie können amorph oder teilkristallin sein. Bei amorphen Thermoplasten liegen die nicht vernetzten Molekülfäden wahllos durcheinander, während bei teilkristallinen Thermoplasten je nach Kristallisationsgrad, die Makromoleküle zu einem bestimmten Prozentsatz geordnet vorliegen. Durch diese Ordnung der Makromoleküle erhöhen sich die physikalischen Bindungskräfte, was eine Steigerung der Festigkeit und eine höhere Temperaturstabilität mit sich bringt.

Einfluss zunehmender Kristallinität [8]

Eigenschaften nehmen zu	Eigenschaften nehmen ab
Steifigkeit, Modul	Schlagzähigkeit
Dichte	Dehnung
Streckspannung	Thermische Ausdehnung
Chemikalienbeständigkeit	Permeabilität
Glas- und Schmelztemperatur	Quellungsverhalten
Abrasionswiderstand	Mechanische Dämpfung
Dimensionsstabilität	Kriechneigung

Beim Thermofixieren wird genau dieser beschriebene Kristallisationsgrad erhöht, was aus der Tabelle herauszulesenden Eigenschaftsänderungen zur Folge hat. Es handelt sich um eine Erhöhung der Molekülkettenorientierung durch eine Temperaturbehandlung unter Spannung. Da dieser Vorgang zwischen Glas temperatur und Schmelzbereich stattfindet, kann er als Teilkristallisation angesehen werden.

Durch die anschließende Abkühlung unter die Glas temperatur wird in diesem Prozess der gestreckte und gleichgerichtete Zustand der Makromoleküle "eingefroren", damit dieser sich nicht verändert.

2.3 Was geschieht auf mikroskopischer Ebene [10]

Die fadenförmigen Makromoleküle in Thermoplasten können sich aufgrund ihrer Größe nicht ohne weiteres in ein Kristallgitter einordnen. Nur in kleinen Bezirken können Kettenabschnitte kristalline Bereiche (also geordnete Bereiche) ausbilden, in denen die Makromoleküle parallel neben einander gelagert sein können. Vor dem Thermofixieren liegen die kristallinen Bereiche ungeordnet vor.

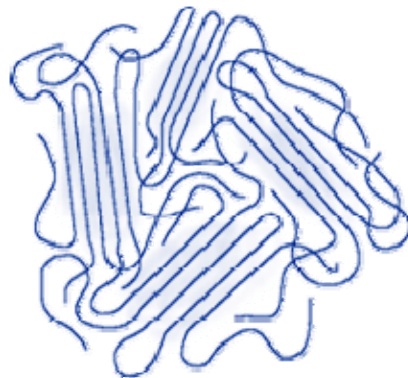


Abb. 2.4: Anordnung der Molekülketten vor dem Thermofixieren [9]

Durch das Spannen werden die kristallinen Bereiche parallelisiert und dabei vermehrt,

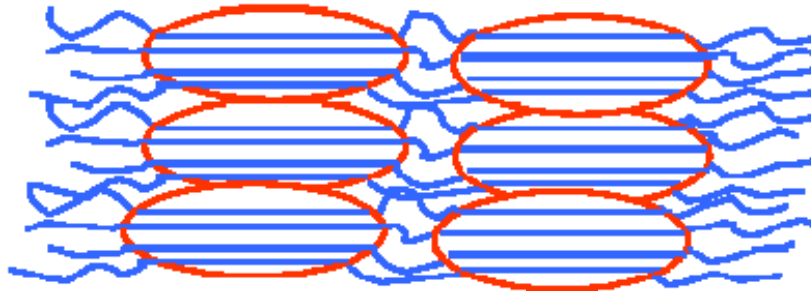


Abb. 2.5: Anordnung der Molekülketten nach dem Thermofixieren [11]

da die Makromoleküle untereinander zwischenmolekulare Bindungen knüpfen können, insbesondere Wasserstoffbrückenbindungen. Wenn eine solche Anordnung einmal erreicht ist, behalten sie die Moleküle bei.

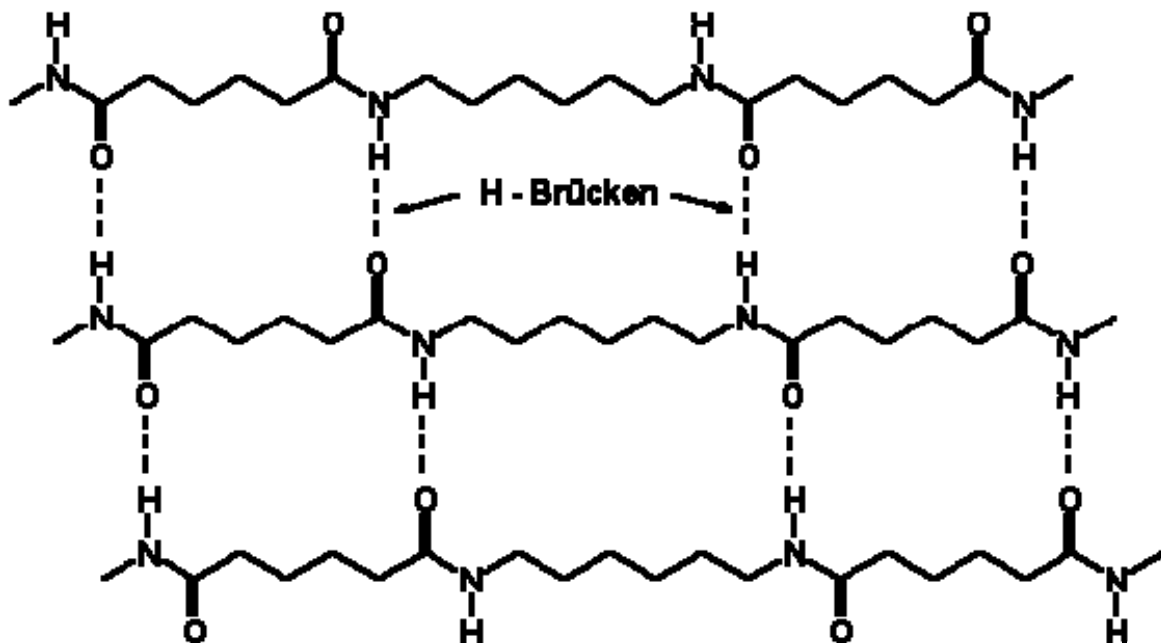


Abb. 2.6: Anordnung der Molekülketten [12]

Das Bestreben sich wieder zusammen zu ziehen und zusammen zu knäueln wird durch die starke zwischenmolekulare Anziehung überwunden.

3.0 Faktoren beim Fixieren

Die drei wichtigsten Faktoren beim Fixieren: Fixiertemperatur, Fixierspannung und Kontaktzeit werden in diesem Kapitel näher erläutert.

3.1 Fixiertemperatur

Die Siebtemperatur befindet sich bei der Thermofixierung zwischen Glaspunkt und Schmelzbereich der zu verarbeitenden teilkristallinen Thermoplaste, im zähelastischen Temperaturbereich. Hilfreich für die Einordnung ist folgendes Zustandsdiagramm teilkristalliner Thermoplaste. Die optimale Temperatur kann allerdings nicht anhand dieser Kurve festgelegt werden, sie gibt lediglich einen groben Anhaltswert.

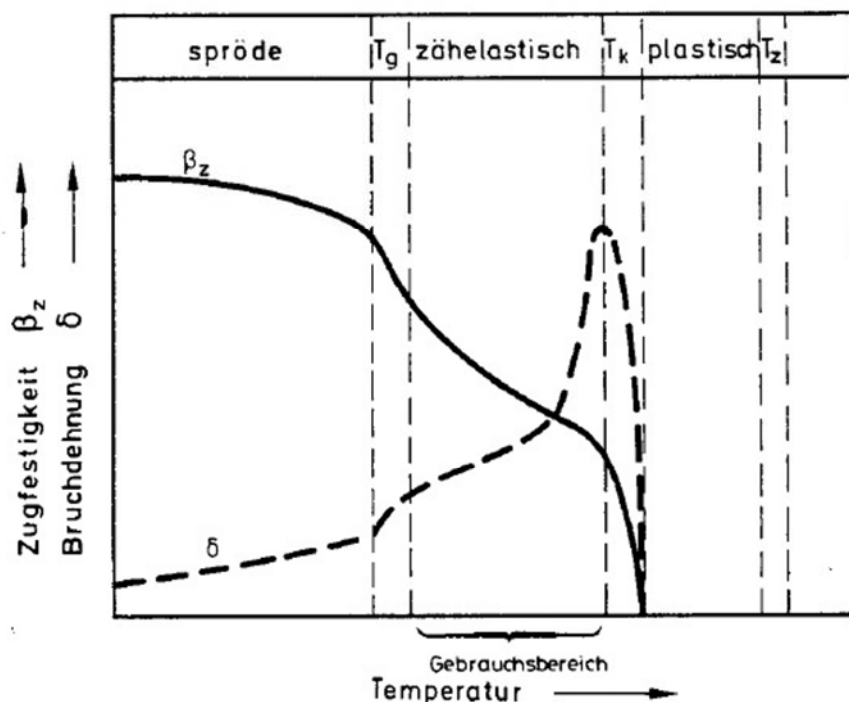


Abb. 3.1: Zustandsdiagramm teilkristalliner Thermoplasten [13]

Aus diesem Diagramm ist zu erkennen, dass im Bereich zwischen Glas- und Kristallitschmelztemperatur (T_k) die Zugfestigkeit rapide abnimmt, während die Dehnung zunimmt. Diese beiden Faktoren macht man sich bei der Thermofixierung zunutze, um den gewünschten Verfestigungszustand zu erreichen.

Die optimale Thermofixiertemperatur basiert auf Erfahrungswerten, es kann lediglich ein ungefährender Bereich angegeben werden. Dieser Bereich befindet sich oberhalb der maximalen Anwendungstemperatur für den Dauereinsatz und der maximalen Anwendungstemperatur (kurzfristig), da sich in diesem Bereich Thermoplaste beginnen zu verformen.

Thermische Eigenschaften von Thermoplasten

Material	Max. Anwendungstemperatur (Dauereinsatz)	Max. Anwendungstemperatur (kurzfristig)
PET	140°C	180°C
PPS	220°C	260°C
PEEK	240°C	300°C
PA6	130°C	200°C
PA6.6	100°C	200°C

Quelle: Kern GmbH, Technische Kunststoffteile

Auswirkungen einer abweichenden Fixiertemperatur

Eine zu hohe Fixiertemperatur kann das Gefüge des Materials beschädigen, bzw. das Spiralsieb reißt. Bei zu geringer Fixiertemperatur und gleichbleibender Spannung wirkt sich das negativ auf die Dimensionsstabilität aus. Hier kommt es nur zu einer geringen Steckdrahteinkerbung.

3.2 Fixierspannung

Das Maß der Spannung ist definiert als Kraft pro Fläche.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Wird das Spiralsieb senkrecht zur Spannrichtung geschnitten ist zu erkennen, dass die Fixierspannung nur sehr mühsam berechnet werden kann. In der Abbildung müsste jede geschnittene Fläche addiert werden. Um eine Spannung ausrechnen zu können muss, dann die aufgebrachte Fixierkraft durch diese addierten Flächen geteilt werden.

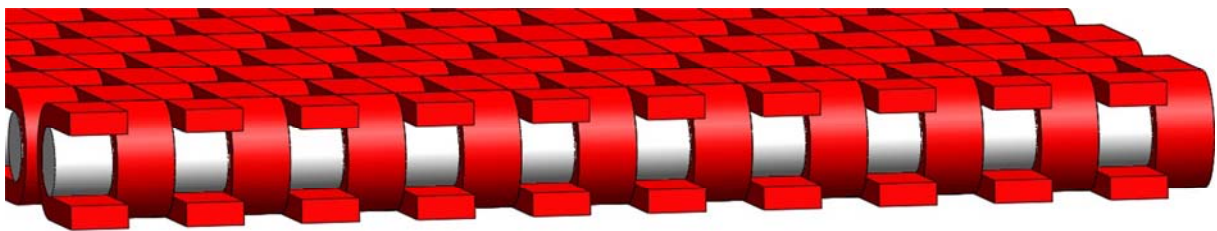


Abb. 5.2: Schnitt Spiralsieb

Aus diesem Grund wird für das Thermofixieren ein neues Maß für die Fixierspannung eingeführt. Dieses neue Maß ist folgendermaßen definiert: Thermofixierkraft dividiert durch Spiralsiebbreite. Dieses Maß wird in der weiteren Arbeit als Fixierspannung bezeichnet.

Beispiel:

Es wird ein vier Meter breites Sieb fixiert. Die Spannwalze bringt eine Kraft von 24.000N auf. Dann ergibt sich für die Fixierspannung:

$$\frac{F}{b} = \frac{24000N}{400cm} = 60 \frac{N}{cm}$$

3.3 Kontaktzeit

Ein weiteres wichtiges Maß für den Thermofixierprozess ist die Kontaktzeit zwischen dem Wärmeübertragungselement und dem Spiralsieb. Diese Kontaktzeit setzt sich aus der Geschwindigkeit des Siebes und der Länge der Heizstrecke zusammen.

$$t_K = \frac{S}{v}$$

3.4 Weitere Einflussfaktoren

Weitere Einflussfaktoren, die beim Thermofixieren eine Rolle spielen sind anhand einer Mindmap auf der folgenden Seite ersichtlich.

