Anlage und Verfahren zur Herstellung einer Faser aus einer Polymerlösung

Die Erfindung betrifft eine Anlage und ein Verfahren zur Herstellung von Hohlfasermembranen zur Fluidtrennung, insbesondere zur Gastrennung.

Im Stand der Technik sind Herstellverfahren von Membranmaterial zur Fluidtrennung bekannt, wobei derartige Membranmaterialien auf Basis von Polyimiden beispielsweise in der WO 2014/202324 A1 oder WO 2011/009919 beschrieben werden. Derartige Membranmaterialien weisen als integral asymmetrische Membranen, so genannte "integrally skinned asymmetric membranes" (ISA-Membrane), eine (trenn-)aktive Schicht (Trennschicht) von 10 bis 200 nm auf. Generell ist bekannt, dass Polyimide eine Klasse von Polymermaterialien darstellen, mit der eine Gastrennung einer Fluidmischung bei einer hohen Permeanz eines der Fluide und/oder bei hoher Selektivität möglich ist. Hierbei zeichnen sich Polyimide zusätzlich durch sehr gute mechanische, chemische und thermische Widerstandsfähigkeit bei Anwendungen zur Gastrennung aus.

Es ist bekannt, dass Polyimide und ebenfalls andere glasartigen Polymere, die als Membranmaterial zur Gastrennung eingesetzt werden, einen Abfall der anfänglichen Trennleistung aufweisen, beispielsweise durch Plastifizierung (Erweichung) (“Quantification of sorption, diffusion, and plasticization properties of cellulose triacetate films under mixed-gas CO2/CH4 environment” Genduso et al; J. of Membrane Science, Volume 610, 01.09.2020, Article number 118269), durch physikalische Alterung (“Physical aging of thin glassy polymer films monitored by gas permeability” Huang Y. et al; Polymer, Vol. 45, Issue 25, Pages 8377 – 8393, November 2004) und/oder durch den Kontakt mit Verunreinigungen im Feed-Strom (“Properties of a polyimide gas separation membrane in natural gas streams”; White at al; J. of Membrane Science, Volume 103, Issue 1-2, Pages 73 – 82, 14.07.1995).

Die vorgenannten Nachteile können teilweise oder sogar vollständig vermieden werden, wenn die Hohlfasermembran über 300 °C erwärmt wird, wie beispielsweise beschrieben in der WO 2011/009919 A1 und der US 9,873,093 B2. Weiterhin wird darin vorgeschlagen, zur Einstellung von definierten, hohen Permeanzen und Selektivität einen definierten Gradienten bei der Erwärmung im Rahmen des Temperns vorzusehen, der beispielsweise gem. der WO 2011/009919 A1 drei Stufen in einem Umlufttrockenschrank (Konvektionsofen) umfasst, nämlich bei 70 °C (0,5h), 150 °C (2h) und 250 °C (12h).

Die WO 2014/202324 A1 schlägt zur weiteren Verbesserung vor, Hohlfaser vorzugsweise bei einer Temperatur im Bereich von 50 und 100 °C zu trocknen und anschließend zu tempern. Durch die Trocknung soll beispielsweise Wasser, Isopropanol oder Hexan abgezogen werden, so dass der Gesamt-Wasser- und/oder Restlösemittelgehalt im Bereich von 0 bis 5 Gew. % liegt. Hintergrund ist, dass ein zu hoher Restgehalt an Wasser und Lösungsmittel bei der Temperung ganzer Membranbündel dazu führt, dass die Membranen untereinander verkleben. Weiterhin kann

überschüssiges Wasser zu einer Hydrolyse und damit einem Kettenbruch und einer mechanisch instabilen Membran führen. Gemäß der WO 2014/202324 A1 ist es vorteilhaft, wenn der Maximalgehalt an Wasser vor Beginn der Temperung bei unter 5 Gew. % liegt, auch wenn bei der Temperung selbst jeglicher Wasseranteil verdunsten würde.

Hierbei wird vorgeschlagen, eine Trocknungseinheit und eine Temperungseinheit vorzusehen, wobei das Tempern bei einer Temperatur im bevorzugten Bereich von 140 bis 180 °C unter Vakuum im Bereich von 0,6 bis 0,9 bar und unter Inertgasatmosphäre vorgenommen werden muss, wobei eine sehr lange Temperungszeit von bevorzugt 10 bis 16 Stunden erforderlich ist.

Nachteilig an diesen vorbekannten und grundsätzlich erprobten Verfahrensführungen und Anlagen ist, dass ein relativ aufwändiger Anlagenaufbau vorzusehen ist und sehr lange Behandlungszeiten für die Fasern erforderlich sind.

Die Aufgabe dieser Erfindung besteht somit darin, eine Anlage und ein Verfahren für eine Fluidseparationsmembran zur Verfügung zu stellen, die eine höhere Produktionsleistung aufweist als bekannte Anlagen und Verfahren, bei gleichbleibender oder erhöhter Produktqualität in punkto Permeabilität und/oder Selektivität.
Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit einer Anlage zur Herstellung einer Hohlfaser erreicht, wobei die Hohlfaser aus mindestens einer Polymerlösung gebildet wird. Die Anlage umfasst hierbei eine Steuer- und Regelungseinheit, eine Vorlage- und Zuführungseinheit für Medien, eine Spinneinheit für die Ausbildung der Faser, wobei stromabwärts zur Spinneinheit für die Behandlung der Faser mindestens die folgenden Anlageneinheiten in der genannten Abfolge umfasst sind:

a. eine Austauscheinheit zum Lösungsmittelaustausch, die insbesondere eine (erste) Fixiereinheit umfassen kann oder hieraus im Wesentlichen gebildet sein kann, in welcher die Faser unmittelbar nach der Spinneinheit ein- oder durchleitbar ist, und wobei vorteilhafterweise eine Wascheinheit stromabwärts zur Fixiereinheit umfasst sein kann,
b. mindestens eine Nachbehandlungseinheit, umfassend
eine thermische Behandlungseinheit mit mindestens einer thermischen Behandlungsstation, wobei

stromabwärts zur Austauscheinheit mindestens eine thermische Behandlungsstation der thermischen Behandlungseinheit vorgesehen ist, welche als Temperstation ausgebildet ist, umfassend mindestens einen Temperofen, wobei der mindestens eine Temperofen mindestens einen Infrarotemitter (IR-Emitter) umfasst, wobei die Faser in dem mindestens einen Temperofen mindestens zeitweise aufnehmbar und/oder hindurchleitbar ist. Hierbei ist der Temperofen derart ausgebildet und einstellbar ist, dass die mindestens zeitweise aufgenommene und/oder durchleitbare Faser und wobei der Temperofen ausgebildet ist, die mindestens zeitweise aufgenommene und/oder durchleitbare Faser für eine definierte Zeit (Temperungszeit) bis zu einer Temperatur zu erwärmen, die unterhalb der Glaserweichungstemperatur (T_G) liegt, insbesondere

und auch
i) im Bereich bis 80 °C unter der Glaserweichungstemperatur (T_G) liegt, und/oder
ii) im Bereich von größer 250 °C liegt.

Bei einer vorteilhaften Ausführungsform gegeben, dass der Temperofen ausgebildet und einstellbar ist, um die mindestens zeitweise aufgenommene und/oder durchleitbare Faser i) für eine definierte Zeit (Temperungszeit) bis zu einer Grenztemperatur, die max. 1 °C bis 4 °C unterhalb der Glaserweichungstemperatur (T_G) zu erwärmen, insbesondere im auf eine Grenztemperatur im Bereich von 70 °C bis 1 °C unterhalb der Glaserweichungstemperatur zu erwärmen, bevorzugt im Bereich von 65 °C bis 1 °C zu erwärmen und/oder ii) die Faser auf eine Temperatur von größer 250 °C bis 450 °C zu erwärmen, bevorzugt 280 °C bis 450 °C.
Hierbei ist insbesondere vorteilhaft, wenn die Anlage ausgebildet ist, hinsichtlich der mindestens zeitweise aufgenommenen und/oder durchleitbaren Faser, immer den Abstand von 1 °C bis 4 °C von der Glaserweichungstemperatur (T_G) einzuhalten, um die Struktur, insbesondere der gewünschten Porosität, der Hohlfaser nicht zu beschädigen. Zur Vermeidung von Schädigungen der Faser aufgrund von Schwankungen der Heizungstemperatur, kann bevorzugt sein, wenn die Anlage ausgebildet ist, dass statt des vorgenannten 1 °C Abstandes zum T_G ein Abstand von 1,5 °C, 2 °C, 2,5 °C, 3 °C oder 3,5 °C vom T_G vorgesehen werden kann.

Hierbei meint analogerweise „max. 1 °C insbesondere max. 4 °C“, dass es insbesondere vorteilhaft ist, wenn der Abstand von mindestens 1 °C, bevorzugt von 4 °C von der jeweiligen Glaserweichungstemperatur (T_G) des Fasermaterials (Polymersubstrat) eingehalten wird, um die Struktur, insbesondere der gewünschten Porosität, der Hohlfaser nicht zu beschädigen.

Um definierte Materialzustände der Faser einzustellen und die Regelbarkeit der Temperung zu verbessern, kann gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Anlage kann vorgesehen werden, dass mindestens eine weitere thermische Behandlungseinheit angeordnet ist, umfassend eine Trocknungsstation stromaufwärts zur Temperstation.

Die Faser wird somit in der Temperstation bzw. dem Temperofen durch die IR-Strahlung des mindestens einen IR-Emitters direkt oder mittelbar getempert. Hierbei meint „mittelbar“, dass die IR-Strahlung eine Einzelfaser auch durch benachbarte Einzelfasern hindurch und/oder über Reflektoren erreichen kann.
Hierbei meint „Temperung“ die Erwärmung der Faser für eine definierte Zeit (Temperungszeit) bis zu einer Grenztemperatur, die max. 1 °C bis 4 °C unterhalb der Glaserweichungstemperatur (T_G) liegt, insbesondere im Grenztemperaturbereich von 80 °C bis 1 °C unterhalb der Glaserweichungstemperatur liegt, bevorzugt im Bereich von 70 °C bis 1 °C, besonders bevorzugt im Bereich von 65 °C bis 4 °C unterhalb der Glaserweichungstemperatur liegt.

Die Glaserweichungstemperatur T_G ist bestimmbar durch unterschiedliche dynamische Differenzkalorimetrien (DDK), auch Differential Scanning Calorimetry (DSC) genannt, insbesondere gemäß der Methode der DIN 53765.

In analoger Weise kann als obere Grenztemperatur und Grenztemperaturbereich auch die Degenerations- oder Zersetzungstemperatur (T_Z), auch engl. „decomsing temperature“, einer Faser und/oder des Fasermaterials (Polymersubstrat) dienen, je nach dem welcher Effekt, Degeneration oder Glaserweichung, bei der Erwärmung der Faser und/oder des Fasermaterials (Polymersubstrat) früher einsetzt. Die Degeneration kann beispielsweise in einem Verbrennen, Veraschen, Rissbildung, Versprödung oder sonstigen zerstörenden Effekten bestehen.

Im Falle eines Fasermaterials, bei welchem $T_Z < T_G$ als Materialeigenschaft vorliegt, wobei die Degeneration darin besteht, dass bei $T_Z < T_G$, insb. $T_Z << T_G$, bereits eine verstärket Materialschrumpfung einsetzt, sollte die Grenztemperatur kleiner als T_Z sein. Somit sollte die Anlage vorteilhafterweise ausgebildet sein, hinsichtlich der mindestens zeitweise aufgenommenen und/oder durchleitbaren Faser, immer in analoger Weise mit der Grenztemperatur den Abstand zu T_Z einzuhalten, um insbesondere die Faserdimensionen (Makrostruktur) und/oder die Porenstruktur (Mikrostruktur) der Faser nicht negativ zu beeinflussen.

Fasermaterialien mit einer ausgeprägten Degeneration bei Temperaturen ab und oberhalb T_Z sind beispielsweise PIM-1 Polymere, mit einer hohen intrinsischen Mikroporosität. Ein Beispiel für ein PIM ist das Polykondensationsprodukt von 5,5′,6,6′-tetrahydroxy-3,3,3′,3′-tetramethyl-1,1′-spirobisindane (CAS-Nr. 77-08-7) und 1,4-dicyanotetrafluorobenzene (CAS-Nr. 1835-49-0).

Diese Degenerations- oder Zersetzungstemperatur T_Z ist ermittelbar mittels thermographischer Analyse in einer Stickstoffatmosphäre (Konnertz, N. et al, Molecular mobility of the high performance membrane polymer PIM-1 as investigated by dielectric spectroscopy, ACS Macro Lett. 2016, 5, 528−532).

Hiermit wird bei den zur Rede stehenden Polymermaterialien insbesondere eine Temperatur von größer 250 °C, insbesondere größer 280 °C im Temperofen mittels der IR-Strahler erreicht, wobei der vorgenannte, stoffabhängige Abstand eingehalten wird.

Die erfindungsgemäße thermische Behandlungseinheit kann somit eine einzige thermische Behandlungsstation zur Durchführung eines einzigen Trocknungsschrittes umfassen, welche als Temperstation mit einem Temperofen und dem mindestens einen IR-Emitter ausgebildet ist und mittels welcher die Temperung der Faser bzw. des Polymermaterials erfolgt. Bei dieser Ausführungsform mit einer einzigen thermischen Behandlungsstation erfolgt genau genommen ein kombinierter Trocknungs- und Temperungsschritt. Es hat sich allerdings gezeigt, dass der hohe Energieeintrag im Temperofen auf eine äußerlich nasse oder sehr feuchte Faser zu nachteiligen Beeinträchtigungen der Faser beim Tempern führt. Somit kann vorteilhafterweise die thermische

Behandlungseinheit zusätzlich mindestens eine weitere thermische Behandlungsstation zur Durchführung mindestens eines weiteren Trocknungsschritts umfassen, angeordnet stromaufwärts zur Temperstation, insbesondere unmittelbar stromaufwärts zum Temperofen. Die Temperung in der Temperstation stellt für die Faser aufgrund der hohen applizierten Temperaturen immer auch eine eigenständige Trocknung(-schritt) dar.