- Fixiertemperatur
- Fixierspannung
- Kontaktzeit
- Anzahl der Umläufe
- Kontaktfläche
- Art der Beheizung

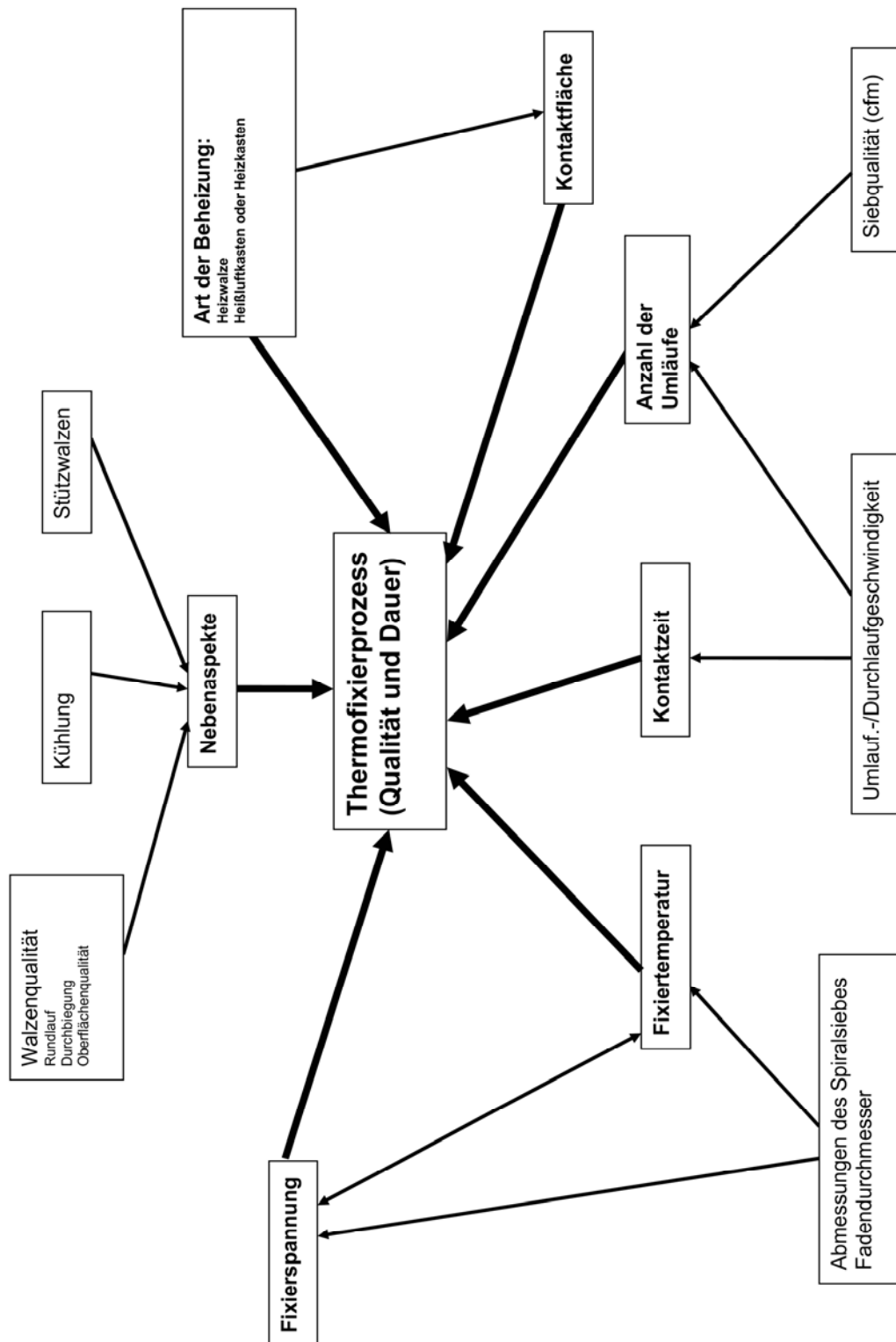


Abb. 3.3: Einflussfaktoren beim Thermofixieren

4.0 Zwei-Walzen Fixierung

4.1 Aufbau

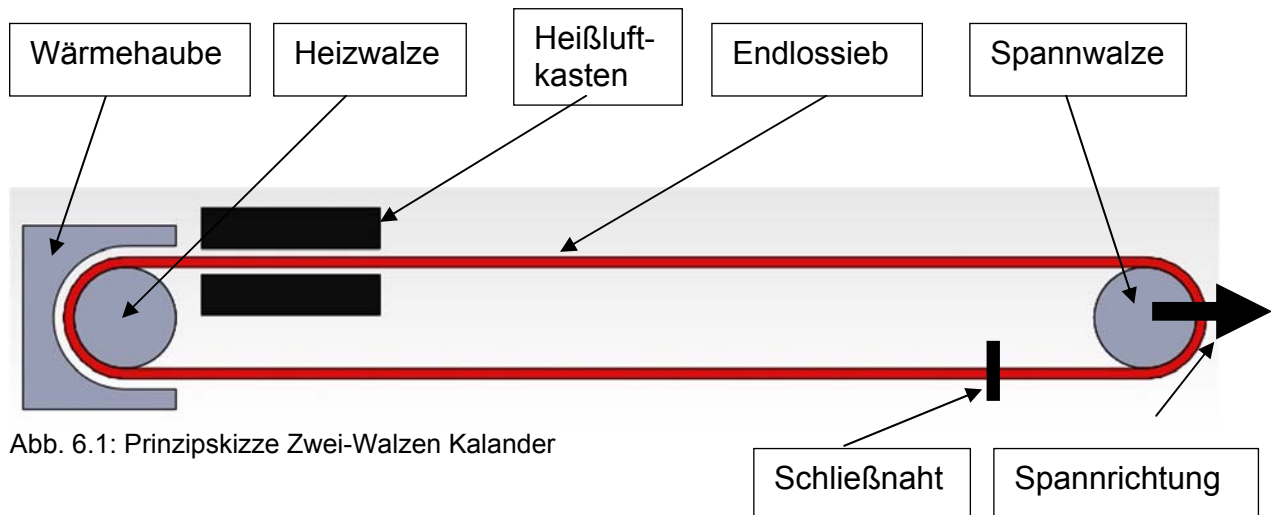


Abb. 6.1: Prinzipskizze Zwei-Walzen Kalanders

In der Prinzipskizze ist der Aufbau eines Zwei-Walzen Kalanders für Spiralsiebe abgebildet. Beim Zwei-Walzen-Fixieren handelt es sich um ein umlaufendes Thermofixierverfahren. Das Spiralsieb wird als Endlosband fixiert.

4.2 Ablauf des Thermofixierens

Einlaufvorgang

Das Sieb wird leicht auf 10N/cm vorgespannt. Danach läuft das Sieb einige Minuten mit ca. 20m/min um. In dieser Zeit wird das Sieb kontrolliert, ob es gerade verläuft. Falls notwendig muss das Sieb nachjustiert werden, um ein späteres Querlaufen zu verhindern.

Aufheiz- und Verstreckvorgang

In diesem Fixierschritt wird die Umlaufgeschwindigkeit auf 1-2m/min verringert und eine Fixierspannung von 60N/cm angelegt. Dann wird das Wärmeübertragungselement (Heizwalze, Heißluft- oder Heizkasten) auf die benötigte Temperatur (200°C) gebracht. Mit Beginn des Aufheizens wird die Wärmehaube geschlossen, um die Wärme stauen zu können und dadurch ein gleichmäßiges Durchwärmen des Spiralsiebes zu gewährleisten.

Bei einer Temperatur von ca. 140°C beginnt sich das Spiralsieb zu längen, um die Fixierspannung aufrecht zu erhalten verfährt die Spannwalze analog zur Längung des Spiralsiebes. Die Spannwalze verfährt so lange bis durch die aufgebrachte Wärme und die Fixierspannung keine Längung des Spiralsiebes mehr möglich ist.

Dieser Verstreckvorgang ist nach drei bis vier Umläufen beendet.

Entspannungsvorgang

Hier wird die Fixierspannung wieder auf 10N/cm zurückgefahren. Der Entspannungszustand dient dazu die Spannung aus dem Spiralsieb zu nehmen. Ein Entspannen des Spiralsiebes ist wichtig, um den Erhalt der Form bei hohen Temperatureinwirkungen und mechanischen Belastungen zu gewährleisten. Der Entspannvorgang dauert zwei bis drei Runden.

Abkühlvorgang

Der beschriebene Thermofixierprozess ist nach dem Entspannvorgang noch nicht beendet. Grund hierfür ist, dass die verwendete Heizwalze nur sehr langsam abkühlt. Würde das Umlaufen des Spiralsiebes gestoppt, würde dieses an der Heizwalze festkleben. Aus diesem Grund muss die Umlaufgeschwindigkeit noch einige Minuten gehalten werden bis das Spiralsieb und die Heizwalze auf ca. 60°C abgekühlt sind.

Fazit

Nach dem jetzigen Stand werden sieben bis acht Runden auf dem Zwei-Walzen Kalandrier benötigt bis das Spiralsieb thermofixiert ist. Diesen Vorgang gilt es zu optimieren, damit das Thermofixieren in möglichst kurzer Zeit passiert.

Dieser zu konzipierende Kalandrier soll es ermöglichen, den Verstreck- und Entspannvorgang auf jeweils ein bis zwei Runden zu begrenzen, sowie die Aufheiz- und Abkühlzeit auf ein Minimum reduzieren. Im folgenden Abschnitt soll nun aufgezeigt werden, welche verschiedenen Möglichkeiten es bei der Thermofixierung gibt. Diese beschriebenen Möglichkeiten sollen miteinander kombiniert werden, mit

dem Ergebnis einen Kalanders zu konzipieren, der ein zeitoptimiertes Thermofixieren ermöglicht und die Energiekosten niedrig hält.

4.3 Wärmeaufbringung

Damit ein Thermofixierprozess überhaupt stattfinden kann, muss Wärme ins Spiralsieb gebracht werden. Hier gibt es mehrere Varianten das Spiralsieb zu erwärmen, bzw. die Wärme ins Spiralsieb zu übertragen.

Definition Wärmeübertragung [14]

Wärmeübertragung ist die Übertragung von Energie in Form eines Wärmestromes. Sie erfolgt stets dort, wo Temperaturunterschiede innerhalb eines Mediums existieren oder zwischen Medien mit unterschiedlicher Temperatur. Dabei wird die Energie stets vom Medium mit der höheren Temperatur zum Medium mit der niedrigeren Temperatur übertragen. Man unterscheidet drei Mechanismen der Wärmeübertragung.

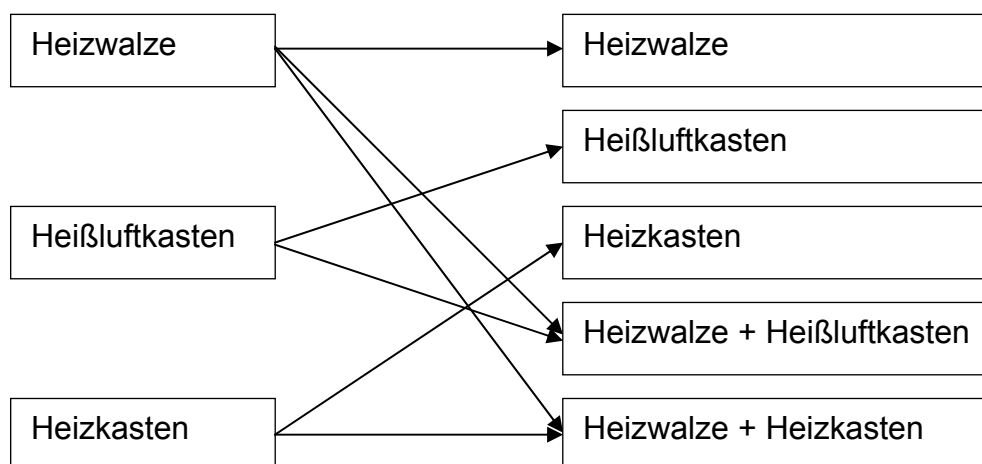
- Wärmeleitung
- Konvektion
- Strahlung

4.3.1 Varianten der Wärmeaufbringung

Für die Wärmeeinbringung in das Spiralsieb gibt es folgenden Möglichkeiten:

Einzelelemente

Varianten



Anmerkung:

Eine weitere Art der Wärmeeinbringung ist es das Spiralsieb durch die um die Heizwalze angeordnete Wärmehaube mit Heißluft anzublasen. Dies ist in jedem oben genannten Fall sinnvoll, in dem zur Wärmeaufbringung eine Heizwalze eingesetzt wird. Aus Gründen der Übersichtlichkeit fließt diese Variante nicht mit in das Schaubild hinein.

4.3.2 Heizwalze (Wärmeleitung)

Das Spiralsieb wird über die Heizwalze auf Temperatur gebracht. Diese Heizwalze wird über Thermoöl beheizt. Thermoöle dienen als Wärmeüberträger, der große Vorteil gegenüber anderen Wärmeüberträgern wie bspw. Wasser ist der wesentlich höhere Siedepunkt des Thermoöls, so dass Temperaturen von 300°C erreicht werden können. Das Prinzip, das hinter dieser Wärmeübertragung mit einer Heizwalze steckt ist die Wärmeleitung. Hier wird die Heizwalze über das Thermoöl auf die benötigte Temperatur aufgeheizt. Über den Kontakt zwischen Heizwalze und Spiralsieb wird dieses erwärmt.

Aufbau Heizwalze

Es gibt zwei Varianten diese Heizwalze auf die benötigte Temperatur zu erwärmen.

Möglichkeit 1:

Das Thermoöl wird durch in der Heizwalze verbaute elektrische Heizstäbe auf Temperatur gebracht.

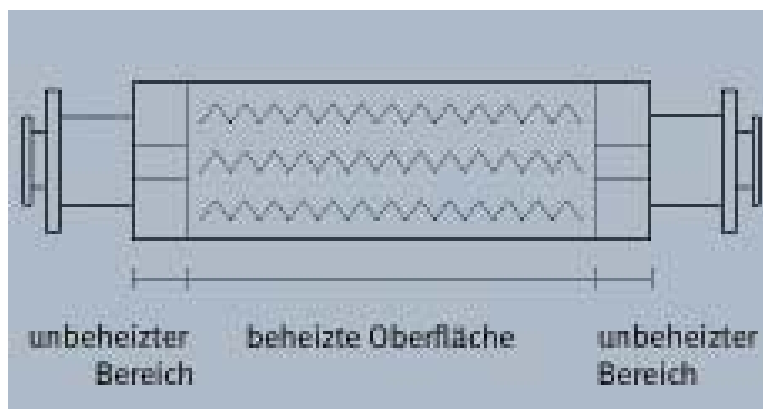


Abb. 4.2: Heizwalze mit Heizstäben [15]

Möglichkeit 2:

Die Erwärmung der Walze erfolgt über extern durchgeleitetes Thermoöl, welches außerhalb der Walze erwärmt wird.

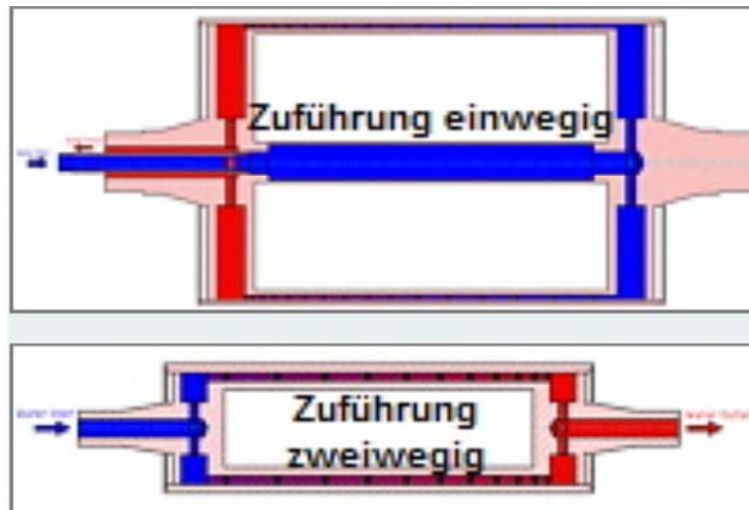


Abb. 4.3: Heizwalze mit extern durchgeleitetem Thermoöl [16]

Der Zu- und Ablauf für das Heizmedium, kann unterschiedlich angeordnet werden. Eine Variante ist es den Zu- und Ablauf auf der gleichen Walzenseite anzubringen oder wie im unteren Bildabschnitt zu erkennen ist, Zu- und Ablauf unterschiedlichen Seiten anzubringen.

Zusätzlich zur Wärmeübertragung per Heizwalze kann durch die Wärmehaube eine Heißluftbeheizung realisiert werden.

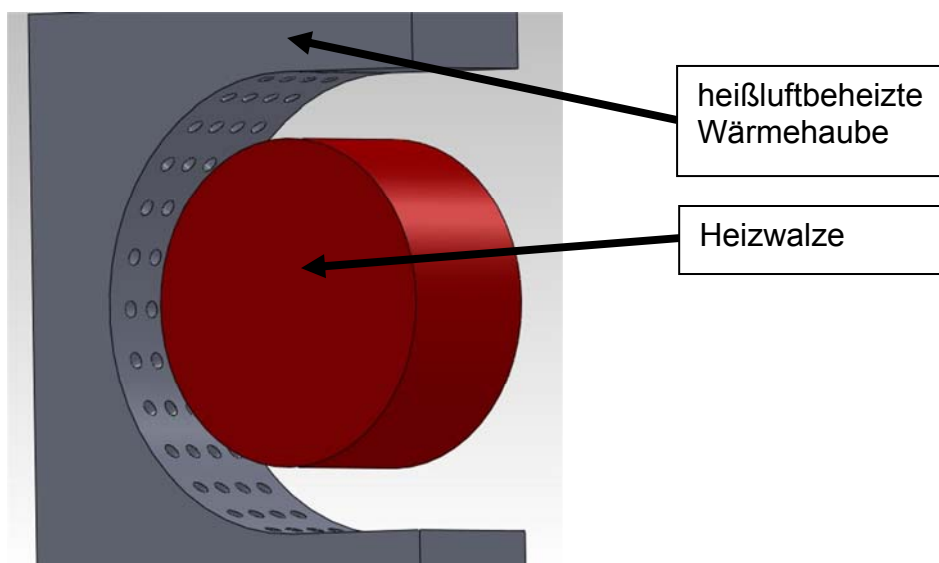


Abb. 4.4: Heizwalze plus heißluftbeheizte Wärmehaube



Abb. 4.5

2-Walzen-Kalander

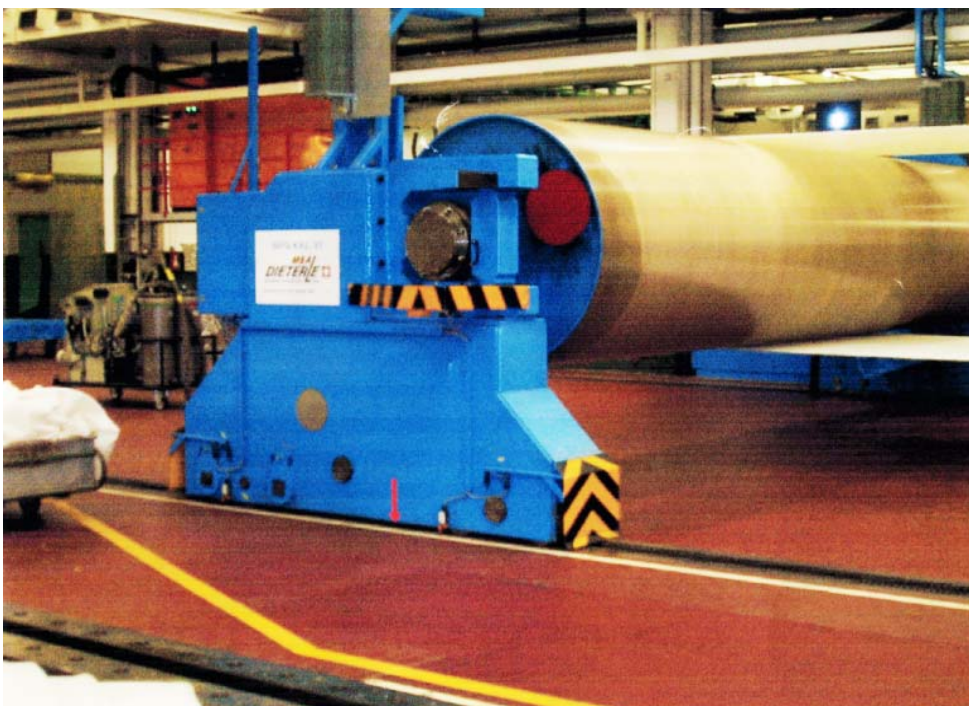


Abb. 4.6

Spannwalze



Abb. 4.7

Heizwalze mit heißluft-beheizter Wärmehaube
(Prozess-Position)



Abb. 4.8

Heißluft-beheizte Wärmehaube

Bewertung Heizwalze

Bei der Bewertung von Heizelementen spielen Faktoren wie Aufheiz-, Fixier- und Abkühlgeschwindigkeit eine entscheidende Rolle. Weiter müssen Energieverbrauch und Wärmeübertragung von Heizelement auf Spiralsieb bewertet werden.

Ein Punkt, der für den Einsatz einer Heizwalze spricht, ist die relativ große Kontaktfläche auf der das Spiralsieb aufliegt. Die Walze wird um min. 180° umschlossen. Dies ergibt bei einem Durchmesser von 1000 mm eine Heizstrecke von:

Walze 1:

$$L = D \times \pi \times \frac{x}{360^\circ} = 1000mm \times \pi \times \frac{180^\circ}{360^\circ} = 1571mm$$

Walze 2:

$$L = D \times \pi \times \frac{x}{360^\circ} = 1000mm \times \pi \times \frac{270^\circ}{360^\circ} = 2356,5mm$$

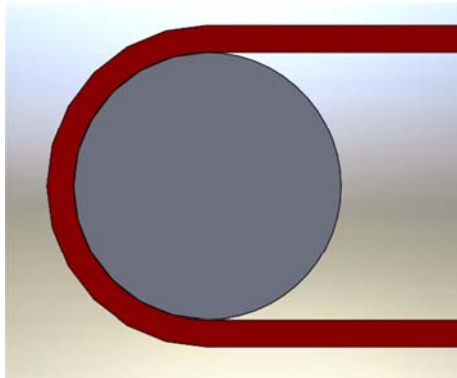


Abb. 4.9: Heizwalze 1

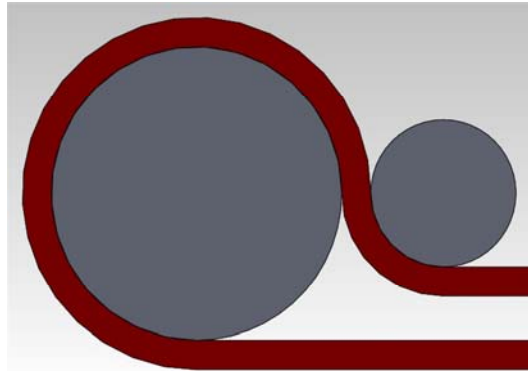


Abb. 4.10: Heizwalze 2

Bei der Verwendung einer Heizwalze ist eine möglichst große Umschlingung wichtig. Eine größere Kontaktfläche bzw. Kontaktlänge zwischen Spiralsieb und Heizwalze hat eine bessere Wärmedurchdringung des Siebes zur Folge. Durch die größere Kontaktfläche, kann die Thermofixierung mit einer größeren Umlaufgeschwindigkeit durchgeführt werden, was den Thermofixierprozess beschleunigt.

Da die Fixierzeit nicht der einzige Indikator für die Gesamtdauer des Thermofixierprozesses ist, müssen Faktoren wie Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeit der Heizwalze ebenfalls betrachtet werden.

Bei der Verwendung einer Heizwalze besteht die Problematik, dass diese nur sehr langsam aufheizt und abkühlt, was den Thermofixierprozess in die Länge zieht, da das Sieb erst abgespannt bzw. weiterverarbeitet werden kann, wenn die Walze abgekühlt ist. Ein weiterer Aspekt, der gegen eine Heizwalze spricht ist der relativ hohe Energieverbrauch.

4.3.3 Heißluftkasten

Weiter gibt es die Möglichkeit einen Heißluftkasten zu verwenden, hier wird das Spiralsieb durch ein Gebläse von der Ober- und Unterseite des Heißluftkastens mit heißer Luft angeblasen.

Der Wärmetransport erfolgt über Konvektion, Konvektion ist der Transport von Wärmeenergie, der an die Strömung eines Mediums gebunden ist. Dabei kann die Strömung von äußeren Kräften, zum Beispiel von Pumpen, Gebläsen und ähnlichem erzwungen sein(erzwungene Konvektion).

Die Luft wird außerhalb des Heißluftkastens erwärmt und dann über eine Leitung zum Heißluftkasten befördert, wo es auf das Sieb geblasen wird.

Mit Ausnahme der Ein- und Ausgangsöffnung für das Spiralsieb ist dieser Kasten komplett schließbar zu gestalten. Sinnvoll ist es diesen Kasten mit mehreren Austrittslöchern für die Heißluft zu versehen, so kann dann Sieb gleichmäßiger oder wenn es erwünscht ist, unterschiedlich erwärmt werden.

Die Lufterhitzung kann elektrisch erfolgen, hier wird die Luft im Vorfeld des Heißluftkastens mit elektrischen Heizstäben erhitzt und dann auf das Sieb geblasen. Eine andere Möglichkeit ist es die Luft über einen Wärmetauscher zu erhitzen, welcher durch ein Flüssigmedium wie bspw. Thermoöl beheizt wird.

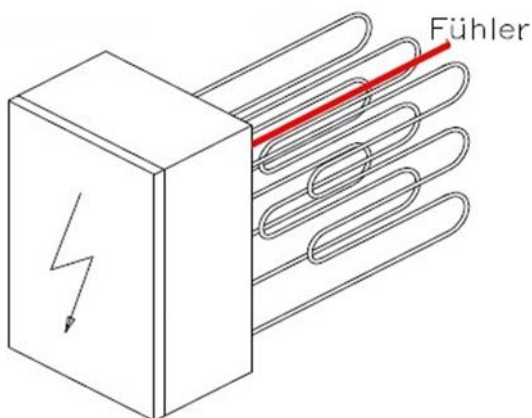


Abb. 4.11: Elektrischer Lufterhitzer [17]

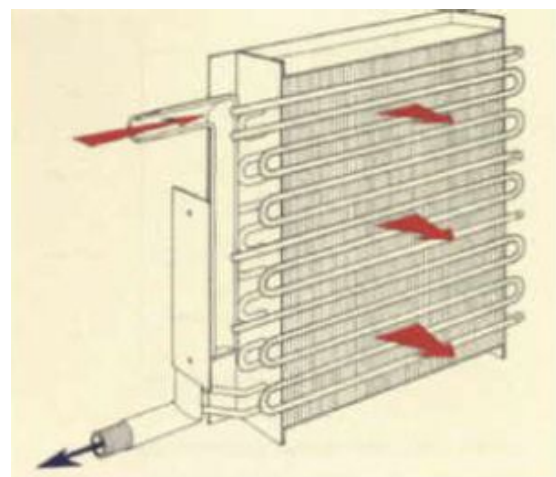


Abb. 4.12: Wärmetauscher [18]

4.3.4 Heizkasten mit Infrarotstrahlern

Statt des Heißluftkastens kann auch ein Heizkasten, in dem Infrarotstrahler angebracht sind, verwendet werden. Bei Infrarotstrahlern erfolgt der Wärmetransport über elektromagnetische Wellen. Im Gegensatz zu Wärmeleitung und Wärmeströmung ist hier der Wärmetransport nicht mit einem Stofftransport verbunden, was eine direkte Erwärmung des Spiralsiebes ermöglicht.