Die zusätzliche thermische Behandlungsstation kann vorteilhafterweise ein zur IR-Strahlung alternatives Trocknungsmittel und zu einem IR-Strahler alternative Heizvorrichtung umfassen oder hiermit verbunden sein. Insbesondere kann eine Trocknungsstation für einen eigenständigen Trocknungsschritt nach der Austauschstation zur Austrag des Lösungsmittels der Austauschstation vorgesehen sein, insbesondere stromaufwärts zu einer Coatingstation, zur Herstellung definierter Oberflächeneigenschaften der Faser bei Einleitung in die Coatingstation. Weiterhin kann vorteilhafterweise stromabwärts einer Coatingstation mindestens eine weitere Trocknungsstation für einen weiteren Trocknungsschritt vorgesehen sein, insbesondere zur Abtrennung des in der Coatingstation bzw. dem dort eingesetzten Coatingmittel enthaltenen Lösungsmittel. Auch wenn vorliegend von „einer thermischen Behandlungseinheit" die Rede ist, so stellt diese in der Regel keine bauliche Einheit dar, vielmehr dient dies zur sprachlichen Bündelung aller thermischen Behandlungsstationen bzw. -schritte, d.h. unterschiedlicher Trocknungsstation und Durchführung der jeweiligen Trocknungsschritte. Es ist insbesondere vorteilhaft, wenn unmittelbar stromaufwärts zur Temperstation eine Trocknungsstation vorgesehen ist, die mit einer der vorgenannten identisch sein kann, um eingangs der Temperstation eine bezüglich des Feuchtegehaltes der Faser definierten Zustand herzustellen und somit insbesondere für die energiereiche Temperung eine möglichst kurze Dauer zu ermöglichen.

Unter der „Temperstation“ soll vorliegend insbesondere der zentrale Temperofen und alle unmittelbar zugehörigen Ver- und Entsorgungsvorrichtungen verstanden werden, wie insbesondere Gaszuleitung, Gasableitung, Sensoren, ggf. Leistungssteuerung/-einheit, Kühleinheit mit den erforderlichen Anschlüssen etc. Der „Temperofen“ umfasst den mindestens einen IR-Emitter und kann im Inneren mindestens einen Einzelfaser aufnehmen, um diese mindestens zeitweise auf eine Temperatur unterhalb der Glaserweichungstemperatur T_G bzw. der Degenerationstemperatur T_Z mittels IR-Strahlung zu erwärmen, wie hierin beschrieben. Auch wenn die Temperstation nicht identisch mit dem Temperofen ist, wird nachfolgend vereinzelt nicht zw. Temperstation und Temperofen unterschieden, wobei der Textzusammenhang das Gemeinte offenbart, so ist beispielsweise eine Formulierung, dass „die Temperstation einen IR-Emitter umfasst“ zu verstehen, dass „der IR-Emitter als Teil des Temperofens von der Temperstation umfasst ist“.

Auch wenn nachfolgend vorrangig von einem „IR-Emitter“ gesprochen wird, soll hiermit nicht nur das eigentliche Infrarotstrahlungsmittel (IR-Strahlungsmittel) gemeint sein, sondern auch eine IR-Einheit umfasst und gemeint sein, die ein oder mehrere IR-Emitter umfasst.

Es wurden eine kontinuierlich arbeitende Anlage und ein zugehöriges kontinuierliches Verfahren gefunden, womit es möglich ist, die aus dem Stand der Technik bekannten Temperungszeiten mittels beispielsweise einem elektronischen, batchweise arbeitenden Konvektionsofen, um ca. einen Faktor 0,001 und mehr zu verringern. Weiterhin konnten langwierige Aufheizschritte vollständig vermieden werden.

Vorliegend meint „Polymerlösung“ neben beispielhaft hierin genannten Stoffen, auch flüssige und/oder verflüssige Polymerschmelzen. „Polymerlösung“ meint insbesondere flüssige und/oder verflüssigte Polymere, die insbesondere in einem Lösungsmittel oder Lösungsmittelgemisch enthalten sind.

Im vorliegenden Zusammenhang meint „Polymerlösung“ neben beispielhaft hierin genannten Stoffen, auch flüssige und/oder verflüssige Polymerschmelzen. „Polymerlösung“ meint insbesondere flüssige und/oder verflüssigte Polymere, die insbesondere in einem Lösungsmittel oder Lösungsmittelgemisch enthalten sind. Die Polymerlösungen umfassen:

- aromatische Polyimide, aromatische Polyetherimide, aromatische Polyamide, Polyarylenether, aromatische Polybenzimidazole und/oder Mischungen hieraus;
- Polysulfone und/oder Mischungen enthaltend Polysulfone;
- Lösungen von Polymeren, die eine intrinsische Mikroporosität (PIMs) aufweisen;
- allgemein Lösungen von Polymeren, die zur Herstellung von Membranen zur Gastrennung geeignet sind, insbesondere zur Herstellung von (gesponnenen) Hohlfasermembranen;
- zellulosebasierten Lösungen, die zur Herstellung von Membranen zur Gastrennung geeignet sind.

Die Polymerlösung kann weiterhin 2D oder 3D Füllstoffe umfassen, die hinsichtlich Größe und Beschaffenheit geeignet sind, mittels der Spinneinheit für Hohlfasern gesponnen zu werden. Diese Füllstoffe können vorteilhafterweise beispielsweise Zeolithe, MOF-Partikel (Metal-Organic Framework Materials), Mexene (MXene) und/oder Graphene sein. Weiterhin sollen Hohlfasermembranen umfasst sein, bei denen die aktive Trennschicht mindestens teilweise aus einem 2D oder 3D Füllstoff gebildet ist, wie beispielsweise Zeolithe, MOF-Partikel (Metal-Organic Framework Materials), Mexene (MXene) und/oder Graphene.

Insbesondere beim Vorliegen von Füllstoffen in der Polymerlösung ist es vorteilhaft, wenn Einzelfasern oder kleinere (Teil-)Faserbündel von bis zu maximal 180 Einzelfasern getempert werden, idealerweise bis maximal 120 Einzelfasern, idealerweise bis maximal 60 Einzelfasern je (Teil-)Faserbündel. Ohne auf eine Interpretation eingeschränkt zu sein, können Füllstoffe zu einer stark erhöhten Extinktion und/oder Reflektion der Energie, insbesondere von IR-Strahlungen führen, so dass die Homogenität der Temperung der einzelnen Fasern im Faserbündel sinkt.

In der Anlagen werden die Fasern vorzugsweise am Strang und ungeschnitten gefördert, wobei der Antrieb über Förderrollen und/oder mindestens einer Zugvorrichtungen in Hauptförderrichtung

gefördert. Die Hauptförderrichtung stellt dabei die übergeordnete Bewegungsrichtung in x-Richtung dar. Vorteilhafterweise werden die Fasern abweichend zur Hauptförderrichtungen in x-Richtung auf Teilstrecken vielfach umgelenkt, insbesondere in z-Richtung, beispielsweise in der Wascheinheit, der thermischen Behandlungseinheit etc., um die erforderliche Verweilzeit in der jeweiligen Einheit zu ermöglichen.

Die zumindest anfänglich voneinander beabstandeten Einzelfasern, werden durch kamm- oder fingerartige Formierungselemente von Formierungseinheiten auf Abstand gehalten, üblicherweise sind die Einzelfasern in einer Flucht nebeneinander angeordnet, d.h. in y-Richtung zueinander beabstandet.

Unter „Fasern“ soll vorliegend die Gruppe an Einzelfasern verstanden werden unabhängig vom Anlagenort oder der Behandlungsart, -einheit und/oder -station, wobei Anlagenort und Behandlungsart, -einheit und/oder -ort sich aus dem Zusammenhang erschließen. Insbesondere soll unter „Faser(n)“ vorrangig die ungeschnitten (Einzel-)Faser(n) bzw. der Faserstrang verstanden werden. Die Begriffe „Faser“ und „Einzelfaser“ werden zum Teil synonym verwendet.

Der Begriff „Bündel“, „Teilbündel“ oder „Faser(-teil-)bündel“ meint vorliegend eine Anordnung von einer Mehrzahl von Einzelfasern, bei der die Einzelfasern sich berührend und beispielsweise im Wesentlichen parallel zueinander oder gegeneinander um eine gemeinsame Längsachse verdrillt angeordnet sind. Ein „Bündel“, „Teilbündel“ oder „Faser(-teil-)bündel“, nachfolgend kurz „Bündel“ genannt, kann durch ein Führungs- und/oder Greifwerkzeug gehalten und/oder formiert sein, ggf. nur temporär formiert sein, wenn nicht ausdrücklich etwas Abweichendes beschrieben ist. Weiterhin kann ein „Bündel“ mindestens ein- oder zweiseitig durch eine Fixierelement, wie beispielsweise eine Banderole, eine Verschnürung, eine Klemme, mindestens temporär gegeneinander fixiert und formiert sein.

Die „Hauptförderrichtung“ bestimmt sich aus der Reihenfolge der Behandlungseinheiten und -station der Anlagen, wobei die Fasern selbst bedarfsweise mittels Führungselementen umgelenkt werden. Somit ist die streckenabhängige Fadenlaufrichtung in Richtung der Faserlängsachse ggf. unterschiedlich von der (übergeordneten) Hauptförderrichtung. Vorliegend wird die jeweils lokale „Transportrichtung“ innerhalb der Anlage insbesondere parallel zur Ausrichtung der „Faserlängsachse“ betrachtet, wobei lokale, seitliche Verschiebungen zur Veränderung der (Quer-)Abstände von Fasern zueinander hierbei eingeschlossen sein können.

Vorteilhafterweise umfasst die Anlage eine Vielzahl von Führungs- und Antriebselementen entlang der Förderstrecke des Fadens, die beispielsweise Führungsfinger, Führungswalzen, Leitbleche oder sonstige geeignete Elemente sein können, wobei sich Führungs- und Antriebselement innerhalb und außerhalb von Behandlungseinheit befinden können, auch innerhalb von Flüssigkeiten bzw. eines Flüssigkeitsvolumens.

Die von der Vorlage- und Zuführungseinheit für Medien umfassten Medien, können
- Fasermedien umfassen, nämlich Medien und Werkstoffe, aus denen die Faser selbst mindestens zeitweise gebildet wird, sowie
- Prozessmedien, die zur sonstigen Behandlung der Faser und/oder von Anlagenelementen benötigt werden. Diese können beispielsweise das Kernfluid zur Bildung der Hohlfaser, Fixiermedien für die rohen Faser, Waschflüssigkeiten, wie Wasser, Alkohole, Luft, Gase (N2), etc. oder sonstige Verbrauchsmedien sein.

Die Spinneinheit umfasst vorteilhafterweise eine Mehrzahl von Spinnköpfen, wobei die Spinnköpfe in grundsätzlich bekannterweise ausgestaltet und mit den entsprechenden Zuleitungen für Medien verbunden sind, um Hohlfasern auszubilden und in eine Fixiereinheit bzw. ein Fixiermedium zu entlassen.

Die Steuer- und Regelungseinheit kann ein- oder mehrteilig ausgebildet sein und ist ausgebildet, um die Anlage mindestens teilautomatisiert zu betreiben. Änderung von Betriebsparametern und/oder die Anzeige von anlagenrelevanten Informationen, kann über ein zentrales Cockpit und/oder dezentrale Eingabevorrichtungen erfolgen.

Auch wenn vorliegend Behandlungseinheiten, wie „Spinneinheit“, „Fixiereinheit“, „Wascheinheit“ etc. nur im Singular genannt werden, können diese auch mehrteilig aufgebaut sein bzw. mehrfach entlang der Hauptförderstrecke vorkommen. So kann beispielsweise die grundsätzlich bekannte Wascheinheit aus zwei oder mehr Waschstationen oder Waschbecken gebildet sein, die mit identischen oder unterschiedlichen (Wasch-)Medien befüllt sind und/oder deren (Wasch-)Medien unterschiedliche physikalische Eigenschaften aufweisen, wie beispielsweise Temperatur, Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung etc. Vorteilhafterweise sind die Waschflüssigkeiten wasserbasierte und/oder organische Waschflüssigkeiten.

Abgesehen von der Temperungsvorrichtung und dem Temperschritt, wird bezüglich der Anlagendetails und der Verfahrensdetails ausdrücklich auch auf die WO 2014/202324 A1 verwiesen, deren Inhalt diesbezüglich als ein Ausführungsbeispiel für die Anlage und das Verfahren ausdrücklich zum Gegenstand dieser Anmeldung gemacht wird, soweit eine Hohlfaser aus einer Polymerlösung hergestellt wird. Dies betrifft beispielsweise die eingesetzten Medien sowie die Behandlungseinheiten und deren identischer oder analoger Aufbau, wie beispielsweise die Spinneinheit, Fixiereinheit (dort „Fällbad“ genannt), Wascheinheit und/oder thermische Behandlungseinheit. Die Fixiereinheit wird in der WO 2014/202324 A1 als „Fällbad“ bezeichnet, in welchem ein Lösungsmittelaustausch erfolgt. Der Austausch erfolgt beispielsweise von einem aprotisch dipolarem Lösungsmittel der Polymerlösung, wie Dimethylformamid (DMF) und/oder N-Methyl-2-pyrrolidone (NMP), durch ein Nicht-Lösungsmittel für das Polymermaterial, wie beispielsweise Wasser. In mindestens einer nachfolgenden Wascheinheit wird dann mittels beispielsweise einem organischen Lösungsmittel oder -gemisch, wie beispielsweise Isopropanol und/oder Hexan, das Nicht-Lösungsmittel entfernt.

Dies betrifft weiterhin beispielsweise auch das Fasermedium als Feed für den Spinnschritt, welches in der WO 2014/202324 A1 „Gießlösung“ genannt wird.

Die Nachbehandlungseinheit umfasst die thermische Behandlungseinheit und damit auch die Temperstation und kann weiterhin auch stromaufwärts zur thermischen Behandlungseinheit eine Wascheinheit umfassen. Weiterhin kann die Nachbehandlungseinheit mindestens eine Coatingstation umfassen, insbesondere eine Coatingstation, in welcher als Coatingmittel ein Polymermaterial, wie beispielsweise Polydimethylsiloxan (PDMS) auf die Faser aufgetragen wird. Die Auftragung kann mittels eines Bades oder einer Sprühvorrichtung erfolgen.
Bei einer vorteilhaften Ausführungsform der Anlage kann vorgesehen werden, dass die thermische Behandlungseinheit als thermische Behandlungsstation, insbesondere als weitere thermische Behandlungsstation, eine Trocknungsstation umfasst, durch welche die Einzelfasern hindurchgeleitet werden, wobei die Trocknungsstation

- mindestens ein Trocknungselement und/oder
- eine Zu- und eine Ableitung für eine Trocknungsmedium, wie insbesondere ein erwärmtes Gas, umfasst, und

womit der Innenraum der Trocknungsstation mindestens auf eine Temperatur von über 30 °C, vorteilhafterweise von über 40 °C, und idealerweise von über 50 °C ist, wobei stoffabhängig Grenzen für den Explosionsschutz beachtet werden müssen. Hierbei ist es weiterhin vorteilhaft, wenn der Innenraum maximal bis 200 °C erwärmbar ist.

Im vorliegenden Kontext meint „Trocknungsstation“ und jede „thermische Behandlungsstation“, die nicht als „Temperstation“, „Temperofen“, „zur Temperung“ oder analog beschrieben wird, eine Station, in der keine Temperung der Faser erfolgt bzw. erfolgen kann, und somit die Faser bauartbedingt und/oder im Regelbetrieb nur weit unterhalb der Glaserweichungstemperatur erwärmt wird, bzw. erwärmbar ist.

Die Fasern werden vorzugsweise bei einer Temperatur im Bereich zwischen 50 und 100 °C getrocknet, wobei das Waschmedium, insbesondere Ethanol, Isopropanol, Butanol, Heptan und Hexan, abgezogen wird.

Die Trocknungsstation ist idealerweise so ausformt, dass der gesamte Feuchtegehalt nach der Trocknung bei 0 bis 5 Gew. %, bevorzugt <3 Gew. % und speziell bevorzugt 0,1 bis 3 Gew. % liegt. Der Feuchtegehalt wird im Wesentlichen oder ausschließlich aus den Anteilen von Wasser und dem jeweiligen Lösemittel gebildet.

Vorteilhafterweise werden die Fasern am Strang, d.h. ungeschnitten, durch diese Behandlungsstation geleitet und stromabwärts, insbesondere unmittelbar stromabwärts der

Temperstation zuführt.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Anlage kann vorgesehen werden, dass die thermische Behandlungseinheit als thermische Behandlungsstation, insbesondere als weitere Behandlungsstation, eine Entfeuchtungsstation umfasst, in welcher die Einzelfasern voneinander quer zur axialen Richtung (Faserlängsachse (A_F)) beabstandet, insbesondere als Strang und ungeschnitten, hindurchgeleitet werden, welche mindestens ein Düsenelement umfasst, welches auf den Laufweg mindestens einer Einzelfaser bzw. Fasern gerichtet ist, und mittels welcher ein Gasstrahl auf mindestens eine Einzelfaser, insbesondere eine Gruppe von Einzelfasern leitbar ist. Vorteilhafterweise werden alle Einzelfasern mittels derartigen Düsenelementen entfeuchtet. Die Entfeuchtung besteht in dieser Station im Wesentlichen drin, dass anhaftende, äußere Flüssigkeit fluiddynamisch durch einen Gasimpuls von der jeweiligen Faser abgetragen wird. Das Düsenelement kann bei einer Ausführungsvariante eine Gasdüse und/oder eine Gruppen von Gasdüsen sein, die als Spaltdüse ausgebildet sind.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Anlage kann vorgesehen werden, dass
i) vor der Temperstation eine Gruppierungsstation mit einer Gruppierungseinheit,
ii) die Temperstation innerhalb einer Gruppierungseinheit, und/oder
iii) zwischen zwei Gruppierungsstationen einer Gruppierungseinheit,
angeordnet ist, wobei in der Gruppierungsstation und/oder in der Gruppierungseinheit mindestens ein Gruppierungsmittel vorgesehen ist, mittels welchem mindestens eine Gruppe von n Einzelfasern sich gegenseitig berührend als Bündel zusammengefasst werden können, wobei n ein ganzzahliger Wert von 2 bis 180 ist, bevorzugt von 20 bis 150, idealerweise von 30 bis 120. Es sind auch Gruppen von Einzelfasern möglich, bei denen n > 180 ist, insbesondere n bis 600.

Es hat sich überraschenderweise herausgestellt, dass vorteilhafterweise Bündel von bis zu n = 180 Einzelfasern, bevorzugt von bis zu n = 120, idealerweise von bis zu n = 80 mittels des kontinuierlich arbeitenden Temperofens und der umfassten IR-Emittern gleichzeitig getempert werden können.

Bei einer vorteilhaften Ausführungsform kann vorgesehen werden, dass das (End-)Bündel in mindestens zwei Schritten gebildet wird, indem beispielsweise in einem ersten Schritt in einer Gruppierungsstation mittels Gruppierungsmitteln aus der Gesamtzahl der geförderten Einzelfasern zwei oder mehr Teilbündel gebildet werden und stromabwärts in einer Gruppierungsstation das (End-)Bündel mit der Gesamtzahl der Einzelfasern gebildet wird. Vorteilhafterweise ist hierbei die Temperstation mit dem IR-Emitter(n) des Temperofens zwischen der ersten Gruppierungsstation und der (letzten) Gruppierungsstation zur Bildung des (End-)Bündels angeordnet. Dies kann bei sehr großen Bündeln den Vorteil haben, dass eine gleichmäßigere und insbesondere schnellere Temperung aller Einzelfasern erfolgen kann. Durch einen parallele Behandlung der zwei oder mehr Teilbündel in der Temperstation bzw. dem Temperofen, kann diese baulich kleiner ausgeführt sein.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Anlage kann vorgesehen werden, dass die Temperstation und/oder der Temperofen eine Belüftungseinheit umfasst und/oder an eine Belüftungseinheit angeschlossen bzw. hiermit verbunden ist und/oder der Temperofen mindestens eine Gaseinlassöffnung aufweist, insbesondere eine Gaseinlassöffnung für atmosphärische Luft.

Auf diese Weise kann eine Gaszu- und/oder Gasausleitung erfolgen. Weiterhin können austretende Dämpfe gezielt abgeleitet werden und zugeführte Gase, wie Luft und/oder Inertgase, bspw. N2, CO2, in geeigneter Weise vorgehandelt und konditioniert werden. Die Belüftungseinheit kann somit eine Gaskonditionierungseinheit umfassen oder hieran angeschlossen sein. Die Gaskonditionierungseinheit umfasst vorteilhafterweise jegliche Behandlungselemente zur Einstellung einer vorteilhaften Gasqualität, wie beispielsweise (HEPA-)Filter, Luftentfeuchter und/oder Temperierungseinheiten. Mit einer „Belüftungseinheit“ ist jegliche angetriebene Gasführung gemeint, die nicht ausschließlich aufgrund von Thermik veranlasst ist. Die Belüftungseinheit ist mit der Temperstation und/oder der thermischen Behandlungseinheit vorteilhafterweise über eine Zuleitung und/oder eine Ableitung verbunden, wobei die Ableitung mit einer Gasreinigungseinheit verbunden sein kann, wie beispielsweise einem Gaswäscher und/oder einem Filter, insbesondere einem Aktivkohlefilter, um schädliche Gasanteile abzutrennen und/oder für die Entsorgung bereitzustellen.

Es hat sich überraschenderweise herausgestellt, dass die Gasatmosphäre im Temperofen fast keinen Einfluss auf die Qualität der Faser hat, insbesondere nicht auf die Selektivität und Permeanz. Ohne hier auf eine Interpretation festgelegt sein zu wollen wird vermutet, dass aufgrund der sehr kurzen Temperzeiten, der oxidative Einfluss von Sauerstoff sehr limitiert ist, der Temperofen also gegenüber der Atmosphäre offen sein kann.
Bei einer vorteilhaften Ausführungsform kann vorgesehen werden, dass

i) der Temperraum des Temperofen im bestimmungsgemäßen Betrieb gegenüber der Atmosphäre offen ist und/oder
ii) mindestens eine Gaseinlassöffnungen aufweist, zur geregelten (aktiven) Gaseinleitung in den Temperraum.

Hierbei meint „im bestimmungsgemäßen Betrieb“ den Zustand des Temperofens, insbesondere einen weitestgehend mechanisch verschlossenen Zustand des Temperofens, in dem die Temperung einer im Temperraum eingelegten Faser erfolgt. Weiterhin meint „gegenüber der Atmosphäre offen“, dass eine Wandöffnung und/oder ein Zuführungskanal vorgesehen ist, durch welche die Faser oder das Faserbündel in den Temperraum eingeführt werden kann und parallel ein Gas oder Gasgemisch, insb. Luft, in den Temperraum einströmen kann.

Hierbei kann bei einem für einen batchweisen oder kontinuierlichen Prozess vorgesehen Temperofen der Fasereinlass und/oder der Faserauslass als Ein- oder Auslassöffnung ausgebildet sein, wie beispielsweise als Materialaussparung. Bei einer Verbesserung dieser Ausführungsform kann eine Schleusenkammer vorgesehen sein, insbesondere eine beheizbare Schleusenkammer,

die vorzugsweise mit einem Heizgas beheizt ist, um den Eintrag von kalter und/oder unkonditionierter Umgebungsluft zu begrenzen. Das Heizgas kann Luft, ein O2-enthaltendes Gasgemisch oder ein Inertgas sein, wie beispielsweise Stickstoff (N2) oder Kohlendioxid (CO2). Es hat sich allerdings gezeigt, dass der passive Eintrag von Umgebungsluft keinen nachteiligen Einfluss auf die Faserqualität hat, insbesondere nicht auf die Selektivität und/oder Permeanz.

Zur Verbesserung der Steuer- und Regelbarkeit des Temperofen kann bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Temperofen eine Gaszuleitung umfassen, insbesondere in den den mindestens einen IR-Emitter umfassenden Innenraum (Temperraum), wobei mittels einer verbundenen oder verbindbaren Belüftungsstation in den Temperofen eine Gas(-mischung) eingebracht werden kann. Insbesondere kann Luft in den Innenraum des Temperofens einbracht werden. Die Gaszuleitung kann dabei ein oder mehrere Einlassöffnungen in den Temperofen umfassen. Weiterhin kann der Temperofen eine Gasausleitung umfassen, insbesondere aus dem den mindestens einen IR-Emitter umfassenden Innenraum, zur Ausleitung der heißen Gasmischung. Die Gasausleitung kann dabei ein oder mehrere Auslassöffnungen aus dem Temperofen umfassen.

Durch die direkte Gaseinleitung in den Temperofen wird ein vorteilhafter Freiheitsgrad zur Steuerung und Regelung des Ofens bereitgestellt und die Faser kann beispielsweise bei einer temporären Überhitzung der Bauteile des Temperofens unmittelbar geschützt werden, ohne Unterbrechung der Produktion. Alle vorgenannten Vorrichtungen, Elemente und Bauteile umfassen alle hierfür erforderlichen Sensoren sowie Steuer- und Regelungseinheiten, bzw. sind hiermit verbindbar oder verbunden.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist die Belüftungsstation alternativ oder zusätzlich ausgebildet, ein inertes Gas in den Temperofen ein- bzw. durchzuleiten, insbesondere Stickstoff (N2). Vorteilhafterweise ist die Belüftungsstation ausgebildet, eine weitgehend sauerstofffreie Atmosphäre im Temperofen herzustellen, diese kann insbesondere darin bestehen, dass der O2-Gehalt unterhalb von 1000 ppm, vorteilhafterweise unterhalb von 500 ppm, idealerweise unterhalb von 200 ppm liegt.

Die Gasführung innerhalb des Temperofens und insbesondere im Temperraum ist hierbei nicht limitiert und kann unmittelbar entlang oder quer zur Faser rfolgen und/oder mittelbar durch innere Räume des Temperofens erfolgen, die durch Bauelemente, wie beispielsweise Reflektoren oder Trennwände, von dem die Faser umgrenzenden Innenraum abgegrenzt sind. Besonders vorteilhaft ist die Gasführung oder Anströmung parallel oder weitgehend parallel zur Faser, wodurch geringere mechanische Belastung und Schwingungen in der Faser oder dem Faserbündel erzeugt werden.

Der Temperofen selbst weist bei einer vorteilhaften Ausführungsform eine Kühleinheit auf, insbesondere einen Kühleinheit, die mit einem Fluid, wie beispielsweise Wasser betrieben wird.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Anlage kann der IR-Emitter des Temperofens eine Leistung bezogen auf die Länge (m_E) des IR-Emitters in Metern von mindestens 7,5 kW/m_E aufweisen, vorteilhafterweise von mindestens 10,0 kW/m_E und idealerweise von mindestens 15 kW/m_E. Vorteilhafterweise beträgt Leistung des IR-Emitters max. 100 kW/m_E, bevorzugt max. 50 kW/m_E, und idealerweise von max. 35 kW/m_E. Insbesondere IR-Emittern, die bei einer Leistung von 8 bis 17,5 kW/m_E betrieben werden können, kann eine polymere Hohlfaser oder ein Bündel aus bis zu 100 Einzelfasern innerhalb einer Zeitdauer von weniger als 15 s, idealerweise weniger als 10 s getempert werden und spezifikationsgemäße Permeanzen und Selektivitäten erreicht werden.

Innenraum des Temperofens kann neben dem mindestens einen IR-Emitter in dem die Faser umgebenden Innenraum (Temperraum) einen oder mehrere Reflektoren aufweisen. Hierbei kann mindestens ein Reflektor an einer Wand des IR-Emitters angebracht sein oder mindestens einen Teil einer Wand oder eines Wandabschnitts des Temperofens bilden.