Von diesen Infrarotstrahlern gibt es verschiedene Ausführungen, die beiden meist verwendeten Strahler sind Quarz- und Keramikstrahler. Es ist zu unterscheiden zwischen lang-, mittel- und kurzwelligem Infrarotlicht.

Kurzwelliges Infrarotlicht 1,4 bis 3,0 μm

Mittelwelliges Infrarotlicht 3,0 bis 8 μm

Langwelliges Infrarotlicht 8 bis 15 μm

Kunststoffe weisen die besten Absorptionseigenschaften bei einer Wellenlänge, welche im Bereich um 3,5 μm liegt, auf.

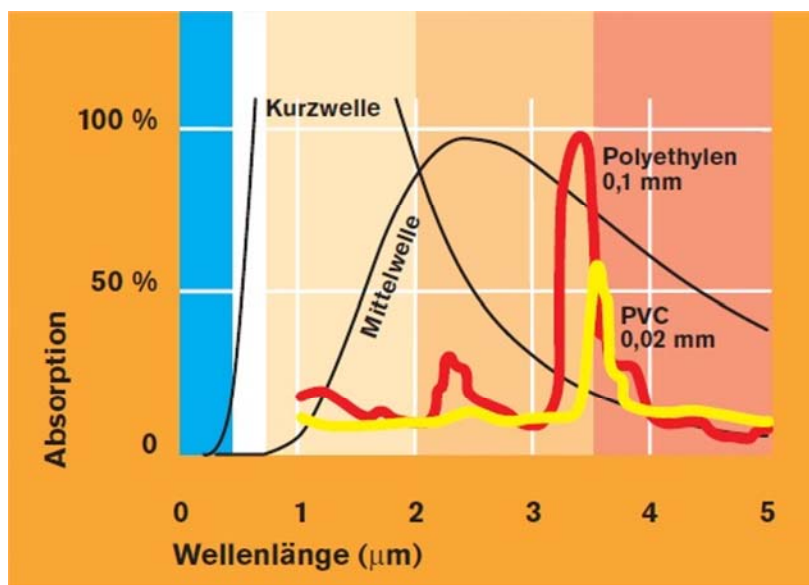


Abb. 4.13: Absorption Kunststoff [19]

Für die Erwärmung von Kunststoff sind insbesondere Keramikstrahler geeignet, da diese ein Strahlungsspektrum von 2 bis 10µm besitzen.

Beim Einsatz von Infrarotstrahlern ist es aufgrund der Energieeffizienz wichtig vollisolierte Geräte zu verwenden. Die Isolation bewirkt, dass der Wärmeübergang zur Reflektorausseite sehr gering ist. Es entsteht im Strahler ein Heißluftpolster, die Reflektoren werden heiß und strahlen ihrerseits Wärme ab. Diesen Effekt nennt man Kombistrahlung.

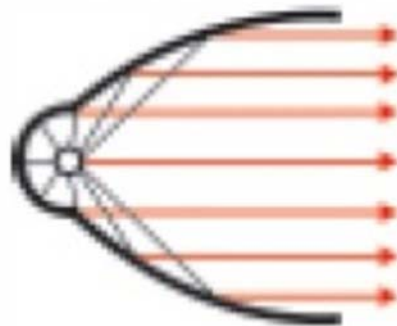


Abb. 4.14: Reflektorgehäuse [20]

Diese Heizstrahler können auf beiden Seiten des Spiralsiebes angebracht werden. Die Alternative ist es nur eine Seite des Heizkastens mit Heizstrahlern zu versehen und dafür auf der anderen Seite ein Reflektorblech zu verwenden. Die vom Heizstrahler entsendete Strahlung wird an diesem Reflektorblech definiert zurückgeworfen. Letztendlich muss in der Konstruktionsphase abgewägt werden, ob es möglich ist auf die Heizstrahler der gegenüberliegenden Seite des Siebes zu verzichten und dafür ein Reflektorblech anzubringen. Vom energietechnischen Gesichtspunkt wäre dies eine ideale Lösung.

4.3.5 Kombination

Nachdem alle drei Möglichkeiten das Spiralsieb zu erhitzen im vorigen Abschnitt detailliert beschrieben wurden, werden in diesem Abschnitt kurz die Kombinationsmöglichkeiten aufgezeigt. Hier muss abgewägt werden, wie sich die kürzere Fixierzeit und die Variationsmöglichkeiten beim Durchwärmen des Spiralsiebes im Vergleich zum hohen Energieverbrauch und dem Mehraufwand bei der Fertigung rechnen.

Kombinationsmöglichkeiten:

- Heizwalze + Heißluftkasten
- Heizwalze + Heizkasten

Bei Kombinationen zwischen Heizwalze und Heißluft- oder Heizkasten dienen die Kästen zum Vorwärmen des Spiralsiebes, damit dieses auf der Heizwalze besser durchwärmt werden kann und der Thermofixierprozess in einer kürzeren Zeit stattfinden kann.

4.3.6 Umhausung

Die Umhausungen der Wärmeübertragungselemente sind notwendig, damit die erzeugte Wärme in dieser Umhausung gespeichert bzw. gestaut wird und möglichst wenig an die Umwelt abgegeben wird. Dies bringt mehrere Vorteile mit sich:

1. Es wird durch die Wärmeisolation Energie eingespart.
2. Dadurch dass die Temperatur unter der Wärmeisolation ungefähr gleich ist, kommt es zu einer gleichmäßigen Durchwärmung des Spiralsiebes, was dem Thermofixierprozess zu Gute kommt.

Je nach dem welche Wärmeübertragungsvariante beim Zwei-Walzen-Kalender verwendet wird, muss eine spezifische Umhausung gewählt werden.

Erfolgt die Erwärmung über eine Heizwalze, muss eine Wärmehaube angebracht werden, welche das Gegenstück zur Walze bildet, wodurch die Wärme optimal gespeichert werden kann.



Abb. 4.15: Wärmehaube



Abb. 4.16: Heißluftkasten

Bei der Erwärmung des Siebes durch einen Heißluftkasten oder Heizkasten muss der komplette beheizte Bereich an allen Seiten umschlossen sein, es dürfen nur noch Öffnungen an Sieb-Ein- und Sieb-Austrittsstelle vorhanden sein.

Es ist wichtig sowohl Heißluftkastenoberteil und -unterteil, als auch die Wärmehaube verstellbar zu gestalten um eine präzisere Heizeinstellung zu erreichen. Diese Verstellbarkeit dient auch dazu, die Wärme, die sich zwischen Heißluftkasten befindet nach dem Thermofixieren möglichst schnell an die Umwelt abzugeben, damit das Spiralsieb rasch abgekühlt werden kann.

4.3.7 Bewertung und Gegenüberstellung der einzelnen Varianten

In dieser Matrix werden die einzelnen Faktoren der Wärmeübertragung gegenüber gestellt und deren Wichtigkeit miteinander verglichen.

Gewichtspunkte	1.	2.	3.	4.	5.	6.	
1. Energiebedarf	-	1	2	2	2	2	9
2. Fixiergeschwindigkeit	1	-	2	2	2	2	9
3. Aufheizzeit	0	0	-	2	1	0	3
4. Abkühlzeit	0	0	0	-	1	0	1
5. Wärmedurchdringung	0	0	1	1	-	0	2
6. Einfachheit	0	0	2	2	2	-	6

In dieser Matrix wird bestimmt, wie die oben gewichteten Faktoren von den einzelnen Heizvarianten erfüllt werden.

	Heizwalze	Heißluftkasten	Heizstrahler	Kombination
Energiebedarf	0	+	++	--
Fixiergeschwindigkeit	+	-	+	++
Aufheizzeit	-	+	++	--
Abkühlzeit	-	++	++	--
Wärmedurchdringung	+	0	0	++
Einfachheit	0	0	++	--

Erklärung:

++ = 2 Punkte

+ = 1 Punkt

0 = 0 Punkte

- = -1 Punkte

-- = -2 Punkte

Begründung der Bewertung

Heizwalze

Energiebedarf:	Der Energiebedarf der Heizwalze wird höher eingeschätzt als der von Heißluft- und Heizkasten.
Fixiergeschwindigkeit:	Gute Fixiergeschwindigkeit, da durch die Wärmeleitung (Heizwalze) das Sieb gut durchwärmt wird.
Aufheizzeit:	Das Thermoöl muss erwärmt werden, dies dauert bis zu 20 Minuten.
Abkühlzeit:	Langsame Abkühlung
Wärmedurchdringung:	Gut (Wärmeleitung)
Einfachheit:	Thermoöl kann durch elektrische Heizstäbe oder extern erwärmt werden.

Heißluftkasten

Energiebedarf:	Der Energiebedarf wird ähnlich eingeschätzt, wie der von Heizstrahlern.
Fixiergeschwindigkeit:	Die Fixiergeschwindigkeit ist aufgrund der schlechten Durchwärmung des Siebes nur mäßig.
Aufheizzeit:	Die Luft ist nach kurzer Zeit aufgeheizt.
Abkühlzeit:	Nachdem Heißluftkastenober- und -unterteil auseinandergefahren werden, wird die Wärme rasch an die Umwelt abgegeben.
Wärmedurchdringung:	Ist bei Konvektion nicht so gut wie bei Wärmeleitung (Heizwalze).
Einfachheit:	Die Luft muss erhitzt werden, des Weiteren wird ein Gebläse benötigt.

Heizkasten mit Infrarotstrahlern

Energiebedarf:	Strahler weisen im Gegensatz zu anderen Heizelementen eine hohe Effektivität auf.
Fixiergeschwindigkeit:	Da das Spiralsieb durch die Strahler gut durchwärmt wird kann eine hohe Fixiergeschwindigkeit realisiert werden.
Aufheizzeit:	Die Strahlung steht unmittelbar nach dem Einschalten zur Verfügung.
Abkühlzeit:	Nachdem Heizkastenober- und -unterteil auseinandergefahren werden, wird die Wärme rasch an die Umwelt abgegeben.
Wärmedurchdringung:	Versuche haben gezeigt, dass die Durchwärmung von ungefüllten Sieben mit Heizstrahlern schwierig ist.
Einfachheit:	Sehr einfach, Heizstrahler besitzen nur einen Stromanschluss.

Kombination aus

Heizwalze und Heißluftkasten oder

Heizwalze und Heizkasten mit Infrarotstrahlern

Energiebedarf:	Der Energiebedarf wurde als schlecht bewertet, da zwei Wärmeübertragungselemente verwendet werden, welche deutlich mehr Energie verbrauchen als eines.
Fixiergeschwindigkeit:	Wurde mit sehr gut bewertet, da das Sieb durch die Verwendung zweier Wärmeübertragungselemente gut durchwärmt wird, was es ermöglicht eine höhere Fixiergeschwindigkeit zu fahren.
Aufheizzeit:	Es kann erst mit dem Thermofixieren begonnen werden, wenn die Heizwalze aufgeheizt ist, zusätzlich muss noch Heißluft- oder Heizkasten aufgeheizt werden.

Abkühlzeit:	Da eine Heizwalze verwendet wird, vergeht einige Zeit bis diese abgekühlt ist und das Sieb abgespannt werden kann.
Wärmedurchdringung:	Durch die Verwendung von Heizwalze und Heißluft- oder Heizkasten wird das Spiralsieb gut durchwärmt.
Einfachheit:	Dadurch dass mehrere Heizelemente verwendet werden, wird der Aufbau des Kalenders komplexer.

4.3.8 Auswertung

Heizwalze: $9x(0)+9x(1)+3x(-1) + 1x(-1)+2x(1)+6x(0)= +7$

Heißluftkasten: $9x(1)+9x(-1)+3x(1)+1x(2)+2x(0)+6x(0)= +5$

Heizstrahler: $9x(2)+9x(1)+3x(2) + 1x(2)+2x(0)+6x(2)= +47$

Kombination: $9x(-2)+9x(2)+3x(-2) + 1x(-2)+2x(2)+6x(-2)= -16$

Erläuterung

Die vor der Klammer stehenden Bewertungspunkte ergeben sich aus der rechten Spalte der oberen Matrix. Die in der Klammer stehenden Bewertungspunkte ergeben sich aus den einzelnen Elementen der unteren Matrix.

Fazit

Wie aus der Bewertung ersichtlich ist, sind die beiden ausschlaggebenden Faktoren für den Thermofixierprozess die Fixiergeschwindigkeit und der Energiebedarf. Das Ergebnis der Auswertung ist, dass die Verwendung eines Heizkastens mit Infrarotstrahlern für die Thermofixierung auf dem Zwei-Walzen Kalanders am besten geeignet ist. Ein Heißluftkasten ist aufgrund der mäßigen Durchwärmung, was die Fixiergeschwindigkeit verlangsamt eher zum Vorwärmen des Spiralsiebes geeignet. Eine Heizwalze stellt sich aufgrund langen Aufheiz- und Abkühlzeit als ungeeignet dar. Eine Kombination aus Heizwalze mit Heißluft- oder Heizkasten ist aufgrund des hohen Energiebedarfs unrentabel.

4.4 Kühlung

Ein Abkühlen ist beim Thermofixierprozess wichtig, da das Sieb durch die Wärmebehandlung unter Verstreckung eine Veränderung im Siebaufbau mit sich bringt. Durch die Abkühlung unter die Glastemperatur wird dieser gestreckte und gleichgerichtete Zustand der Makromoleküle "eingefroren".

Genau wie bei der Durchwärmung des Spiralsiebes gibt es verschiedene Arten dieses zu kühlen. Im Bereich Spiralsiebkühlung spielen Konvektion (Umgebungsluftkühlung oder durch Gebläse) und Wärmeleitung in Form einer Kühlwalze eine Rolle.

Eine Möglichkeit die Kühlung des Siebes zu realisieren ist die Verwendung einer Kühlwalze. Dies ist sinnvoll, wenn die Beheizung des Siebes über einen Heißluft- oder einen Heizkasten geschieht. Hier kann die feste Walze zur Kühlung des Siebes eingesetzt werden. Ziel muss es sein eine möglichst große Umschlingung der Kühlwalze zu realisieren, damit das Sieb möglichst schnell herunter gekühlt wird.