Bei einer weiteren, vorteilhaften Ausführungsform kann vorgesehen werden, dass der Temperofen zwei oder mehrteilige ausgebildet ist und hierzu mindestens zwei voneinander abgeschirmte (Ofen-)Innenraum oder (Ofen-)Abschnitt aufweist. Ein solcher Temperofen ist ausgebildet, um in einem ersten Innenraum oder Abschnitt für eine erste Behandlungsdauer mit einer ersten IR-Strahlungsleistung die Faser in mindestens einem Erwärmungsschritt zu erwärmen und in einem weiteren Innenraum oder Abschnitt die Faser stromabwärts für eine weitere Behandlungsdauer mit einer weiteren, von der ersten unterschiedlichen IR-Strahlungsleistung die Faser in mindestens einem Leistungsschritt zu tempern. Hierbei meint „abgeschirmt“, dass ein mindestens ein Trenn- und/oder Umlenkelemente, insbesondere ein Trennelement mit einer geeigneten geringen Durchlassöffnung vorgesehen ist, dass insbesondere die IR-Strahlung aus dem weiteren Innenraum oder Abschnitt nicht in den ersten Innenraum oder Abschnitte gelangt, in dem die Erwärmung der Faser durchführbar ist. Das Trennelement kann auch ein Schleusenelement oder Zwischenraum ohne Heizelement sein, insbesondere ohne IR-Emitter.

Bei einer weiteren, vorteilhaften Ausführungsform kann vor- und/oder nach der Temperstation mindestens ein Faserspeicher vorgesehen werden, so dass die Faser oder das Bündel innerhalb der Temperstation mit einer verminderten Fördergeschwindigkeit gefördert werden kann oder mindestens zeitweise gestoppt werden kann, also eine Fördergeschwindigkeit von 0 m/s für einen definierte Teildauer der Temperung aufweisen kann. Idealerweise ist der Faserspeicher motorisch antreibbar und/oder steuerbar, besonders vorteilhaft ist der Faserspeicher in eine benachbarte Behandlungseinheit integriert.

Vorteilhafterweise ist bei der Anlage vorgesehen, dass der Temperofen und/oder der IR-Emitter kanal- oder gassenartig ausgebildet ist, und mindestens zwei Wände oder Wandabschnitte parallel zur lokalen Transportrichtung der Faser, insbesondere in Richtung der Faserlängsachse (A_F), aufweist, wobei die Wände oder Wandabschnitte mit vorgenannten Reflektoren belegt oder hieraus

mindestens teilweise gebildet sein können. Somit wird eine Faser ungeschnitten am Strang durch die Temperstation bzw. den IR-Emitter geleitet und während der Förderung in Richtung der Faserachse getempert. Der IR-Emitter kann somit dieser Ausführungsform eine Eingangsöffnung und eine Ausgangsöffnung aufweisen, in die kontinuierlich die Faser ein- und ausgeleitet wird. Zur Verbesserung der Steuer- und Regelbarkeit des Temperschritts und des IR-Emitters, kann der IR-Emitter mindestens eine Führungs- und Umlenkung umfassen, insbesondere eine verfahrbare Umlenkung, mittels welcher die Faser im Bereich und/oder innerhalb des IR-Emitters mindestens einmal umgelenkt wird. Es ist besonders vorteilhaft, wenn die Führungs- und Umlenkung verstellbar ausgeführt wird, insbesondere motorisch verstellbar ausgeführt, so dass die Verweilzeit (Temperungszeit) einer Faser, bzw. eines Faserabschnitts in dem IR-Emitter und insbesondere im Bereich der IR-Strahlung bedarfsweise gesteuert werden kann.

Bei einer sehr wirtschaftlichen Ausführungsform des IR-Emitter oder der Temperstation, ist diese/r als eine Gasse oder Kanal mit zur Transportrichtung, insbesondere der Faserlängsachse, parallelen Wänden ausgerichtet, wobei mindestens ein IR-Strahlungsmittel stabförmige ausgebildet ist und ebenfalls parallel oder weitgehend parallel zur Transportrichtung, insbesondere der Faserlängsachse, ausgerichtet ist. Grundsätzlich ist die Lage und die Anzahl der IR-Emitter relativ zu der geförderten Faser nicht eingeschränkt, wenn die qualitätsrelevanten Parameter, wie beispielsweise Strahlungsleistung der Emitter, Einwirkungsdauer auf die Faser und Gleichmäßigkeit der Strahlungsleitung auf die Faser vom Fachmann beachtet werden.

Gemäß einer sehr vorteilhaften Ausführungsform der Anlage bzw. in analoger Weise auch des Verfahrens, kann vorsehen sein, dass die Anlage sowie das Verfahren ausgebildet sind, die Faser bzw. das Faserbündel von der Spinneinheit bis mindestens zum Ausgang der Temperstation kontinuierlich zu transportierten. Insbesondere ist es vorteilhaft, die Einzelfasern ungeschnitten jeweils am Strang bzw. das mindestens eine Faserbündel ungeschnitten am Strang von der Spinneinheit bis durch die Temperstation hindurch kontinuierlich zu fördern.

Hierbei ist unter einer „kontinuierlichen“ Förderung oder einem solchen Transport der Faser auch eine mindestens zeitweise Zwischenspeicherung und/oder Stapelung in einem Faserspeicher zu verstehen.

Die mindestens eine Temperstation mit dem mindestens einen Temperofen kann vorteilhafterweise an einem der folgenden Anlagenorte angeordnet sein:

- Stromabwärts zur Wascheinheit, wobei stromaufwärts zur Temperstation keine (weitere) thermische Behandlungsstation der thermischen Behandlungseinheit angeordnet ist,
- Stromabwärts zu mindestens einer Entfeuchtungsstation der thermischen Behandlungseinheit,

- Stromabwärts zu mindestens einer Trocknungsstation, insbesondere stromabwärts zu einer Trocknungsstation, die stromabwärts zu einer Coatingstation oder Applikationsstation angeordnet ist.

Insgesamt dient die Temperstation insbesondere dazu, die (äußerlich) nasse oder mit einer (innerlich) Restfeuchte an beispielsweise Waschmittel, Lösungsmittel und/oder Austauschmedium belastete (Roh-)Faser abschließend zu tempern, so dass vom Fachmann ein entsprechender Anlagenort vorgesehen werden kann, an dem die Faser nass, d.h. ungetrocknet oder mit einer definierten Restfeuchte nach dem Durchlaufen einer Trocknungsstation ankommt.

Hierbei meint eine „nasse Faser“, dass die Faser nach der Wascheinheit noch keine thermische Behandlungsstation durchlaufen hat oder lediglich anhaftendes (äußeres) Fluide abgestreift, abgetropft und/oder mit eine Gasstrahl unter Druck oder Vakuum grob abgetragen wurde. Die Temperstation ist regelmäßig nach und außerhalb der Wascheinheit.

Bei einer besonderes vorteilhaften Ausführungsform der Anlage ist stromabwärts zur Temperstation eine Konfektionierungseinheit angeordnet ist. Die Konfektionierungseinheit kann insbesondere mindestens ein Wickelrad oder ein Bündelwerkzeug und/oder ein Applikator umfassen. Insgesamt soll der Begriff der „Konfektionierungseinheit“ nicht einschränkend verstanden werden und einen Einheit beschreiben, in der jede Art der temporären oder dauerhaften Verbindung von Einzelfasern erfolgt. Insbesondere kann mit dem Wickelrad Einzelfasern oder ein Faserbündel ungeschnitten, kontinuierlich aufgewickelt werden, bis zur vollständigen Beladung des Wickelrades und dann geschnitten und anschließend auf einen definierte Länge geschnitten und/oder auf sonstige Weise bearbeitet werden. Mittels eines Bündelwerkzeuges kann zusätzlich oder alternativ eine temporäre oder dauerhafte Bündelbildung einer (Teil-)Gruppe von Fasern erfolgen. Hierbei werden beispielsweise alle oder eine Teilzahl der ungeschnittenen Fasern inline umwickelt und ggf. gegeneinander verspannt. Zur Verspannung kann ein Band, eine Banderole oder ein sonstiges Umschlingungsmittel um die Fasergruppe geschlungen und geeignet fixiert werden. Die Konfektionierungseinheit kann vollständig oder teilweise von der Nachbehandlungseinheit umfasst sein oder an die Nachbehandlungsstation angeschlossen sein. Die gebündelten Gruppen von Einzelfasern (Faserbündel) können vorteilhafterweise im Bereich der Umwicklung geschnitten werden, wobei dies nicht einschränkend zu verstehen ist und der Schnitt in Transportrichtung des Faserbündels vor, hinter oder durch das Band, die Banderole oder das Umschlingungsmittel hindurch erfolgen kann.

Alternativ ist die Konfektionierungseinheit stromaufwärts zur Temperstation angeordnet, wobei die Temperstation mindestens einen Temperofen mit mindestens einem IR-Emitter umfasst.

Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der Anlage sieht vor, dass ein Faserspeicher(-einheit) vorgesehen ist, auch „Bandspeicher“ genannt. Dieser kann insbesondere stromaufwärts zur Temperstation angeordnet sein. Dieser Faserspeicher ist vorteilhafterweise mit verfahrbaren

Umlenkelementen ausgestattet, die motorisch antreibbar und/oder steuer- und regelbar sind. Auf diese Weise kann ermöglicht werden, dass kontinuierlich stromaufwärts zur Temperstation Fasern produziert werden und stromabwärts zum Faserspeicher die Fasern oder das (Faser-)Bündel diskontinuierlich und/oder mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten abgezogen werden kann. Insbesondere kann durch den Faserspeicher ein Stopp der Faser und/oder des Faserbündels in der Temperstation ermöglicht werden.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform, umfasst die Konfektionierungseinheit eine Schneidvorrichtung für die Fasern bzw. die Fasergruppe. Insbesondere eine Schneidvorrichtung, mittels welcher die geförderten Fasern oder Fasergruppe, inline geschnitten werden kann. Hierzu ist es insbesondere vorteilhaft, wenn das Bündelwerkzeug und/oder die Schneidvorrichtung in Förderrichtung der Faser verfahr- und/oder verschwenkbar ist, um die eine Unterbrechung der Faserproduktion zu vermeiden. Die Konfektionierungseinheit kann weiterhin ausgebildet sein, um aus einer Mehrzahl von y Teilbündeln aus jeweils n Fasern, ein (End-)Bündel aus y x n Fasern bzw. den y Teilbündeln zu formen und mindestens temporär zu fixieren.

Hierbei meint „temporär fixieren“, dass die Fasern einer solchen Gruppe derart gegeneinander fixiert sind, beispielsweise verspannt sind, dass diese als Gruppe transportierbar und/oder weiterbehandelbar sind und das Herausfallen einer Einzelfaser sicher verhindert wird. Üblicherweise erfolgt nachfolgen zur Bildung solcher (Teil-) oder (End-)Bündel aus einer Mehrzahl von Fasern, ein Verkleben (Potting) und eine Endbearbeitung, d.h. Bildung der Filterkartusche, bzw. die Fertigung des Filtermoduls unter Einbringung der Filterkartusche.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform, umfasst die Nachbehandlungseinheit der Anlage eine Entladungsstation. Diese dient insbesondere eingangs einer Trocknungseinheit oder eingangs einer Konfektionierungseinheit dazu, störende elektrische Ladungen abzubauen, wozu beispielsweise ein Sprühmedium mit einem Elektrolyten und/oder einer eisenhaltigen Substanz auf die Fasern appliziert wird. Bei einer alternativen Ausführungsform erfolgt die elektrische Entladung durch die Kontaktierung insbesondere schleifende Kontaktierung, mit einem geerdeten elektrischen Leiter.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform, umfasst die Nachbehandlungseinheit der Anlage eine Coatingstation, wobei die Coatingstation zur Aufbringung mindestens eines Coatings auf die Trennschicht aus beispielsweise einem Polymermaterial auf die Grundfaser, wobei die Trennschicht mit dem Coating und die gesamte Faser oder das mindestens eine Faserbündel nachfolgend einer Temperung im Temperofen unterzogen werden muss, um die gewünschten Trenneigenschaften der Hohlfasermembran einzustellen.

Bei einer sehr vorteilhaften Ausführungsform kann in der Coatingstation (Coatingschritt) Polydimethylsiloxan (PDMS) als Coatingmittel appliziert werden, beispielsweise mittels einer Sprühvorrichtung oder mittels eines Tauchbades. Im Falle einer ISA-Membrane dient das PDMS

Coating beispielsweise zum Verschluss von oberflächlichen Defekten in der Trennschicht und beeinflusst ggf. weiterhin geringfügig auch die Trenneigenschaften der Trennschicht. Eine derart beschichtete Faser wird anschließend vorteilhafterweise in einer Trocknungsstation getrocknet und im Anschluss stromabwärts getempert, wobei im Temperschritt mittels IR-Strahlung insgesamt die gewünschten Trenneigenschaften der Hohlfaser ausgebildet werden. Idealerweise schließt sich an jede Coatingstation jeweils eine Trocknungsstation an.

Die vorliegenden Hohlfasern zur Gastrennung können insbesondere zwei Grundarten sein:

i) ISA-Membrane
Diese weisen eine Trägerstruktur und eine dünne äußere Schicht als Trennschicht auf, wobei die Trägerstruktur und die äußere Trennschicht monolithisch aus demselben Material im Spinnprozess hergestellt werden und spezifischen hohen Trenneigenschaften im Temperschritt mittels IR-Strahlung gebildet werden. Hierbei wird eine erste Trennschicht bei dem Austausch (Verdrängung) des Lösungsmittels in der Fixierstation der Austauscheinheit gebildet, da an der Außenseite der Membran durch die Verdrängung des Lösungsmittels eine verdichtete Schicht in der Art einer Haut (Skin) ausbildet wird. Die Dicke dieser Trennschicht lässt sich beispielsweise durch den Abstand der Spinndüse vom Fixierbad einstellen. Es kann bei einer weiteren, vorteilhaften Ausführungsform vorgesehen werden, die Trennschicht bzw. die Faser mit der genannten Trennschicht mit mindestens einem zur Basisfaser unterschiedlichen Polymermaterial zu beschichtet (Coating/-schritt), insbesondere mit dem Polymermaterial Polydimethylsiloxan (PDMS).

ii) Asymmetrische Komposit-Membrane (AK-Membrane), die eine Basisfaser als Grund- oder Trägerstruktur und eine aufgetragene äußere Trennschicht umfasst, wobei mindestens eine weitere Coatingschicht umfasst sein kann.
Hierzu wird in einer Spinnvorrichtung und den nachfolgenden Austauschschritten eine poröse Basisfaser gesponnen, die im Unterschied zur ISA-Membrane noch keine äußere Trennschicht aufweist. Diese Basisfaser wird dann mit mindestens einem zur Basisfaser unterschiedlichen Material als äußere Trennschicht in einer Applikationsstation beschichtet (Beschichtungsschritt). Diese Trennschicht kann

i) ein Polymermaterial umfassen oder hieraus im Wesentlichen bestehen, das einer der hierin beschriebenen Polymerlösungen entspricht, wie beispielsweise aromatisches Polyimide, aromatisches Polyetherimide, aromatische Polypolyamide, Polyarylenether, aromatisches Polybenzimidazole und/oder Mischungen hieraus, wobei ggf. mindestens ein 2D oder 3D Füllstoffen umfasst sein kann, wie beispielsweise Zeolithe oder metall-organische Gerüstmaterialien oder

ii) im Wesentlichen aus einem anorganischen Material gebildet sein, wie

beispielsweise mindestens einem Zeolith und/oder mindestens einer metall-organischen Verbindung, wobei geeignete Bindemittel vorgesehen sein können.

Die Basisfaser und/oder die Trennschicht einer AK-Membrane nach i) oder ii) kann in analogere Weise wie die ISA-Membrane mit einem Coating versehen werden, insbesondere Polydimethylsiloxan (PDMS).

Bei einer Ausführungsvariante der Anlage und des Verfahrens kann somit mindestens eine Applikationsstation bzw. Beschichtungsschritt zur Aufbringung einer Trennschicht auf eine Basisfaser vorgesehen sein, zur Herstellung einer AK-Membrane. Weiterhin kann mindestens eine Coatingstation vorgesehen sein, wie vorstehend ausgeführt.

Erfindungsgemäß werden die beiden vorgenannten Grundarten einer Hohlfasermembran final im Temperofen mittels IR-Strahlung getempert, wobei die gewünschten hohen Trenneigenschaften ausgebildet werden.

Vorteilhafterweise befindet sich unmittelbar stromabwärts zu der mindestens einen Applikationsstation und/oder der mindestens einen Coatingstation eine Trocknungsstation, insbesondere ist unmittelbar stromabwärts zu jeder Applikationsstation und/oder Coatingstation eine Trocknungsstation vorgesehen.

Von der Erfindung ist weiterhin ein Verfahren zur Herstellung einer Faser umfasst, die aus einem Polymersubstrat gesponnen wird, wobei die Faser insbesondere eine Hohlfaser zur Gastrennung ist, und wobei umfassend die folgenden Schritte:
- Spinnenschritt der Faser aus der Polymerlösung,
- Austauschschritt zum Austausch eines Lösungsmittels, insbesondere eines wässrigen Lösungsmittels, wobei der Austauschschritt mindestens einen Fixierschritt mit einem flüssigen Fixiermedium und/oder mindestens einen Waschschritt in/mit einem Waschmedium umfassen kann, insbesondere in einem Becken mit einem Waschmedium, wobei der Waschschritt sich insbesondere an den Fixierschritt anschließen kann,
- mindestens ein Trocknungsschritt, umfassend einen Temperschritt, in welchem die Faser auf eine Temperatur unterhalb der Glaserweichungstemperatur des Polymersubstrats erwärmt wird, erwärmt wird, wobei die Faser im Temperschritt mittels mindestens eines kontinuierlich betriebenen Temperofens (251) durch IR-Emitters erwärmt wird, d.h. getempert wird.

Hierbei kann, wie bereits weiter oben zur Anlage ausgeführt, bei einer vorteilhaften Version des Verfahrens vorgesehen werden, dass beim Temperschritt die Faser derart getempert bzw. erwärmt wird, indem die Faser für eine definierte Zeit (Temperungszeit) , auch Temperungszeit genannt, bis zu einer Temperatur erwärmt wird, die unterhalb der Glaserweichungstemperatur (T_G) liegt, insbesondere und auch

i) im Bereich bis 80 °C unter der Glaserweichungstemperatur (T_G) liegt, und/oder
ii) im Bereich von größer 250 °C liegt.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform des Verfahrens kann vorgesehen werden, beim Temperschritt die Faser derart zu tempern bzw. zu erwärmt, dass die Faser für eine definierte Zeit (Temperungszeit)

i) bis zu einer Grenztemperatur zu erwärmen, die max. 1 °C insbesondere max. 4 °C unterhalb der Glaserweichungstemperatur (T_G) liegt, erwärmt wird, insbesondere auf eine Grenztemperatur im Bereich von 70 °C bis 1 °C unterhalb der Glaserweichungstemperatur (T_G) zu erwärmen, bevorzugt im Bereich von 65 °C bis 1 °C zu erwärmen und/oder
ii) die Faser auf eine Temperatur von größer 280 °C bis 450 °C und unterhalb der Glaserweichungstemperatur (T_G) zu erwärmen.

Hierbei ist insbesondere vorteilhaft, wenn der Abstand von max. 1 °C bis 4 °C von der Glaserweichungstemperatur (T_G) eingehalten wird, um die Struktur, insbesondere der gewünschten Porosität, der Hohlfaser nicht zu beschädigen. Zur Vermeidung von Schädigungen der Faser aufgrund von Schwankungen der Beheizungstemperatur, kann bevorzugt sein, dass statt des vorgenannten max. 1 °C Abstandes zum T_G ein Abstand von max. 1,5 °C, 2 °C, 2,5 °C, 3 °C oder 3,5 °C zum T_G vorgesehen wird. Der jeweilige max. Temperaturabstand zum T_G kann in Abhängigkeit vom jeweiligen Fasermaterial und von der Anlage und/oder dem Verfahren vorgesehen werden.

Hierbei meint analogerweise „max. 1 °C insbesondere max. 4 °C“, dass es insbesondere vorteilhaft ist, wenn der Abstand von mindestens 1 °C, 1,5 °C bis beispielsweise 4 °C von der jeweiligen Glaserweichungstemperatur (T_G) des Fasermaterials (Polymersubstrat) eingehalten wird, um die Struktur, insbesondere der gewünschten Porosität, der Hohlfaser nicht zu beschädigen. Dies gilt analog für die Degenerations- oder Zersetzungstemperatur (T_Z).

Auch wenn vorliegend von einer einzelnen Faser gesprochen wird, kann auch einen Gruppe von Einzelfasern bzw. ein Faserbündel in analoger Weise behandelt werden. Insbesondere besteht eine Verfahrensvariante darin, dass mittels der IR-Strahlung, ein Faserbündel aus n Einzelfaser von bis zu n = 600 behandelt wird, wie vorstehend ausgeführt. Dabei kann es vorteilhaft sein, wenn die Einzelfasern in einem Faserbündel bzgl. einer gemeinsamen (theoretischen) zentralen Längsachse gegeneinander verwunden, verdreht oder verdrillt sind. Dies hat den Vorteil, dass die Einzelfasern in einen innigeren Kontakt geraten, somit dichter gepackt sind und bei Schrumpfungsprozessen die Gefahr von Faserbrüchen an Einzelfasern gesenkt wird.

Bei einer bevorzugten Verfahrensvariante kann beim Temperschritt die Faser mittels des IR-Emitters mit einer IR-Strahlungsleistung bezogen auf die Emitterlänge in Metern (m_E) von

mindestens 5,0 kW/m_E, vorzugsweise mindestens 7,5 kW/m_E und idealerwiese mindestens 10 kW/m_E behandelt werden. Hierbei kann es weiterhin vorteilhaft sein, wenn die IR-Strahlungsleistung max. 100 kW/m_E, vorteilhafterweise max. 50 kW/m_E und idealerweise max. 35 kW/m_E beträgt.

Alle Aspekte und Vorteile, die hierin im Zusammenhang mit der Anlagen beschrieben sind, gelten identisch oder in analoger Weise auch für das Verfahren und umgekehrt, sofern sich diese nicht technisch ausschließen bzw. unmöglich sind.

Vorteilhafterweise findet der Temperschritt in einer inerten oder weitgehend inerten Atmosphäre statt, in der der O_2 Gehalt in dem Temperofen unterhalb von 1.000 ppm liegt, vorteilhafterweise unterhalb von 500 ppm und idealerweise unterhalb von 200 ppm. Die IR-Strahlung wird vorteilhafterweise von dem IR-Emitter mindestens einseitig in Richtung der Faser oder des Faserbündels im Temperofen eingebracht und vorteilhafterweise durch Reflektion an mindestens einem Reflektor innerhalb des Temperofens verteilt.

Als herausragenden Effekt wurde überraschend festgestellt, dass die gesamte Temperungszeit unter Verwendung eines IR-Emitters für ein Bündel aus bis zu 80 Einzelfasern nur beispielsweise 0,1% der Temperungsdauer erfordert, verglichen zu einem üblichen Temperofen, wie beispielsweise ein Umluft oder Konvektionsofen. Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform des Verfahrens kann somit vorgesehen sein, dass die Temperungszeit im Bereich von 0,1 bis 60 s liegt, bevorzugt 0,5 bis 30 s, idealerweise 1 bis 20 s.

Eine weitere Verfahrensausführung kann darin bestehen, dass der Temperschritt mindestens aus zwei Teilschritten besteht, nämlich einem
1) Erwärmungsschritt, bei dem die IR-Strahlungsleistung im Bereich von 5 bis 25 % der maximalen IR-Strahlungsleistung beträgt, vorteilhafterweise 7,5 bis 15 %, idealerweise 10%; und
2) Leistungsschritt, bei dem die definierte, maximale IR-Strahlungsleistung vom IR-Emitter des Temperofens abgestrahlt wird.

Die Dauer des Erwärmungsschrittes beträgt vorteilhafterwiese 1/6 bis 1/3 des Leistungsschritts, wobei der Leistungsschritt vorteilhafterweise im Bereich von ca. 0,1 bis 60 s liegt, bevorzugt 0,5 bis 30 s, idealerweise 1 bis 20 s.

Auch wenn vorliegend zw. „Temperschritt“ und „Leistungsschritt“ unterschieden wird, wird „Temperschritt“ zum Teil auch synonym für den „Leistungsschritt“ genutzt, beim dem die maximale Strahlungsleistung vom IR-Emitter abgestrahlt wird.

Bei einer vorteilhaften Ausführungsform des Verfahrens kann vorgesehen werden, dass
- die flüssige Polymerlösung und/oder
- die aus der Polymerlösung gesponnene Faser oder das Substrat

nach der Fixierung und/oder nach mindestens einer thermischen Behandlungsstation der thermischen Behandlungseinheit einen Extinktionswert E von kleiner 0,5; vorteilhafterweise von kleiner 0,3; idealerweise von kleiner 0,2 aufweist; wobei der Extinktionswert E definiert ist als Quotient $E = lg (I_{in} / I_{out})$ mit I_{in} als Intensität der einfallenden IR-Strahlung und I_{out} als Intensität der austretenden IR-Strahlung.

Hierbei wird die Extinktion der IR-Strahlung in Abhängigkeit von der Wellenlänge und der Schichtdicke vorgenommen.

Die Extinktion der flüssigen oder wieder verflüssigten Polymerlösung kann abhängig von dem Wellenlängenbereich gemessen werden mittels eines Vis-Spektrophotometers, wie beispielsweise UV-VIS-Spektrometer Specord 210 plus der Firma Analytik Jena und/oder einem IR-Spektrometer, wie das FT-IR-Spektrometer Vertex 70 der Firma Bruker Corporation. Flüssige Polymerproben wurden in eine Küvette des jeweiligen Spektrometers eingebracht. Eine Feststoffprobe (Folienstück) wurde in einen jeweils angeschlossenen Probenhalter der vorgenannten Spektrometer eingebracht und vermessen. Hierbei wurden die Wellenlengen teilweise vom jeweiligen Spektrometer begrenzt und bedarfsweise zusätzlich durch einen Detektor im Probenhalter aufgelöst. Der zugehörige Probenhalter für Feststoffe des UV-VIS Spektrometers ist eine sogenannte Integrationskugel der Firma Analytik Jena, der des FT-IR Spektrometers Vertex 70 ist beispielsweise der Integration Sphere der Firma Bruker.

Mit dem Spektrometer VERTEX 70 konnte der Spektralbereich von 10 cm-1 (ferner IR/THz-Bereich), der mittlere und nahe IR-Bereich bis zum sichtbaren/UV-Spektralbereich (28.000 cm^{-1}) vermessen werden.

Zur Vermessung des festen Substrates wurden Folienstücke hergestellt. Hierzu wurde 25%ige Polymerlösung (beispielsweise enthaltend Polyimid) mit dem in der Produktion genutzten Lösungsmittel auf einer Glasplatte aufgebracht und mit einer Rakel (casting knife) auf eine definierte Schichtdicke von 0,5 mm gebracht. Anschließend wurde das Lösungsmittel unter inerter Atmosphäre in einem Ofen bei ca. 80 °C für mindestens 60 Minuten verdampft. Die verfestigten Folienstücke wurden anschließend mit Wasser von der Glasplatte gelöst und erneut getrocknet. Die Stärke der verfestigten Folienstücke lag im Bereich von 30 µm bis 120 µm.

Das derart hergestellt Folienstück wurde in den jeweiligen Probenhalter eingebracht und die Extinktion bzw. der Extinktionskoeffizienten des transmittierten Strahls durch das Folienstück mit dem jeweiligen Spektrometer wellenlängenabhängig erfasst.

Es hat sich als insbesondere vorteilhaft herausgestellt, wenn die Extinktion (IR-Absorption) der Faser bzw. eines analogen Polymersubstrates (fest) oder der Polymerlösung (flüssig) gegenüber IR-Strahlungen im Bereich von 0,6 bis 1,8 µm, idealerweise im Bereich von 0,75 bis 1,75 liegt. Anders beschrieben, es ist vorteilhaft, wenn insbesondere das verfestigten nicht getemperte

Polymersubstrat weitgehend transparent gegenüber den genannten Wellenlängen der IR-Strahlung ist, so dass auch für ein Faserbündel eine sehr gute, homogene Erwärmung aller Fasern ermöglicht wird. Insbesondere bevorzugt ist der Wellenlängenbereich der jeweiligen Maxima der IR-Strahlungen zwischen 800 nm bis 2000 nm aufweist, bei Leistungen der IR-Emitter bezogen auf die Länge des IR-Strahlers von 2 bis 20 kW/m_E.