Eine weitere Möglichkeit ist es das Spiralsieb durch Konvektion zu kühlen. Diese Art der Kühlung kann "natürlich" durch die Umgebungsluft passieren oder das Sieb wird zusätzlich mit kalter Luft angeblasen. Falls eine zusätzliche Abkühlung durch Kaltluft vorgesehen ist sollte (wie auch bei der Verwendung einer Kühlwalze), diese direkt nach dem Wärmeelement angebracht werden, da es hier die größte Auswirkung auf das Abkühlen des Siebes hat.

4.5 Aufbringen der Spannung

Für den Thermofixierprozess ist die Spannungsaufbringung genau so wichtig wie die Durchwärmung der Spiralsiebe. Das Verstrecken des Siebes erfolgt über die Spannwalze. Das Spiralsieb wird durch das Verstellen der Walze, weg von der Heizwalze, gespannt. Um den gewünschten Spannungszustand aufrecht zu erhalten muss diese Walze, sich auch während des Thermofixierprozesses verstellen.

4.5.1 Spannungsaufbau über eine definierte Kraft

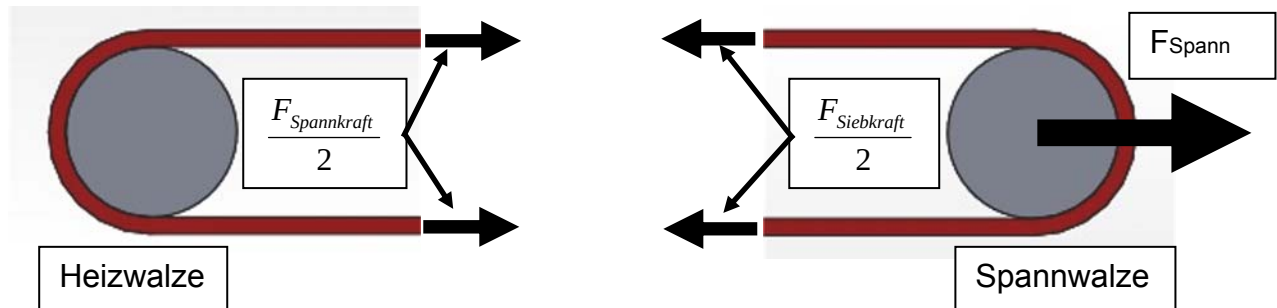


Abb. 4.17: Spannungsaufbau

In dieser Skizze ist der Spannprozess des Zwei-Walzen Kalenders abgebildet. Das Spiralsieb wird mit einer definierten Kraft, welche über die Siebbreite ausgelegt wird, gespannt. Durch die Erwärmung und die aufgebrachte Kraft längt sich das Spiralsieb. Die Spannwalze verfährt analog zur Längung des Spiralsiebes, bis dieses sich bei der angelegten Fixierspannung und -temperatur nicht mehr längt und der in der Skizze abgebildete Zustand dauerhaft erreicht ist.

Siebkraft = Spannkraft

Anmerkung:

Reibungs- und sonstige Kraftverluste werden vernachlässigt. Die Aktionskraft wird Spannkraft bezeichnet und die Reaktionskraft wird Siebkraft bezeichnet.

4.5.2 Umsetzung

Bei den üblichen Zwei-Walzen Kalandern erfolgt das Verstrecken der Spiralsiebe über einen Spannwagen, der beispielsweise wie in der Abbildung aussieht.

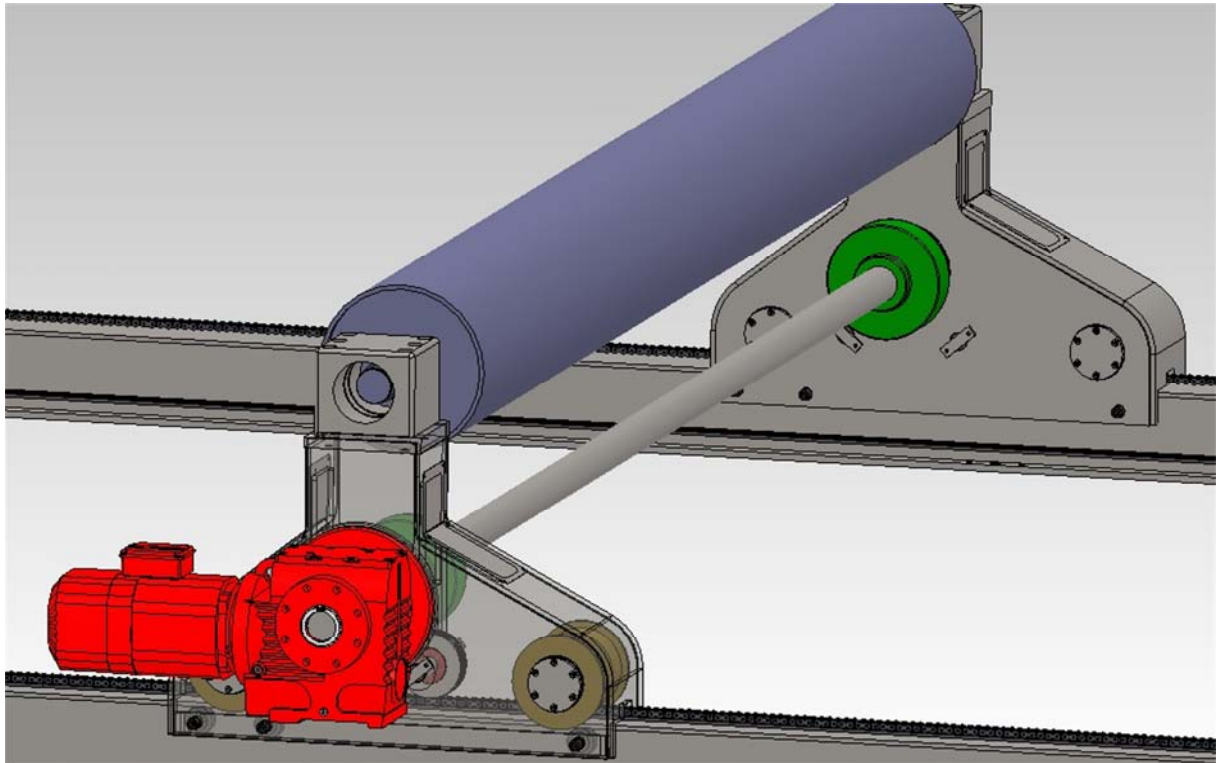


Abb. 4.18: Umsetzung

4.6 Fazit

In diesem Kapitel wurde als erstes das Prinzip des Zwei-Walzen Fixierens aufgezeigt. Des Weiteren wurden die einzelnen Elemente des Zwei-Walzen Kalanders exakt beschrieben und verschiedene Variationsmöglichkeiten gegenübergestellt, so dass in der späteren Konzipierung gut auf diese Möglichkeiten zurückgegriffen werden kann, was die Auswahl der einzelnen Elemente erleichtert.

Auf dem Zwei-Walzen Kalanders können sämtliche Siebqualitäten hergestellt werden, allerdings erfordert das Fixieren nach dem heutigen Stand einen hohen Zeit- und Energieaufwand. Der Verstreck- und Entspannvorgang dauert jeweils zwei bis vier Runden. Neben Verstreck- und Entspannvorgang gibt es bei Aufheiz- und Abkühlvorgang die größten Optimierungs- und Einsparmöglichkeiten.

Ziel ist es Entspann- und Verstreckvorgang auf jeweils ein bis zwei Runden zu reduzieren, sowie die Aufheiz- und Abkühlzeiten weitestmöglich zu verringern. So dass am Ende das Ergebnis heraus kommt, dass Fixierdauer und Energiebedarf gegenüber heutigen Verfahren reduziert werden kann.

5.0 Durchlaufkalanders

5.1 Aufbau

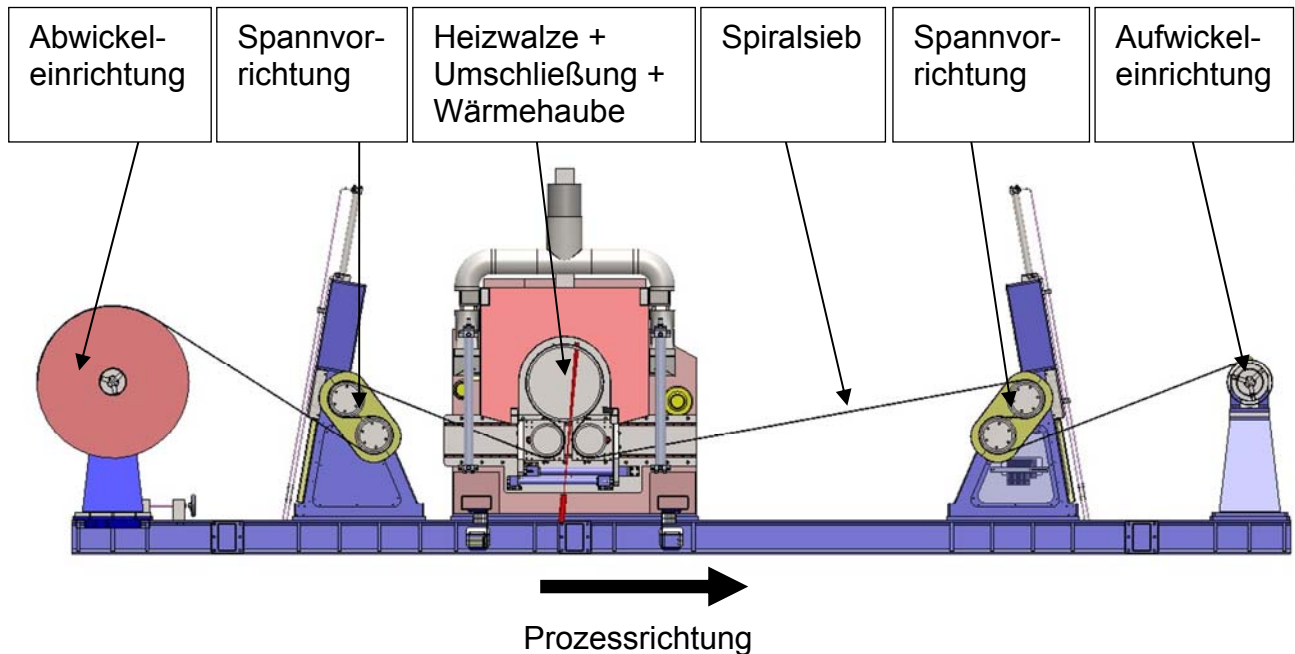


Abb. 5.1: Durchlaufkalanders

Eine weitere Methode Spiralsiebe zu thermofixieren ist der Durchlaufkalanders, dieses Thermofixierprinzip wird anhand eines in der Firma Dieterle stehenden Kalanders näher erläutert. Im Gegensatz zum Zwei-Walzen Kalanders handelt es sich beim Thermofixieren auf einem Durchlaufkalanders nicht um ein umlaufendes Verfahren in dem ein Endlossieb fixiert wird. Es handelt sich um ein durchlaufendes Verfahren in dem ein auf eine Rolle gewickeltes Sieb fixiert wird.

Der abgebildete Durchlaufkalanders besteht aus einer Abwickel- und einer Aufwickleinrichtung, zwei Spannvorrichtungen und in der Mitte einer Heizwalze mit Wärmehaube.

5.2 Ablauf des Fixierens

Siebvorbereitung und Erwärmung der Heizwalze

Bedingt durch den Aufbau eines Durchlaufkalenders können Anfangs- und Endstück des durchlaufenden Bandes nicht fixiert werden. Aus diesem Grund wird an Siebanfang und -ende ein Vor- bzw. Nachläufer aus temperaturbeständigem Material angebracht. Nachdem das Spiralsieb (mit Vor- und Nachläufer) auf eine Rohsiebrolle gewickelt wurde, wird diese in die Abwickleinrichtung eingelegt.

Vor oder parallel zur Siebvorbereitung kann die Heizwalze auf die benötigte Temperatur erwärmt werden. Im Gegensatz zum Zwei-Walzen Kalandrier wird beim Durchlaufkalandrier die Heizwalze schon bevor sich das Spiralsieb auf dem Kalandrier befindet aufgeheizt. Das hat den Vorteil, dass die Aufheizzeit der Walze nicht so stark in die Fixierzeit einfließt.

Erster Durchlauf

Nachdem der Vorläufer des Siebes zur Aufwickleinrichtung geführt wurde, kann mit der Thermofixierung begonnen werden.

Durch das Aufbringen zweier unterschiedlich großer Drehmomente an den beiden Spannvorrichtungen wird das Spiralsieb mit 60 N/cm (abhängig von Spiralsiebqualität) gespannt. Das Sieb durchläuft den Kalandrier mit einer definierten Geschwindigkeit. Das Sieb ist thermofixiert, sobald es den Kalandrier durchlaufen hat und sich auf der Aufwickleinrichtung befindet.

Dieser erste Fixierdurchlauf des Siebes von der Abwickel- zur Aufwickleinrichtung hat dieselbe Funktion wie der Verstreckvorgang beim Zwei-Walzen Fixieren. Es kommt zu einer Verstreckung des Spiralsiebes.

Bei Spiralsieben, die für die Kaltanwendung vorgesehen sind, ist die Thermofixierung nach diesem Durchlauf beendet. Für Spiralsiebe, die im Warmbereich zum Einsatz kommen, ist noch ein zweiter Fixierdurchlauf notwendig.