Es konnte überraschenderweise beobachtet werden, dass aufgrund der o.g. geringen Extinktion in den genannten Wellenlängenbereichen auch einen große Gruppe aus Einzelfaser als (dichtes) Bündel getempert werden kann, die dennoch als Einzelfasern sehr homogene Trenneigenschaften bzgl. Permeanz und Selektivität aufweisen. Bei den vorliegenden Versuchen wurden Gruppen aus bis zu 100 Einzelfasern als Faserbündel mittels IR-Strahlung erfolgreich getempert, die die erforderliche Spezifikation analog zu den konventionell getemperten Fasern erreichten.

Bei einer weiteren Verfahrensausführung kann ein Vorteil darin bestehen, dass die Faser mindestens während einer Teildauer des Temperschritts gefördert wird. Vorteilhafterweise wird die Faser während des gesamten Temperschritts gefördert.

Gemäß einer weiter verbesserten Verfahrensvariante kann vorgesehen werden, dass der Temperofen

i) gegenüber der Atmosphäre offen ist, insbesondere Ein- oder Auslassöffnung für die Faser aufweist und ein passiver Gas- oder Lufteintrag mit der geförderten Faser in den Temperofen erfolgt und/oder
ii) eine Belüftungsstation umfasst oder hiermit verbindbar ist, worüber eine Gas(-mischung), insbesondere Luft, N2 und/oder CO2, in den Innenraum (Temperraum) des Temperofens einbracht wird.

Bei alternativen Ausführungsformen des Verfahrens erfolgt, wie vorstehend für dem Temperofen ausgeführt, eine Gasführung über Schleusen.

Somit kann bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform des Verfahrens vorgesehen sein, dass der Temperofen gegenüber der Atmosphäre offen ist. Hierbei kann atmosphärisches Gas (Luft) bei einem für einen kontinuierlichen Prozess über den Fasereinlass und/oder den Faserauslass als Ein- oder Auslassöffnung geleitet werden. Bei einer einfachen Verfahrensvariante ist keine Schleusenkammer vorgesehen. Bei einer Verbesserung dieser Ausführungsform kann eine Schleusenkammer vorgesehen sein, insbesondere eine beheizbare Schleusenkammer, worüber einen erste Temperierung der Faser und Abschirmung des Innenraumes des Temperofens erfolgt. Vorzugsweise wird ein Heizgas in den Schleusenraum eingeleitet, um den Eintrag von kalter oder in der Temperatur stark schwankender Umgebungsluft zu begrenzen oder die thermische Belastung der Faser am Auslass zu vermindern. Alternativ kann die Schleusenkammer ein Heizelement umfassen. Hierbei kann das Heizgas ein Gasgemisch, wie

Luft, ein O2-enthaltendes Gasgemisch sein. Alternativ oder zusätzlich kann das Gas(-gemisch) mindestens ein Inertgas umfassen, wie beispielsweise Stickstoff (N_2) oder Kohlendioxid (CO_2).

Zur Verbesserung der Steuer- und Regelbarkeit des Herstellverfahrens kann bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform eine Gaszuleitung erfolgen, insbesondere in den den mindestens einen IR-Emitter umfassenden Innenraum, wobei mittels einer verbundenen oder verbindbaren Belüftungsstation in den Temperofen mittels beispielsweise eines Kompressors (aktiv) eine Gasmischung, insbesondere Luft, in den Innenraum einbracht wird. Die Gaszuleitung kann dabei über ein oder mehrere Einlassöffnungen in den Temperofen erfolgen, wobei eine Gasausleitung vorgesehen ist.

Durch die direkte Gaseinleitung wird ein Freiheitsgrad zur Steuerung und Regelung des Ofens für das Verfahren bereitgestellt und die Faser bei beispielsweise einer temporären Überhitzung der Bauteile des Temperofens effektiv geschützt, ohne Unterbrechung des Verfahrens.

Auch wenn vorliegend die Anlage und das Verfahren vorrangig für eine kontinuierliche Temperung beschrieben sind, ist die vorliegende Erfindung hierauf nicht beschränkt. Der IR-Emitter kann auch eine Batch-Einheit sein, so dass die Fasern, ein Faserbündel oder einer Gruppe von Faserbündeln im Batch-Betreib mittels mindestens eines IR-Emitters getempert werden. Hierzu werden die Fasern vorteilhafterweise vor dem Tempern auf eine gewünschte Länge geschnitten und/oder vorteilhafterweise mindestens temporär als (Teil-)Bündel fixiert, analog zu den hierin beschriebenen Behandlungseinheiten der Anlagen. Zur batchweisen Temperung ist es insgesamt vorteilhaft, die Einzelfasern bzw. die Faserbündel in Achsrichtung senkrecht hängend zu tempern, so dass die Einzelfasern weitgehend parallel zueinander ausgerichtet bleiben.

Bei der Absorption handelt es sich um ein Maß für die Abschwächung der Intensität des Lichts oder der Strahlung, auch von IR-Strahlung, durch Adsorption oder Streuung, nachdem der Strahl eine Materie durchquert hat. Die Absorption wird mittels Spektrometern vorgenommen.

Nachfolgend wird die erfindungsgemäße Lösung anhand von Ausführungsbeispiele sind im Detail beschrieben. Es zeigt:

- Fig. 1 die Anlage in einer ersten Ausführungsvariante;
- Fig. 2 die Anlage in einer zweiten Ausführungsvariante;
- Fig. 3 die Anlage in einer dritten Ausführungsvariante;
- Fig. 4 die Anlage in einer vierten Ausführungsvariante;
- Fig. 5 die Anlage in einer fünften Ausführungsvariante;
- Fig. 6 zwei Ausführungsvarianten für den Transport der Faser in der Temperstation;
- Fig. 7 den Versuchsaufbau als schematische Darstellung;
- Fig. 8 einen Graphen als Vergleich der Temperaturverläufe aus den Versuchen gegenüber der bekannten Temperung;

Fig. 9 einen Graphen der Extinktion über der IR-Spektralstrahlung eines Emitters sowie neun Kennkurven;

Fig. 10 vier Graphen in zwei Teildarstellungen I., II., die einen Vergleich von Bündeln aus 10 und aus 80 Einzelfasern hinsichtlich Permeanz und Selektivität gegenüberstellen;

Fig. 11 zwei Graphen für unterschiedliche Faserbündel, als normalisierte Permeanz; Selektivität gegenüber der eingebrachten Strahlungsenergie und

Fig. 12 einen Graphen aus Vergleichsmessungen zur Transmission.

Die Anlagen 100, wie sie in Figur 1 dargestellt ist, hat einen Hauptförderrichtung A, die von links nach rechts dargestellt ist und in einem kartesischen System die x-Richtung darstellt. Die Anlagen 100 umfasst eine Steuer- und Regelungseinheit 130, einen Vorlage- und Zuführungseinheit 140, eine Spinneinheit 106, eine Fixiereinheit 150, eine Wascheinheit 160 und eine Nachbehandlungseinheit 170. Die Nachbehandlungseinheit 170 umfasst eine thermische Behandlungseinheit 200, mit einer Trocknungsstation 210 der erfindungsgemäßen Temperstation 250 sowie eine Konfektionierungseinheit 180. Die Faser 110 wird in Hauptförderrichtung A durch die Anlage 100 transportiert und auf Teilstrecken mehrfach in y-Richtung oder z-Richtung ab- und umgelenkt. Die Steuer- und Regelungseinheit 130 ist über Datenleitungen 132 mit der Anlage 100 oder Teilen hiervon verbunden, wie mit einer strichpunktierten Leitung beispielhaft skizziert wurde.

Sonstige Elemente für die Energie- und Datenleitung, sowie Automation einer solchen Anlage 100 sind dem Fachmann dem Grunde nach bekannt und hier nicht weiter dargestellt. Die Vorlage- und Zuführungseinheit 140 ist ebenfalls nur skizziert dargestellt und umfasst Tanks 142 oder ein Tanklager für Medien, insbesondere für die Polymerlösung 102 aus der die Faser 110 gebildet wird, sowie Prozessmedien 104, eine Pumpe(-neinheit) 146 und eine (Inert-)Gasvorlage. Diese sind mit der Spinneinheit 106 medienleitend verbunden. Die Faser 110 wird in der Spinneinheit 106 in nicht näher beschriebenen Art und Weise gebildet, wie beispielsweise für eine Hohlfaser aus einer Polymerlösung in der WO 2014/202324 A1 beschrieben. Die Faser kann alternativ auch aus einer Polymerschmelze gewonnen werden, insbesondere als Hohlfaser. Die Prozessmedien 104 sind hierbei insbesondere die beim Spinnvorgang benötigten Prozessmedien, wie insbesondere das Kernfluid zur Ausbildung des inneren Hohlraums der jeweiligen Einzelfaser 110.

Die frisch gebildet Faser 110 wird in das Fixiermedium, einem Nicht-Lösungsmittel, der Fixiereinheit 150 eingeleitet und über Führungsrollen 108 aus dem Becken der Fixiereinheit 150 herausgeleitet, wobei mittels einer Gassenführungen 109, die kamm- oder multifingerartig ausgebildet sind, die Einzelfasern 110 in y-Richtung in eine definierte Beabstandung zueinander orientiert werden. Die Wascheinheit 160 umfasst eine Mehrzahl von Führungsrollen 108, die unterhalb des Fluidspiegels der Waschflüssigkeit angeordnet sind und mittels welchen die Fasern 110 für eine definierte Laufzeit in der Waschflüssigkeit gehalten werden, insbesondere in einer organischen Waschflüssigkeit, um das Nicht-Lösungsmittel, aus der Faser 110 zu entfernen. In nicht dargestellter Weise kann die Wascheinheit 160 mehrere in Reihe geschalteten Becken umfassen.

An die Wascheinheit 160 ist stromabwärts die Trocknungsstation 210 angeschlossen, wobei in einer Gruppierungsstation 260 eingangs zur Trocknungsstation 210 die Fasern 110 zu einem Bündel 112 zusammengefasst und als Strang über Umleitungsrollen 108 durch die Trocknungsstationen geleitet werden. Die Trocknungsstation 210 ist an eine Gaszuleitung 212 und eine Gasableitung 214 angeschlossen, wobei in die Gaszuleitung 212 ein Wärmetauscher 216 zur Erwärmung der Zuleitung C. Die Zuleitung C ist insbesondere entfeuchtete Luft. Innerhalb der Trocknungsstation 210 wird das Bündel 112 als Strang mehrfach durch Umlenkrollen 108 umgelenkt, während es von dem erwärmten Gas umströmt und getrocknet wird. Die Umlenkrollen 108 sind üblicherweise statische Körper, über die die geförderte Faser 110 oder das Bündel 112 gezogen wird, wobei es bei nicht gezeigten Ausführungsvarianten vorteilhaft sein kann, mindestens einzelnen Umlenkrollen 108 derart anzutreiben, dass diese um die eigenen Längsachse und in Richtung der Faserlängsachse A_F rotieren und so die Spannung innerhalb der Faser 110 bzw. de Bündels 110 verringern.

Die in Hauptförderrichtung A angeschlossene Temperstation 250 umfasst einen Temperofen 251 als zentrales Element mit einem IR-Emitter 252 und einen Reflektor 254, die beide in einem Gehäuse 256 des Temperofens 251 angeordnet sind. Der Temperofen 251 ist als Kanal ausgebildet und empfängt an der Eingangsseite kontinuierlich das vorgetrocknete Bündel 112 für eine Temperungszeit (Durchlaufzeit) von ca. 10 s, wobei die Temperungszeit in zwei oder mehr Teilschritte unterteilt sein kann, wie einen Erwärmungsschritt und einen Leistungsschritt.

Die Temperstation 250 bzw. der Temperofen 251 ist an eine Gaszuleitungseinheit 270 und an eine Gasableitungseinheit 272 angeschlossen, wobei ein Verdichter 226 und eine Gasfiltereinheit 274 Teile der Gasableitungseinheit 272 sind. Die Gaszu- und -ableitung 270, 272 sind Teil einer Belüftungseinheit, wobei die Gaszuleitung 270 an eine Inertgasquelle angeschlossen ist. An dem zur Eingangsseite gegenüberliegenden Entlassende der Temperstation 250 ist ein Fördermittel 280 angeordnet, das als Formier- und Fördereinheit ausgebildet ist und das (Faser-)Bündel 112 in verdichteter Formierung zur Konfektionierungseinheit 180 weiterleitet. Innerhalb der Trocknungsstation 210 kann das Bündel 112 durch entsprechende Umlenkungen 108 abschnittsweise (mehrfach) vertikal geführt (z-Richtung) werden oder wie in beispielsweise Figur 3 dargestellt, horizontal (mehrfach) geführt sein (x-Richtung). Hierbei meint „vertikal“ oder „horizontal“ die Hauptausrichtung zum Zwecke sprachlichen Illustration und umfasst auch (leicht) geneigte Ausrichtungen.

Die Konfektionierungseinheit 180 umfasst eine Fixierungsstation 182, eine Schneidstation 184, eine Hubeinheit 186 und eine Transportelement 188. Über das Fördermittel 280 wird das Bündel 112 zur Konfektionierungseinheit 180 transportiert und dort an dem freien Ende und/oder im Trenn- oder Schneidebereich des Bündels mit mindestens einem nicht näher dargestellten Fixiermittel, wie beispielsweise einer Banderole, einem Band, einer Schnur etc. als Gruppe (Faserbündel) fixiert, insbesondere mehrfach umschlungen und derart als Gruppe fixiert. Parallel oder nachfolgend wird

das Bündel 112 von der Hubeinheit 186 erfasst, die in dem dargestellten Ausführungsbeispiel als x-y-z-Hub- und Greifeinheit ausgebildet ist. In der Schneidestation 184 und einem symbolisch als Messerklinge dargestellten Trennmittel, wird ein Bündel 112 auf einer Solllänge vom (Bündel-)Strang abgeschnitten, das als konfektioniertes Bündel 112 ggf. temporär gelagert oder gestapelt wird.

Anschließend erfolgt mittels des Transportmittels 188 die Ausleitung der konfektionierten Bündel 112 in Weiterleitungsrichtung B aus der Konfektionierungseinheit 180 heraus.

Die in der Figur 2 dargestellte Anlage 100 unterscheidet sich von der Anlage gem. Figur 1 insbesondere dadurch, dass keine Trocknungsstation 210 vorgesehen ist, sondern die Fasern 110 nach der Wascheinheit 150 unmittelbar in die Temperstation 250 bzw. den Temperofen 251 eingeleitet werden, die grundsätzlich analog zur der vorgenannten Temperstation 250 aus Fig. 1 ausgebildet sein kann. An die Wascheinheit 160 ist stromabwärts die Temperstation 250 angeschlossen, wobei in einer Gruppierungsstation 260 eingangs zur Temperstation 250 die Fasern 110 zu einem Bündel 112 zusammengefasst und als Strang geradlinig, d.h. ohne weiter Umlenkung durch die Temperstation 250 geleitet werden. Auf der ausleitenden Förderstrecke und oberhalb der Wascheinheit 160 ist eine Entfeuchtungsstation 220 angeordnet, die im Bereich der dortigen Umlenkrolle 108 mittels der Düseneinheiten 222 die an der Faser 110 anhaftende Flüssigkeit zurück in das Becken der Wascheinheit 160 treibt.

In der gestrichelt umrahmten, unteren Detaildarstellung ist in der Draufsicht die Führung der Fasern 110 am Übergang von der Wascheinheit 160 in die Temperstation 250 und die dortige Gruppierungsstation 260 dargestellt. Zwei weitere, analoge Draufsichten sind in der Figur 6 gezeigt. Wie in der Detailansicht der Figur 2 gezeigt, werden am Ausgang der Wascheinheit 160 die Fasern mittels der Gassenführung 109 in y-Richtung zueinander beabstandet und stromabwärts durch die seitlichen Führungsschienen 262 der Gruppierungsstation 260 zu einem Bündel 112 aus den sich dann berührenden Einzelfasern 110 verdichtet.

Die Verdichtung erfolgt in y-Richtung und in z-Richtung, wobei zusätzlich nicht dargestellte, zu den seitlichen Führungsschienen 262 analoge Höhenführungen vorgesehen sein können, um die Verdichtung in z-Richtung mechanisch definiert durchzuführen und Verformungen der Hohlfasergeometrie zu vermeiden. Hierzu werden mindestens zwei Gruppen der zu bündelnden Fasern für eine definierte Förderstrecke in unterschiedlichen Höhen (z-Richtung) durch derartige Höhenführungen geführt, bevor sie in z-Richtung aufeinander abgelegt und zu einem gemeinsamen Bündel 112 geformt werden. Dieser Anlagenaufbau ohne eine Trocknungsstation 210 und die zugehörige Verfahrensführung ist durch den Einsatz einer Temperstation 250 mit einem IR-Emitter 256 ermöglicht worden, weil es sich überraschenderweise herausgestellt hat, dass es bei der kontinuierlichen Temperung möglich ist, ein Verkleben auch von eingangs relativ nassen Einzelfasern 110 im Bündel 112 zu verhindern. Anders ausgedrückt, auch relativ feuchte

Faserbündel 112 können ohne bzw. nach nur geringfügiger Trocknung mittels IR-Strahlung getempert werden.

Durch den Wegfall der Trocknungsstation 210 sowie den zugehörigen Leitungen und Aggregaten, gehen ganz erhebliche energetische Einsparungen einher und erhebliche Verringerungen im Flächenbedarf der Anlagen.

Figur 3 zeigt in sehr schematischer Weise die Anlagen 100 und die Faser 110, sowie das Bündel 112 auf dem Weg durch die Anlage 100. Zusätzlich bzw. im Unterschied zu den Ausführungsbeispielen der Figur 1 und Figur 2, umfasst die Anlage 100 eine Coatingstation 120 und eine Entladungsstation 190, die dem Grunde nach bekannt sind. Die vorstehend genannten Gruppierungsstationen sind in der Figur 3 nicht dargestellt und können bedarfsweise vorgesehen werden. Analog zu der in Figur 1 dargestellten Anlage 100, erfolgt in der Konfektionierungseinheit 180 das mindestens temporäre Wickeln, Stapeln und/oder Schneiden der Faserbündel 112. Unterschiedlich hierzu werden bei dieser Anlagenausführung die konfektionierten und geschnittenen Faserbündel 112, insbesondere ein Mehrzahl von mindestens temporär konfektionierten Faserbündeln 112, stromabwärts zur Konfektionierungseinheit 180 batchweise in einem Temperofen 251 der Temperstation 250 mittels nicht dargestelltem IR-Emitter getempert.

In dem Ausführungsbeispiel der Figur 4 ist im Unterschied zur Anlagenvariante der Figur 4 der Temperofen 251 der Temperstation 250 stromaufwärts zur Konfektionierungseinheit 180 angeordnet. Die voneinander beabstandeten Einzelfasern 110 oder das mindestens eine Faserbündel 112 wird kontinuierlich durch den Temperofen 251 transportiert und getempert. Hierbei ist insbesondere die Transportgeschwindigkeit und/oder die Länge des Temperofens 251 derart dimensioniert und/oder aufeinander abgestimmt, dass die benötigte Verweilzeit (Temperungszeit) der Einzelfasern 110 bzw. des mindestens einen Faserbündes 112 im Einwirkungsbereich des nicht dargestellten IR-Emitter eingehalten werden kann.

In dem Ausführungsbeispiel der Figur 5 ist im Unterschied zu den bisherigen Ausführungsvarianten der Figur 1 bis Figur 4 erfindungsgemäß zusätzlich ein Faserspeicher 230 umfasst, der vor der Temperstation 250 als Teil der thermischen Behandlungseinheit 200 angeordnet ist. Somit kann ein Speicherschritt für die Fasern 110 oder dem Bündel 112 vor dem Temperschritt erfolgen.

Der Faserspeicher 230 weist zwei sich gegenüberliegende Gruppen von Umlenkelementen 232 auf, die einzeln oder als Gruppe dynamisch getrieben ihre relative Lage zueinander verändern können. Auf diese Weise kann eine definierte Faserlänge oder Bündellänge gespeichert werden, währen beispielsweise stromabwärts zum Faserspeicher 230 die Fasern 110 bzw. das (Faser-)Bündel 120 langsamer transportiert oder zeitweise gestoppt wird, als dies stromaufwärts zum Faserspeicher 230 der Fall ist.

Anders ausgedrückt weist die Anlage

- eine erste Förderstrecke F1 auf, bei der die Fasern mit einer ersten Fördergeschwindigkeit v1 gefördert werden können, insbesondere kontinuierlich gefördert werden können und
- eine zweite Förderstrecke F2 auf, bei der die Fasern mit einer zweiten Fördergeschwindigkeit v2 gefördert werden können, insbesondere diskontinuierlich und/oder mit veränderlicher Geschwindigkeit gefördert werden können, wobei

zwischen und/oder im Übergang von der Förderstrecke F1 und der Förderstrecke F2 ein (dynamischer) Faserspeicher 230 angeordnet ist.

Die Förderstrecke F1 umfasst hierbei die Spinneinheit 106, die Fixiereinheit 150 und die Wascheinheit 160, und Förderstrecke F2 umfasst die Temperstation 250 mit dem Temperofen 251. Im Bereich der Förderstrecke F1 und/oder F2 kann (jeweils) ein Strangantrieb vorgesehen sein, um die Fasern 110 oder das Bündel 122 zu ziehen. Insbesondere dient in der Förderstrecke F2 der Strangantrieb zur vollständigen oder teilweisen Entleerung des Faserspeichers 230 und/oder zur Beschleunigung der Fasern 110 oder des/der Bündel 112, als Beschleunigungsmittel aus der Temperstation 250 heraus.

Bei dieser Ausführungsform ist insbesondere die Speicherkapazität des motorisch angetriebenen Faserspeichers 230, die mögliche Beschleunigung und Transportgeschwindigkeit des Faserspeichers 230 beim beschleunigten Abtransport der gespeicherten Faser 110, 112 sowie die Länge des Temperofens 251 derart dimensioniert und/oder aufeinander abgestimmt, dass die benötigte Verweilzeit (Temperungszeit) der Einzelfasern 110 bzw. des mindestens einen Faserbündes 112 im Einwirkungsbereich der nicht dargestellten IR-Emitter eingehalten werden kann.

In der Figur 6 sind in einer Draufsicht zwei weitere Ausführungsvarianten von Gruppierungsstationen 260 dargestellt und die hiermit erzeugten Ausrichtungen und Lagen von Einzelfasern 110 in der Temperstation 250. Die Teilansicht I. zeigt Gruppierungsstation 260, die im Wesentlichen aus zwei kamm- oder multifingerartigen Gassenführungen 109 besteht, wobei die beiden sich gegenüberstehenden Gassenführungen 109 unterschiedliche Abstände der Einzelfinger oder Einzelführungen aufweisen. Beide Gassenführungen haben dieselbe Anzahl an Einzelfingern bzw. ist die Anzahl der Einzelfinger abhängig von der Anzahl der parallel geführten Einzelfasern 110. Hierbei kann ggf. an einzelnen Einzelfingern beidseitig je eine Einzelfaser 110 anliegen, je nach Querschnittsfläche und -geometrie der Einzelfinger.

Die am Eingang der Temperstation 250 und des Temperofens 251 angeordnete Gassenführung 109 nähert die Einzelfasern 110 bis auf wenige Millimeter an, beispielsweise bis auf 2 mm bis 3 mm. Es erfolgt keine Verdichtung bis zur gegenseitigen Berührung der parallelen Einzelfasern 110 und die Einzelfasern 110 spannen mit ihren Faserlängsachsen im Wesentlichen einen

gemeinsame Ebene auf. Diese Ausführungsform ist baulich zwar am aufwändigsten, ermöglicht aber die kürzesten Temperungszeiten für die Fasern 110 und benötigt somit die geringsten Erstreckung der Temperstation 250 in Hauptförderrichtung (x-Richtung). Optional kann stromabwärts eine zweite Gruppierungsstation 260 angeordnet sein, mittels welcher das (End-)Bündel geformt wird.

Die Teilansicht II. zeigt die Gruppierungsstation 260 (hier 260.1), die ebenfalls im Wesentlichen aus zwei kamm- oder multifingerartigen Gassenführungen 109 besteht, wobei die beiden sich gegenüberstehenden Gassenführungen 109 ebenfalls unterschiedliche Abstände der Einzelfinger oder Einzelführungen aufweisen. Die am Eingang der Temperstation 250 angeordnete Gassenführung 109 weist eine deutlich geringer Anzahl an Einzelfinger oder Einzelführungen auf, als die Gassenführung 109 ausgangs zur Wascheinheit 160 bzw. der Trocknungsstation 210. Dies hat seinen Ursache darin, da Gruppierungsstation 260 und der einführenden Gassenführung 109 mehrere Teilbündel 112 aus der Gesamtzahl der Einzelfasern 110 geformt und nachfolgende als Teilbündel 112 durch die Temperstation 250 geleitet werden. In dem gezeigten Beispiel, werden drei Teilbündel 112.1, 112.2 und 112.3 geformt, die zueinander beabstandet parallel in der Temperstation 250 getempert und durch diese Temperstation 250 transportiert werden. Die Teilbündel 112.1, 112.2 und 112.3 können nachfolgend in einer zweiten Gruppierungsstation 260.2 zu einem (End-)Bündel 112 zusammenfasst werden.

Auch wenn vorliegend der Temperofen 251 immer in einer horizontalen (liegenden) Ausrichtung dargestellt wird, bei der die Transportrichtung der Faser 110 bzw. des Faserbündels 112 in Richtung der x-Achse bzw. der Haupttransportrichtung A ausgerichtet ist, ist dies nicht einschränkend zu verstehen. Es versteht sich für den Fachmann, dass der Temperofen 251 jede Ausrichtung und/oder Neigung im Raum einnehmen kann, insbesondere vertikal oder schräg. Die Ausrichtung und/oder Transportrichtung der Fasern und/oder des Faserbündels folgt dann in analoger Weise dieser Ausrichtung des Temperofens und kann insbesondere auch von unten nach oben oder von oben nach unten erfolgen.

Die in den Figur 7 dargestellte Labor- und Versuchsaufbau und die in den Figuren 8 bis 11 gezeigten Graphen werden nachstehend zusammen mit der Diskussion der Versuchsergebnisse beschrieben und diskutiert.

Experimente und Versuchsergebnisse

Die Versuche wurden mit einer Temperstation 250 durchgeführt, wie in der Figur 7 dargestellt. Die Temperstation umfasste als zentrales Element einen Temperofen 251, der ein geschlossenes Gehäuse 256 aufweist und in dem sich in Längsrichtung ein IR-Emitter 252 erstreckte.

Das Gehäuse 256 wies ein Fußelement und ein Kopfelement auf und war als ein langgestreckter quaderförmiger Körper ausgebildet, dessen Längsachse im Laborbetrieb senkrecht zur Horizontalen ausgerichtet war. Der IR-Emitter 252 war außermittig auf einer Seite angeordnet,

wobei dieser eine Länge von ca. 21 cm aufwies. Der Emitter 252 war von gewölbten metallischen Reflektoren 254 umgeben, die in Richtung der Längsachse eine Erstreckung von ca. 27 cm aufwiesen und beidseitig nach oben und unten über den IR-Emitter 254 hinausragten. Neben den sich im Wesentlichen parallel zum IR-Emitter 252 erstreckenden Reflektoren 254, waren Kopf- und Fußreflektoren vorhanden, so dass im geschlossenen Zustand der Innenraum des Gehäuses 256 einen zentralen IR-Strahlungsraum und einen Rückraum aufwies, wobei im Rückraum im Wesentlichen keine IR-Strahlung einfallen konnte. Das Gehäuse 256 war in Längsrichtung geteilt und über Scharniere verbunden, so dass dieses aufklappbar war, um Einzelfasern oder ein Faserbündel einzubringen oder zu entnehmen (nicht dargestellt in Fig. 7).