Zurücklassen

Bei diesem zweiten Durchlauf (von Aufwickel- zu Abwickeleinrichtung), das sogenannte Zurücklassen wird das Spiralsieb unter geringerer Spannung nochmals fixiert. Dieses Zurücklassen hat die gleiche Funktion wie der Entspannvorgang beim Zwei-Walzen Fixieren, es wird die Spannung aus dem Sieb genommen. Ein Entspannen des Spiralsiebes ist wichtig, um den Erhalt der Form bei hohen Temperatureinwirkungen und mechanischen Belastungen zu gewährleisten.

5.3 Heizwalze und Wärmehaube

Die Durchwärmung des Spiralsiebes erfolgt beim beschriebenen Durchlaufkalanders über eine Heizwalze, welche über Thermoöl beheizt wird. Dieses Thermoöl wird durch elektrische Heizstäbe im Innern der Walze auf Temperatur gebracht.

Um eine optimale und gleichmäßige Wärmedurchdringung des Spiralsiebes zu erhalten, wird die Heizwalze von einer vertikal verfahrbaren Wärmehaube an drei Seiten umschlossen.

5.4 Heizwalzengröße und Kontaktfläche

Ein weiterer wichtiger Faktor für die Thermofixierung ist die möglichst große Kontaktfläche des Siebes mit der Heizwalze. Diese möglichst große Kontaktfläche kann wie in der Abbildung Durchlaufkalander mit Umlenkwalzen realisiert werden. Eine größere Kontaktfläche bedeutet bei gleich großer Durchlaufgeschwindigkeit eine längere Kontaktzeit. Ein Wert für die Mindestkontaktzeit ist 1,5 Minuten.

Ohne die Verwendung von Umlenkwalzen würde das Sieb die Heizwalze nur ca. 60° umschließen. Durch die Verwendung von zwei Umlenkwalzen wie im abgebildeten Durchlaufkalander umschließt das Spiralsieb die Heizwalze 320°. Dies ergibt in den einzelnen Fällen eine Kontaktlänge von:

Anmerkung: Walzendurchmesser = 500mm

$$L = d \times \pi \times \frac{x}{360^\circ}$$

60° Umschlingung

$$L = 500mm \times \pi \times \frac{60^\circ}{360^\circ} = 262mm$$

320° Umschlingung

$$L = 500 \times \pi \times \frac{320^\circ}{360^\circ} = 1396mm$$

Kontaktlängenverhältnis:

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{1396mm}{262mm} = 5,3$$

Ergebnis

Durch die Verwendung von zwei Umlenkwalzen wird eine fünf Mal höhere Kontaktlänge erreicht. Theoretisch kann dadurch, bei gleicher Heiztemperatur, eine fünf Mal höhere Durchlaufgeschwindigkeit realisiert werden.

Walzenvergleich

Bei dem beschriebenen Durchlaufkalanders wird die Heizwalze vertikal umwickelt. Im Gegensatz zu anderen Kalandern, bei denen die Heizwalze horizontal umwickelt wird kann durch den Einsatz von Umlenkwalzen bei der vertikalen Umwicklung ein größerer Umschließungswinkel realisiert werden.



Abb. 5.2: Horizontale Umwicklung

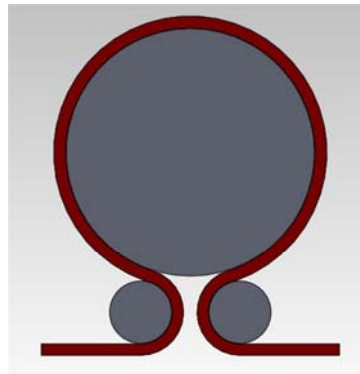


Abb. 5.3: Vertikale Umwicklung

5.5 Siebspannung

Anders als bei der Zwei-Walzen Fixierung kommt die Siebspannung nicht durch das Verfahren einer Walze zustande, sondern durch das Aufbringen zweier unterschiedlich großer Drehmomente zwischen den Walzen beider Spannvorrichtungen.

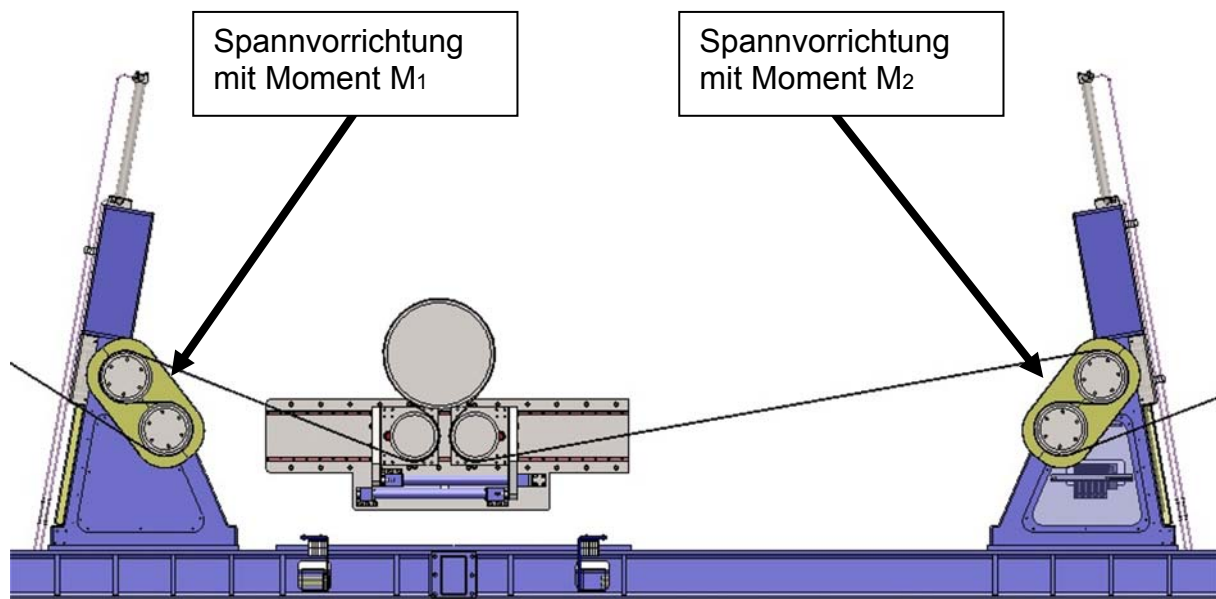


Abb. 7.4: Spannvorgang [26]

Berechnung der Fixierspannung

$$M = \frac{P \times 9550}{n}$$

Das Drehmoment kann über den Radius der Walzen auf eine Kraft umgerechnet werden.

$$F_1 = \frac{M_1}{r} \quad \text{und} \quad F_2 = \frac{M_2}{r}$$

Die Differenz beider Kräfte ist die Siebspannkraft mit der das Sieb gestreckt wird.

Fixierkraft: $F = F_2 - F_1$

Über die Breite des Siebes kann aus dieser Kraft, die Fixierspannung des Siebes berechnet werden.

Fixierspannung: $Fix_{Spann} = \frac{F}{b}$

5.6 Drehzahleinstellung der Auf- und Abwickeleinrichtung

Für die Auf- und Abwickeleinrichtung ist zu beachten, dass beide mit der gleichen Wickelgeschwindigkeit betrieben werden müssen. Da sich jedoch die Wickelgeschwindigkeit mit zu- bzw. abnehmender Aufwicklung verändert, müssen die Drehzahlen der beiden Einrichtungen variabel einstellbar sein und sich während des Thermofixiervorgangs automatisch verändern.

$$n = \frac{v \times 60}{\pi \times d}$$

5.7 Fazit

Beim Durchlaufkalander ist es möglich das Sieb in einem Durchlauf zu thermofixieren. Allerdings sind die in einem Durchlauf erreichbaren Luftdurchlässigkeiten, nicht so gut wie beim Zwei-Walzen Fixieren.

Diese Aussage relativiert sich allerdings, wenn betrachtet wird, dass es möglich ist das Sieb zurückzulassen. Unter Zurücklassen versteht man das Sieb ein zweites Mal unter geringerer Spannung zu fixieren, so dass die Spannung aus dem Sieb genommen wird und ähnlich gute Spiralsiebqualitäten wie auf dem Zwei-Walzen Kalandrier gefertigt werden können.

Ein weiterer Vorteil, der das Durchlauffixieren gegenüber dem Zwei-Walzen Fixieren aufweist ist, dass die Aufheizzeit der Walze nicht so stark in die Fixierzeit einfließt, da die Heizwalze schon vor bzw. parallel zur Siebvorbereitung erwärmt werden kann. Des Weiteren spielt eine Abkühlzeit der Heizwalze keine Rolle, da das Spiralsieb sofort nachdem es den Kalandrier durchlaufen hat abgespannt werden kann.

Beim Thermofixieren von mehreren Spiralsieben muss die Heizwalze nicht abgekühlt und neu aufgeheizt werden. Die Heiztemperatur kann gehalten werden und das nächste Spiralsieb kann thermofixiert werden.

Nun gilt es beide Verfahren einander gegenüber zu stellen und Möglichkeiten zu finden, diese beiden Verfahren zu kombinieren. Um einen Kalandrier zu entwickeln, der es ermöglicht sämtliche Spiralsiebe von 90 bis 1200cfm herzustellen und gleichzeitig die Vorteile beider Fixierverfahren miteinander vereint.

6.0 Gegenüberstellung beider Verfahren

6.1 Qualität

Die Qualität des Spiralsiebes wird anhand der Luftdurchlässigkeit (90-1200cfm) definiert.

6.1.1 Fertigung von Spiralsieben

Zwei-Walzen Kalanders

Die Forderung die oben beschriebenen Luftdurchlässigkeiten zu fertigen, wird beim Zwei-Walzen Fixieren folgendermaßen realisiert:

Als erstes folgt der Verstreckvorgang, hier wird das Spiralsieb unter Spannung gesetzt und gestreckt. Danach folgt der Entspannvorgang, hier werden eine oder mehrere Runden mit einer geringeren Fixierspannung gefahren. Dieser Entspannvorgang führt dazu, dass die im Verstreckvorgang entstandene Spannung aus dem Sieb genommen wird.

Durchlaufkalanders

Beim Durchlaufkalanders ist der Ablauf des Thermofixierens ähnlich. Im ersten Durchlauf wird das Spiralsieb gestreckt. Ein zweiter Durchlauf in die entgegengesetzte Richtung ermöglicht es das Spiralsieb unter geringerer Spannung nochmals zu fixieren. Dieses Rückwärtslaufen des Spiralsiebes hat die gleiche Funktion wie der Entspannvorgang beim Zwei-Walzen Kalanders, es wird die Spannung aus dem Sieb genommen.

6.1.2 Fazit

Grundsätzlich ist es möglich auf beiden Kalandersarten sämtliche Siebqualitäten herzustellen. Allerdings ist es üblich, dass die auf dem Zwei-Walzen Kalanders hergestellten Spiralsieben für die Herstellung von Papier (geringe Luftdurchlässigkeit gefordert) verwendet werden, wohingegen die am Durchlaufkalanders hergestellten Spiralsiebe als Entwässerungs- und Transportsiebe eingesetzt werden.

6.2 Anzahl der Umläufe/Durchläufe

Wie schon in Kapitel 6 und 7 detailliert beschrieben, handelt es sich beim Zwei-Walzen Kalandrieren um ein umlaufendes Thermofixierverfahren bei dem ein Endlossieb fixiert wird. Während beim Durchlaufkalandrieren ein auf eine Rolle gewickeltes Sieb im Durchlaufverfahren fixiert wird.

Beim Thermofixieren auf dem Durchlaufkalandrierer kann das Spiralsieb in einem Durchlauf fixiert werden. Während nach heutigem Stand beim Zwei-Walzen Fixieren mehrere Umläufe benötigt werden, was einen erheblichen Zeitaufwand mit sich bringt.

Ausschlaggebende Faktoren, welche die Fixierzeit und den Energiebedarf beeinflussen, sind die Art des Spannungsaufbaus, die Fixiertemperatur bzw. die Art der Wärmeaufbringung, die Kontaktzeit, die benötigte Aufheiz- und Abkühlzeit und der Einsatz einer Kühlung. Anhand der folgenden Unterkapitel sollen die Auswirkungen und Unterschiede der einzelnen genannten Faktoren aufgezeigt werden.

6.2.1 Spannungsaufbau

Ein Unterschied, der sofort ins Auge fällt ist die unterschiedliche Art des Spannungsaufbaus. Beim Durchlaufkalandrierer kommt die Fixierspannung des Siebes durch die beiden unterschiedlich großen Drehmomente der Spannvorrichtungen zustande. Während beim Zwei-Walzen Fixieren die Spannung durch das Verfahren der Spannwalze zustande kommt.

Wird das Sieb beim Zwei-Walzen Fixieren über die gesamte Länge gespannt, passiert dieses Spannen des Siebes beim Durchlaufkalandrierer auf einem kurzen Abschnitt. Durch diesen geringen Spannabstand beim Durchlaufspannen kann ein Spiralsiebabschnitt besser und definierter gespannt werden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die aufs Spiralsieb wirkende Spannkraft. Beim Zwei-Walzen Kalanders wirkt die Spannkraft auf zwei Siebbahnen, von denen eine Bahn (bei Verwendung eines Heißluftkastens oder Heizkastens) durchwärmt wird. Es kann hier nicht genau gesagt werden, wie sich die Spannung auf die beiden Siebbahnen verteilt. Beim Durchlaufaffixieren wirkt die aufgebrachte Spannkraft nur auf eine Siebbahn.

6.2.2 Fixiertemperatur und Kontaktzeit

Die Fixiertemperatur der verschiedenen Kunststoffe liegt zwischen 180 und 250°C. Diese Temperaturen müssen auf das Spiralsieb übertragen werden, es reicht nicht aus allein das Heizelement auf diese Temperatur zu erwärmen. Je nach Kontaktzeit kann nur ein gewisser Anteil der Temperatur des Wärmeelements auf das Spiralsieb übertragen werden.

Je höher die Temperatur des Wärmeüberträgers ist, desto schneller kann die Walzengeschwindigkeit gewählt werden, damit die geforderte Thermofixiertemperatur im Spiralsieb erreicht wird. Die maximale Heiztemperatur von Thermoölen beträgt 300°C, diese Temperatur liegt nahe an den Thermofixiertemperaturen für höherwertige Kunststoffe wie bspw. PPS oder PEEK. Strahlungswärmeüberträger wie Infrarotstrahler aus Quarz oder Keramik können Temperaturen weit über 500°C erzeugen.

Bei einem Durchlaufkalanders macht es wenig Sinn einen Heißluft- oder Heizkasten zu verwenden, da die verwendete Heizwalze durch die vertikale Umwicklung fast ganz umschlossen werden kann.

Anders beim Zwei-Walzen Kalanders, hier kann die Heizwalze nicht mit einem ähnlich großen Winkel durch das Spiralsieb umschlossen werden, wie das beim Durchlaufkalanders der Fall ist. Aus diesem Grund ist es angebracht auch die alleinige Verwendung eines Heißluftkastens oder eines Heizkastens mit Infrarotstrahlern in Betracht zu ziehen.

6.2.3 Aufheiz- und Abkühlzeit

Ein weiterer Aspekt, der ausschlaggebend für die Fixierzeit ist, ist die Aufheiz- und Abkühlzeit der Wärmeübertragungselemente.

Wird beispielsweise eine Heizwalze verwendet benötigt diese sehr lange zum Aufheizen und Abkühlen. Beim Zwei-Walzen Kalandrieren spielen beide Zeiten eine wichtige Rolle, da erst mit dem Thermofixieren begonnen werden kann sobald die Heizwalze auf die benötigte Temperatur erwärmt ist und das Spiralsieb erst abgespannt werden kann, sobald Heizwalze und Spiralsieb auf ca. 60°C abgekühlt sind. Bei einem Zwei-Walzen Kalandrieren kann Aufheiz- und Abkühlzeit deutlich durch die Verwendung von Heißluft- oder Heizkasten verkürzt werden.

Beim Durchlaufkalandrieren kann die Heizwalze schon im Vorhinein bzw. parallel zur Siebvorbereitung erwärmt werden, so dass die Aufheizzeit weniger stark in die Fixierzeit einfließt als beim Zwei-Walzen Kalandrieren. Die Abkühlzeit spielt beim Durchlaufkalandrieren keine Rolle, da das Spiralsieb trotz heißer Walze abgespannt werden kann.

6.2.4 Kühlung

Um ein optimales Ergebnis für den Thermofixierprozess zu erreichen ist es wichtig, dass das Spiralsieb direkt nach der Durchwärmung eine Abkühlung erfährt. Diese Kühlung kann frei (Umgebungsluft), aber auch erzwungen, z.B. durch eine Kühlwalze erfolgen.

Beim Durchlaufkalandrieren ist eine extra Kühlung des Spiralsiebes nicht notwendig, da es durch die Umgebungsluft rasch herab gekühlt wird.

Beim Zwei-Walzen Fixieren muss der Aspekt der zusätzlichen Kühlung des Spiralsiebes in den Konstruktionsprozess mit einfließen und deren Nutzen und Aufwand gegenüber gestellt werden, da das Spiralsieb durch die Umgebungsluft nicht so schnell abkühlt wie beim Durchlaufkalandrieren. Falls die Durchwärmung des

Spiralsiebes über einen Heißluft- oder einen Heizkasten stattfindet, kann statt der festen Walze eine Kühlwalze verwendet werden.

7.0 Versuchskalander

7.1 Aufbau

Bei der Firma M & A Dieterle, werden Versuche zur Thermofixierung durchgeführt. Die Versuche an diesem Kalandr sollen Aufschluss bringen, in wie weit es möglich ist die Thermofixierzeit zu reduzieren.

Der Versuchskalander ist wie folgt aufgebaut (Abbildung erster Versuchskalander):

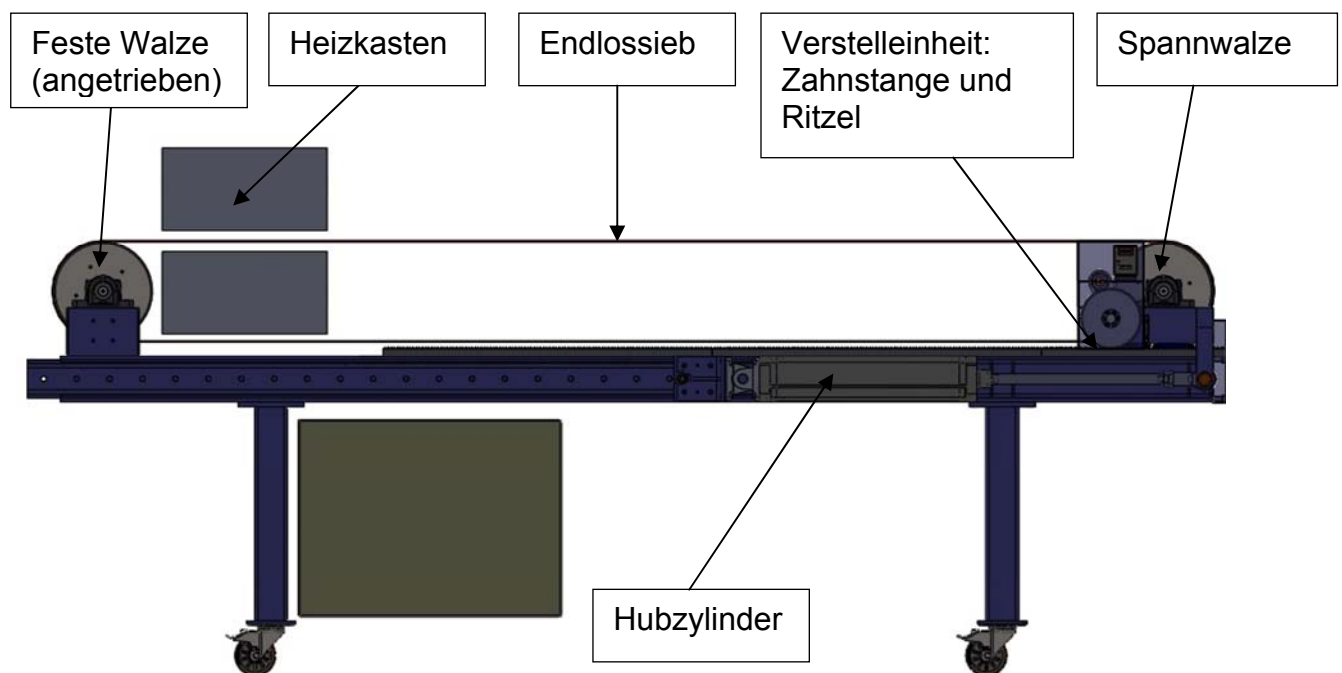


Abb. 7.1: Erster Versuchskalander

7.1.1 Wärmeaufbringung

Die Durchwärmung des Spiralsiebes erfolgt über einen Heizkasten, welcher auf der unteren Seite mit Quarzstrahlern ausgestattet ist und auf der oberen Seite Keramikstrahler angebracht sind.

Die Auswahl des Heizelementes wurde aufgrund der Überlegung die Thermofixierzeit und den Energiebedarf auf ein Minimum zu begrenzen getroffen. Durch den Einsatz eines Heizkastens mit Infrarotstrahlern kann im Gegensatz zu einer Heizwalze die Aufheiz- und Abkühlzeit deutlich reduziert werden.

Ein weiterer positiver Aspekt des Heizkastens ist die deutlich höhere erreichbare Heiztemperatur als bei einer Heizwalze. Eine höhere Heiztemperatur hat eine bessere Durchwärmung des Spiralsiebes zur Folge, so dass eine höhere Fixiergeschwindigkeit möglich ist.

Eine deutliche Verringerung der Thermofixierzeit führt automatisch zu einer Senkung des Energiebedarfs des Kalanders.

7.1.2 Spannungsaufbau

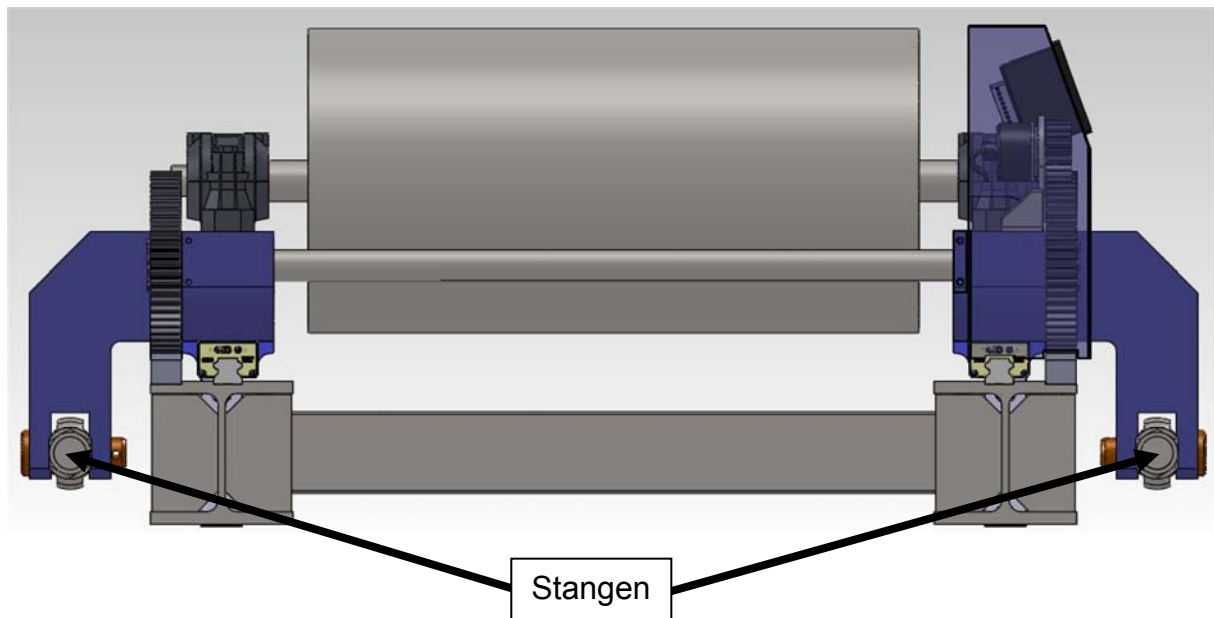


Abb. 7.2: Spannvorrichtung

Der Spannungsaufbau des Versuchskalenders findet über zwei Pneumatikzylinder statt, deren Stangen auf der linken und rechten Seite der Abbildung zu sehen sind. Über diese beiden Pneumatikzylinder kann eine vorher definierte Kraft eingestellt werden, mit der das Spiralsieb gespannt wird. Diese aufgebrachte Kraft verfährt die Spannwalze so lange, bis auf dem Spiralsieb die eingestellte Fixierspannung entgegen wirkt.

7.2 Ablauf

Der Ablauf beim Fixieren auf dem Versuchskalender ist ähnlich dem Ablauf, der beim Zwei-Walzen Kalandrieren beschrieben wurde.

Einlaufvorgang

Im Einlaufvorgang wird das Sieb auf 10N/cm vorgespannt und läuft einige Zeit um. Hier wird das Sieb kontrolliert, ob es gerade verläuft. Falls notwendig muss das Sieb nachjustiert werden, um ein späteres Querlaufen zu verhindern.

Verstreckvorgang

Als nächstes folgt der Verstreckvorgang, hier wird das Spiralsieb mit 60N/cm (abhängig von verwendetem Spiralsieb) gespannt. Nachdem diese Fixierspannung erreicht ist wird der Heizkasten geschlossen und aufgeheizt. Durch die Erwärmung unter Spannung beginnt sich das Sieb zu längen, um die Fixierspannung aufrecht zu erhalten verfährt die Spannwalze analog zur Längung des Spiralsiebes. Die Spannwalze verfährt so lange, bis durch die aufgebrachte Wärme und die Fixierspannung keine Längung des Spiralsiebes mehr möglich ist.

Entspannvorgang

Im Entspannvorgang wird die Fixierspannung auf 10N/cm zurückgelassen. Der Entspannvorgang dient dazu die Spannung aus dem Spiralsieb zu nehmen. Ein Entspannen des Spiralsiebes ist wichtig, um den Erhalt der Form bei hohen Temperatureinwirkungen und mechanischen Belastungen zu gewährleisten.

Abkühlvorgang

Der Abkühlvorgang des Versuchskalenders ist im Gegensatz zu dem in Kapitel 7 beschriebenen Zwei-Walzen Kalanders deutlich verkürzt. Nachdem der Heizkasten geöffnet wurde, wird dessen Wärme rasch an die Umgebung abgegeben, so dass das Spiralsieb deutlich schneller abkühlt.

Fazit

Diese ersten Versuche zeigten, dass durch die Verwendung eines Heizkastens mit Infrarotstrahlern die Aufheiz- und Abkühlzeit deutlich reduziert wird.

Der nächste Schritt ist die Weiterentwicklung des Versuchskalenders, damit auch die reine Fixierzeit, bestehend aus Verstreck- und Entspannvorgang, reduziert werden kann.

7.3 Weiterentwicklung des Versuchskalenders

Während der Versuche wurde der Kalanders ständig weiterentwickelt und optimiert. Eine Abbildung des weiterentwickelten Versuchskalenders befindet sich auf der folgenden Seite.

Laufrichtungsänderung und Kühlung

Die Laufrichtung des Spiralsiebes auf dem Versuchskalanders wurde verändert, anfangs war es nur möglich das Spiralsieb rechtsherum laufen zu lassen, da jedoch eine Druckluftkühlung direkt nach dem Heizkasten über der festen Walze angebracht werden sollte, musste die Laufrichtung umgekehrt werden.

Nachdem diese Druckluftkühlung angebracht wurde, war die Oberfläche des Spiralsiebes merklich glatter als bei den Versuchen davor.

Heizkasten

Damit der Heizkasten eine bessere Wärmedurchdringung und eine höhere Energieeffizienz erreicht, wurde dieser zusätzlich isoliert. Um eine exaktere und

variablere Temperatureinstellung zu erreichen, kann der untere Teil des Heizkastens jetzt manuell in der Höhe verstellt werden. Außerdem wurden die einzelnen Heizstrahler auf die gesamte Länge des Heizkastens verteilt, so dass eine größere Kontaktfläche erreicht wird.

Durch die größere Kontaktfläche, bessere Isolation und das manuell höhenverstellbare Heizkastenunterteil hat sich gezeigt, dass es möglich ist die benötigte Zeit für Verstreck- und Entspannvorgang zu reduzieren.

Zusätzliche Walzen

Rechts des Heizkastens wurden zwei versetzt angeordnete Walzen angebracht, diese beiden Walzen werden wie in der Abbildung vom Spiralsieb umwickelt. Es sollen dadurch ein gerader Durchlauf des Siebes durch den Heizkasten gewährleistet werden, sowie ein zusätzliches Spannen des Siebes möglich sein.

Nächste Entwicklungsstufe

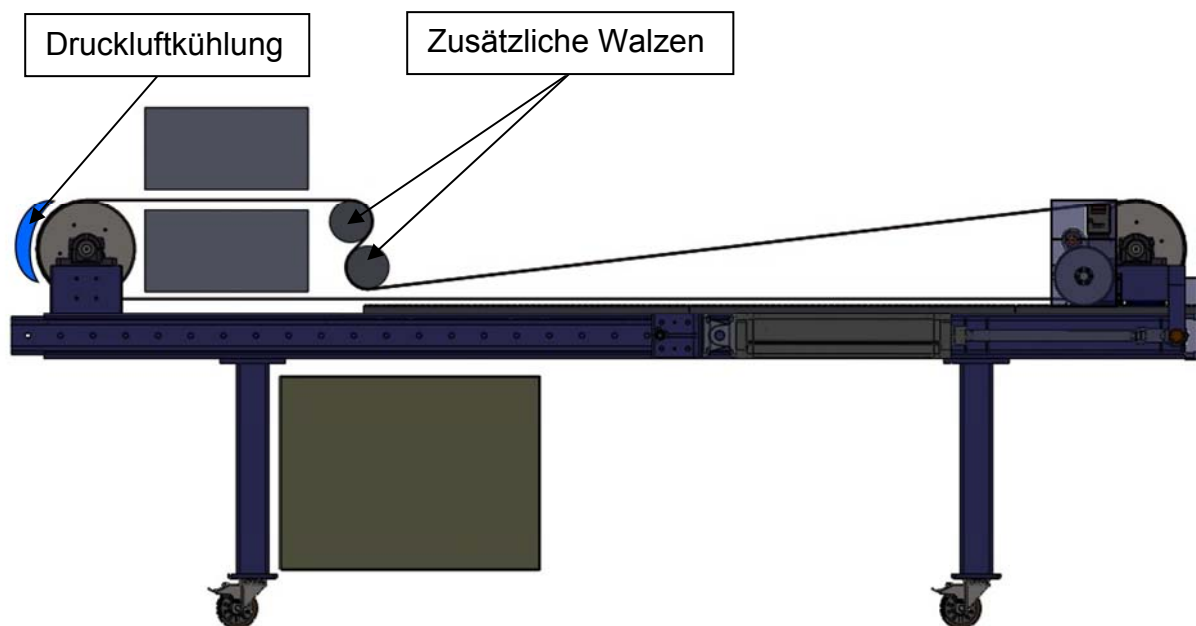


Abb. 7.3: Versuchskalander mit Änderungen

7.4 Erfahrungswerte

Die Temperatureinstellung des Versuchskalenders besitzt eine Skala von eins bis zehn. Bei den Versuchen hat sich gezeigt, dass eine Feineinstellung für den zu entwickelnden Kalanders möglich sein muss. War die Temperatur auf Heizstufe neun noch deutlich zu gering für den Thermofixierprozess. Wurde auf Heizstufe zehn das Sieb auf über 220°C erwärmt, was wiederum deutlich zu hoch für eine Thermofixierung von Standardsiebqualitäten ist.

Auffälligkeiten

- Die Temperaturregelung der Beheizung, des Kalenders muss exakt einstellbar sein, um die optimale Temperatur für die Thermofixierung zu erreichen. Eine Erhöhung von wenigen Kelvin kann schon zu viel sein und das Sieb hält den aufgebrachten Spannungen nicht stand.
- Der Spannungsaufbau muss parallel und konstant (nicht ruckweise) erfolgen, da schon kleinste Spannungsschwankungen zu einem ungenügenden Resultat führen können.
- Durch den Einsatz einer Kühlung ist es möglich eine merklich glattere Oberfläche des Spiralsiebes zu erreichen. Eine Kühlung wirkt sich auch auf die Thermofixiergeschwindigkeit aus, jedoch konnte dies am Versuchskalanders nicht explizit nachgewiesen werden.
- Eine weitere Erkenntnis, die aus den Versuchen gewonnen wurde ist, dass ungefüllte Spiralsiebe schlechter durchwärmt werden als gefüllte Siebe. Die Erklärung hierfür liegt im Aufbau von gefüllten und ungefüllten Sieben, gefüllte Siebe sind durch den Fülldraht dichter, so dass die Infrarotstrahlung besser absorbiert wird. Während bei ungefüllten Spiralsieben ein Teil dieser Strahlung durchgelassen wird.

Ergebnis:

Die Versuche haben gezeigt, dass es möglich ist Verstreck- und Entspannvorgang beim Thermofixieren auf jeweils ein bis zwei Umläufe zu optimieren und dass auch die Aufheiz- und Abkühlzeit des Spiralsiebes gegenüber einer Heizwalze deutlich reduziert werden kann. Trotz dieser Verringerung der Fixierzeit wurden gute Siebqualitäten erzielt.

Um eine optimale Umsetzung des zu konzipierenden Kalanders zu erreichen, haben diese Versuche gezeigt, dass sämtliche variable Parameter des Thermofixierens, wie Heiztemperatur, Fixierspannung und Walzengeschwindigkeit exakt einstellbar sein müssen.

7.5 Versuchsreihe mit neuer Heizung

Nachdem die ersten Versuche auf dem selbst entwickelten Versuchskalander stattfanden, wurde in Kooperation mit der Firma MES thermsol eine neue Heizung am Versuchskalander angebracht.

Das Ergebnis aus den vorigen Versuchen, dass Spiralsiebe mit einer Strahlungsquelle genauso gut zu fixieren sind wie mit einer Heizwalze sollte jetzt mit genaueren und auswertbaren Informationen belegt werden.

7.5.1 Aufbau der Versuchsheizung

Die Heizung der Firma MES thermsol besteht aus einem Heizungsober- und -unterteil, welche mit jeweils sechs Infrarotstrahlern ausgestattet sind, von denen jeder eine Leistung von max. 1kW hat. Sprich Ober- und Unterteil besitzen jeweils eine Leistung von 6 kW. Die Heizstrahler sind in Richtung der Spiralsiebbreite angeordnet und haben eine Länge von 270mm.

Variable Einstellmöglichkeiten

Im Gegensatz zum vorigen Versuchskalender ist die neue Heizung mit moderner Steuerungstechnik ausgestattet, welche eine präzise Einstellung der Heizstrahler ermöglicht. Jeder einzelne Strahler ist manuell zu- und abschaltbar. Die Leistung der oberen und unteren Heizung kann über die Steuerelektronik Prozentweise eingestellt werden.

7.5.2 Versuche

Um möglichst aussagekräftige Ergebnisse für das Thermofixieren zu erhalten wurden sämtliche einstellbaren Parameter variiert, die Ergebnisse wurden dann miteinander verglichen.

Variable Parameter

- Materialien der Spiralsiebe
- Unterschiedliche Farben
- Gefüllte und ungefüllte Spiralsiebe
- Heizleistung
- Heizstrecke
- Umlaufgeschwindigkeit
- Fixierspannung

7.5.3 Ergebnis

Größtenteils ließen sich die Spiralsiebe besser als erwartet thermofixieren. Es gab lediglich Probleme beim Fixieren von Spiralsieben, welche durchsichtig waren. Der Grund hierfür ist, dass diese Spiralsiebe die Infrarotstrahlung schlecht absorbieren und zu einem großen Teil durchlassen.

Es hat sich herausgestellt, dass es effektiver ist das Spiralsieb von beiden Seiten zu durchwärmen, als dieses nur einseitig zu tun. Bei der beidseitigen Durchwärmung reicht eine kleinere Heizstrecke aus. Durch das einseitige Durchwärmen des Siebes

besteht die Gefahr des Verzuges, da sich das Spiralsieb auf der Strahlerseite zuerst ausdehnt.

Mit Umlaufgeschwindigkeiten zwischen 1,5 und 2 m/min wurden gute Thermofixierungsergebnisse erreicht. Bei Materialien mit höheren Fixiertemperaturen wurde mit einer Geschwindigkeit von 1,5 m/min gefahren.

Wie auch schon bei den Versuchen auf dem ersten Versuchskalanders hat sich gezeigt, dass die Wärmeaufnahme von gefüllten Sieben deutlich besser, als die von ungefüllten Sieben ist.

Es hat sich ebenfalls herausgestellt für diesen Versuchsaufbau ein Heizungsoberteil und -Unterteil mit sechs Infrarotstrahlern etwas überdimensioniert ist, für das Thermofixieren der Versuchssiebe einer Breite von 250mm genügen drei, max. vier Strahler auf jeder Seite.

7.5.4 Weitere Vorgehensweise

Mit der neuen Heizung wurden lediglich Spiralsiebe mit einer maximalen Breite von 250mm thermofixiert. Um die Fixierung unter noch realistischeren Bedingungen durchzuführen, soll von der Firma MES thermosol ein neues Angebot für eine Heizung erstellt werden, mit der es möglich ist Spiralsiebe einer Breite von 500mm auf dem Versuchskalanders zu fixieren.

Außer der Heizung soll noch der Spannungsaufbau des Versuchskalanders verändert werden. Statt dem Spannen über zwei Pneumatikzylinder soll der Spannungsaufbau über einen Servomotor erfolgen. Dies hat den Vorteil, dass das Spiralsieb kontinuierlicher und ruckfrei gespannt werden kann.

Weiter stehen noch einige Tests mit den fixierten Spiralsieben an, um wirklich genau zu sehen, ob das Thermofixieren durch Infrarotstrahler dem Kalanders mit Heizwalze

in nichts nachsteht. Hierzu werden Hydrolyse- und Alterungsversuche mit den Fixierten Spiralsieben durchgeführt.

Nachdem diese Punkte abgeschlossen sind kann mit der Umsetzung eines Kalanders für sechs Meter breite Spiralsiebe begonnen werden.

8.0 Literaturverzeichnis

8.1 Abbildungen

Index- Nummer	Quelle	Seite	Datum der Einsichtnahme
[1]	Europäische Patenschrift: EP 0 666 366 B1 Spiralgliederband niedriger Luftdurchlässigkeit und Verfahren zu seiner Herstellung		
[3]	Eberhard Baisch, Elastomere Werkstoffe in der Dichtungstechnik, Vorlesungsskript Lager- und Dichtungstechnik aus dem SS2012	9	
[5]	Eberhard Baisch, Elastomere Werkstoffe in der Dichtungstechnik, Vorlesungsskript Lager- und Dichtungstechnik aus dem SS2012	11	
[6]	Eberhard Baisch, Elastomere Werkstoffe in der Dichtungstechnik, Vorlesungsskript Lager- und Dichtungstechnik aus dem SS2012	8	
[9]	http://daten.didaktikchemie.uni- bayreuth.de/umat/nylon/verstrecken_vor.gif		26.08.2012
[11]	http://daten.didaktikchemie.uni- bayreuth.de/umat/nylon/verstrecken_nach.gif		26.08.2012
[12]	http://daten.didaktikchemie.uni- bayreuth.de/umat/nylon/nylon_faser.gif		26.08.2012
[13]	http://www.schroeer- technik.de/PDF/skt/kunststoff.pdf		26.08.2012
[15]	http://www.ar- walzen.de/bilder/heizwalze_e_skizze.jpg		04.09.2012
[16]	http://www.rolltec- gmbh.de/Produkte/Kuhlwalze_Abzugswalze_kl ein_1.jpg		04.09.2012

[17]	http://www.nolte-gmbh.de/pdf/erhitzer.pdf		26.08.2012
[18]	http://www.haustechnikdialog.de/shkwissen/Images/WT-Kreuzstrom.jpg		26.08.2012
[19]	http://www.heraeus-noblelight.com/media/webmedia_local/media/pdf/ip/applications_7/kunststoff/plastics_brochure_d.pdf		04.09.2012
[20]	http://www.infrarot-heizstrahler-shop.de/informationen-vorteile/		26.08.2012

8.2 Texte

Index-Nummer	Quelle	Seite	Datum der Einsichtnahme
[2]	Eberhard Baisch, Elastomere Werkstoffe in der Dichtungstechnik, Vorlesungsskript Lager- und Dichtungstechnik aus dem SS2012	9	
[4]	Eberhard Baisch, Elastomere Werkstoffe in der Dichtungstechnik, Vorlesungsskript Lager- und Dichtungstechnik aus dem SS2012	11	
[7]	Eberhard Baisch, Elastomere Werkstoffe in der Dichtungstechnik, Vorlesungsskript Lager- und Dichtungstechnik aus dem SS2012	8	
[8]	http://de.wikipedia.org/wiki/Kristallisation_(Polymer)		03.09.2012
[10]	http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/nylon/nylon.htm#Ind.H		03.09.2012
[14]	http://www.maschinenbau.tu-ilmenau.de/mb/wwwtd/m2twin/images/grund.pdf		03.09.2012