Am Kopfelement war einen Fixiereinheit 258 angeordnet, die dazu ausgelegt war, Einzelfasern 110 oder ein Faserbündel 112 hängend zu halten. Die Einzelfasern 110 oder das Faserbündel 112 wurde am freien, unteren Ende mit einem Gewicht 259 klemmend beschwert, so dass eine konstante Zugkraft auf die Einzelfaser 110 oder das Faserbündel 112 aufgeprägt werden konnte, wobei im bestimmungsgemäßen Betrieb das Gewicht 259 mit geringem Abstand oberhalb des Fußelements schwebend an den Fasern gehalten wurde. Die Fixiereinheit 258 und das Gewicht 259 waren im Rückraum angeordnet, wozu die Reflektoren im Kopf- und Fußbereich eine entsprechende Durchführungsöffnung aufwiesen.

Im Fußraum ist weiterhin eine seitliche Führung und Anlageflächen für das Gewicht angeordnet, so dass ein Faserbündel bedarfsweise um die Längsachse ein- oder mehrfach verwunden oder verdreht werden kann und in einer solchen verwundenen oder verdrehten Anordnung der Einzelfasern im Faserbündel getempert werden konnte.

In den Innenraum des Gehäuses führte eine Gaszuleitung 270 bestehend aus zwei Leitungen, über die ein konstanter Volumenstrom an Stickstoff (N2) ins Innere geleitet werden konnte. Über eine zentrale Gasableitung 272 wurden der N2-Volumenstrom aus dem Gehäuseinneren abgeleitet, in der Regel kontinuierlich abgeleitet.

Der IR-Emitter 252 war mit einer Steuereinheit 134 zur Leistungsregelung verbunden, wobei die Steuerungssoftware in einer angeschlossenen Steuer- und Regelungseinheit 130 gespeichert und von einer dortigen Prozessoreinheit betrieben wurde, diese war im Laborbetrieb ein handelsüblicher PC.

Die Fixiereinheit 258 und das Gewicht 259 waren ausgelegt, ein Faserbündel 112 von bis zu 100 Einzelfasern 110 zu fixieren und unter konstanter Zugkraft zu halten.

Die Versuche wurden im Batchbetrieb durchgeführt. Weiterhin war im Gehäuse eine geschlossene Wasserkühlung angeordnet, die an einem entsprechenden Kühlkreislauf angeschlossen war.

Versuchsdurchführung

Der zugeführte Volumenstrom an N2 als Inertgas betrug 300 ml/min und der O2-Gehalt war < 100 ppm im Innenraum des Gehäuses 256. Es wurden die folgenden Parameter sensorisch überwacht:

- der N_2-Volumenstrom der Gaszu- und Gasableitung,
- die O_2-Konzentration in der Gasableitung,
- die Temperatur im Innenraum des Gehäuses im Kopfraum und im Fußraum,
- der Volumenstrom des Kühlwassers und
- die Schrumpfung der Fasern.

Das eingesetzte Gewicht betrug 12g pro 10 Einzelfaser, als Kühlwasserstrom wurde 40 l/h Wasser durch die Wasserkühlung geleitet.

Die Exposition (Temperschritt) der Fasern mit IR-Strahlung erfolgte in zwei Schritten:

1) Erwärmungsschritt und einem nachfolgenden
2) Leistungsschritt

Im Erwärmungsschritt wurde die IR-Bestrahlung der Faser für 2 Sekunden bei maximal 10% der Leistung des IR-Emitters vorgenommen, bezogen auf die 100% der beabsichtigten nachfolgenden Leistung im Leistungsschritt (Soll-Leistung), im vorliegenden Fall waren die 100% jeweils die Maximalleistung des Emitters. Im Leistungsschritt wurde die IR-Bestrahlung der Fasern bei der beabsichtigte max. Leistung (Soll-Leistung) für 4 bis 21 Sekunden aufrechterhalten.

Nach dem Temperschritt wurde das Gehäuse 256 der Temperstation 250 unmittelbar geöffnet und die Fasern bzw. das Faserbündel entnommen, ohne Einhaltung einer definierten Abkühlzeit oder Abkühlkurve.

Überraschenderweise lagen die Trenneigenschaften, wie insbesondere der Permeanz und Selektivität der Hohlfasern und der hieraus gefertigten Filtermodule, die in derart kurzer Zeitdauer mittels IR-Strahlung getempert worden waren, im Bereich der bekannten, konventionell getemperten Hohlfasern, wie nachstehend noch im Detail ausgeführt.

Figur 8 zeigt in einem Graphen einen Vergleich der beiden Temperungsverfahren, In dem gezeigten Graphen ist die eingebrachte maximale Emitter-Leistung auf 1 normiert (linke y-Achse), die maximale Temperatur im Konvektionsofen ebenfalls auf 1 normiert (rechte y-Achse) und aufgetragen gegen die logarithmierte Zeitachse in Sekunden (x-Achse). Das erfindungsgemäße Temperungsverfahren mittels IR-Strahlung ist im Wesentlichen links im Graphen und als durchgezogene Linie dargestellt. Der Vergleichsversuch mit einem konventionellen Elektroofen (Konvektionsofen), in dem die Fasern ebenfalls hängend unter konstantem Zuggewichtung in einer inerten Atmosphäre getempert wurden, ist als gestrichelte Linie dargestellt.

Bei dem erfindungsgemäßen Temperungsverfahren wurde ein Erwärmungsschritt 300 für 1 s, ein Ramp-Up 302 der Leistung des IR-Emitters von ebenfalls 1 s und ein Leistungsschritt 304 für 4 s aufrechterhalten, wobei nachfolgend eine Abkühlung 306 erfolgte, die sich durch die Öffnung des Gehäuses 256 zur Atmosphäre hin ergab. Das Ramp-Up 302 bzw. die hierfür benötigte Zeitdauer ergibt sich im Wesentlichen aus der gerätespezifischen Verzögerungszeit, um die maximale IR-Emitter-Leistung bereit zu stellen, ausgehend vom Leistungsniveau des Erwärmungsschritts.

Bei dem Vergleichsversuch wurde eine Vorwärmphase 400 von ca. 30 min durchgeführt, nachfolgend eine Ramp-Up-Phase 402 des Konvektionsofens bis zur maximalen Leitung und Temperatur von ca. 2 h, eine Temperungsphase bei der Temperungstemperatur für ca. 2,0 h und eine anschließende Abkühlphase 406 vor der Öffnung des Elektroofens von ca. 0,8 h.

Die erfindungsgemäß hergestellten Hohlfasern eignen sich insbesondere zur Gastrennung von CO_2, O_2, CH_4 und N_2, insbesondere zur Gastrennung von Luft oder Biogasen.

Die Eignung der Faser für die Gastrennung wird insbesondere bzgl. Permeanz und Selektivität bewertet. Die Permeanz ist das Verhältnis der Permeabilität zur Dicke der Faserwand oder Membranwand und stellt hierbei einen Maß für den Gasfluss durch die Faserwand oder Membran dar und ist somit ein Indikator für die Struktur und Durchlässigkeit der Hohlfaser bzw. des Faserbündels.

Permeabilität und Permeanz

Die Gaspermeabilitäten werden in Barrer (10^{-10}·cm^3·cm^{-2}·cm s^{-1}·$cmHg^{-1}$) angegeben. Die Permeanzen der Hohlfasermembranen für Gase werden in GPU (Gas Permeation Unit, 10^{-6} cm^3·cm^{-2}·s^{-1}·$cmHg^{-1}$) oder abgeleiteten Einheiten angegeben. Die Permeanz ist das Verhältnis von Permeabilität und Substratdicke (Membrandicke) bei entsprechenden Einheiten, wie beispielsweise der Einheit l m^{-2} h^{-1} bar^{-1}.

Permeabilität

Die Messung der Permeabilitäten für Gase erfolgt nach der Druckanstiegsmethode. Hierbei wird eine Flachfolie mit einer Dicke zwischen 10 und 70 µm auf einer Seite mit einem Gas oder Gasgemisch beaufschlagt. Auf der anderen Seite, der Permeatseite, herrscht zu Beginn des Versuches Vakuum (ca. 10 - 2 mbar). Es wird nun der Druckanstieg auf der Permeatseite über die Zeit aufgezeichnet.

Die Permeabilität des Polymers(-substrates) kann gemäß folgender Formel berechnen werden:

$$P = \frac{V_{dead} . MW_{gas} . l}{\rho . R . T . A . \Delta p} . \frac{dp}{dt} . 10^{10}$$

P	Permeabilität in Barrer (10^{-10} cm^3(STP) cm) / (cm^2 s cmHg)
	[barrer] = 1,333*1017 * [Nm^3*m/(m^2*s*Pa)]
	mit STP (Standard Temperature and Pressure): ist 0 °C, 101325 Pa
V_{dead}	Volumen der Permeatseite in cm^3
MW_{GAS}	Molmasse des Gases in g mol^{-1}
l	Dicke der Folie in cm
ρ	Dichte des Gases in g cm^{-3}
R	Gaskonstante in cm^3 cmHg K^{-1} mol^{-1}
T	Temperatur in Kelvin
A	Fläche der Folie in cm^2
Δ p	Druckdifferenz zwischen Feed und Permeatseite in cmHg
dp/dt	Druckanstieg pro Zeit auf der Permeatseite in cmHg s^{-1}

Wenn die Permeanz von Hohlfasern gemessen wird, so wird eine Volumenanstiegsmethode verwendet. Die Berechnung der Permeanz P/l (weil Dicke der Trennschicht unbekannt ist) erfolgt nach folgender Formel:

$$P/l = \frac{Q(STP)}{R.T.A.\Delta p}.10^6$$

P/l	Permeanz in GPU (Gas permeation units. 10^{-6} $cm^3 \cdot cm^{-2}$ s^{-1} $cmHg^{-1}$)
Q	Gasfluss der Permeatseite in cm^3 (STP)/s
R	Gaskonstante in cm^3 cmHg K^{-1} mol^{-1}
T	Temperatur in Kelvin
A	Außenfläche der Hohlfaser in cm^2
Δ p	Druckdifferenz zwischen Feed und Permeatseite in cmHg
dp/dt	Druckanstieg pro Zeit auf der Permeatseite in cmHg s^{-1}

Die Selektivitäten von verschiedenen Gaspaaren sind Reingasselektivitäten. Die Selektivität zwischen zwei Gasen berechnet sich aus dem Quotient der Permeabilitäten:

$$S = P_1 / P_2$$

S	ideale Gasselektivität
P_1	Permeabilität oder Permeanz des Gases 1
P_2	Permeabilität oder Permeanz des Gases 2

Versuche V1 bis V3

Die Tabelle 1a und 1b zeigen den Vergleichsversuch (V1) und zwei erfindungsgemäße Versuche mit zwei nominell unterschiedlich leistungsstarken IR-Emittern (V2, V3). Hierbei wurde die getemperten Fasern aus einem elektrischer Konvektionsofen (V1) eines bestehenden Produktionsverfahrens (Vergleichsversuch) entnommen. Diese wurden verglichen mit Faser aus vorgenannter Versuchs- oder Laborvorrichtung (V2, V3), die mittels IR-Emitter im Batch-Verfahren getempert wurden. Bei den Versuchen V2, V3 wurde jeweils eine Bündel aus 80 Einzelfaser in einem Batchdurchlauf mittels IR-Strahlung getempert.

Tabelle 1a: Versuchsbedingungen der Versuche V1 bis V3 (TS – Temperschritt)

Versuche	**Typ des Ofens**	**IR-Emitter Nominale Leistung [kW]**	**Anzahl an Fasern im Faserbündel**	**Leistung bei TS [kW]**	**Dauer TS [s]**	**Energie Gesamt [kJ]**
V1	Konvektiv	-	>80	-	-	-
V2	IR	2,1	80	1,55	4	6,2
V3	IR	2,8	80	1,34	4	5,4

Tabelle 1b: Versuchsergebnisse der Versuche V1 bis V3.

Versuche	**Normierte Permeanz [-]**	**Normierte Selektivität [-]**	**Radial Schrumpfung [%]**
V1	1	1	4,1%
V2	1,68 ± 0,22	1,03 ± 0,01	2,4%
V3	1,41 ± 0,50	1,11 ± 0,15	2,4%

Hierbei wurde die Permeanz und die Selektivität auf den Werte des Vergleichsversuches V1, also des konventionellen Temperungsverfahrens, normiert. Es zeigte sich, dass eine verbesserte Permeanz und eine gleichbleibende bzw. leicht verbesserte Selektivität durch das erfindungsgemäße Temperungsverfahren erreicht werden konnte. Weiterhin wurde beobachtet, dass die mittels IR-Strahlung getemperten Fasern eine signifikant geringere radiale Schrumpfung aufwiesen. Die genannte radiale Schrumpfung ist hierbei das Verhältnis des Radius der getrockneten und nicht getemperten Faser gesetzt (100%) zur getemperten Faser. Die Messung

der Radien von Einzelfasern oder einer Gruppe von Einzelfasern erfolgte mittels eines hierfür kalibrierten Lichtmikroskops im Labor.

Wie absolut überraschend und nicht vorhersehbar, konnte die Dauer des Temperungsverfahrens von ca. 6 h auf eine Dauer von unter 10 s bei einer IR-Temperung gesenkt werden, bei gleicher und zum Teil verbesserter Trennleistung, Permeanz und Selektivität, der Fasern.

Versuch V4 (Fig. 9)

Die Kurvenschar der Figur 9 zeigt in neun Kennkurven 310 bis 328 das Spektralstrahlungsspektrum eines 3,1 kW IR-Emitters (Nominalleistung) mit einer Länge von 0,2 m_E bei unterschiedlichen Leistungen des IR-Emitters. Die Kennkurven unterscheiden sich bzgl. der Leistungen, die von der äußeren Kennkurve 310 beginnend schrittweise um 10% gesenkt wurde.

Bei jeder Wellenlänge von 0,25 bis 5 µm wurde Polyimid-Substrat in Abhängigkeit von der Wellenlänge mittels VIS-Spektroskopie bzw. NIR-Spektroskopie die Extinktion gemessen (Kurve 350). Die Extinktion ist gegen die y-Achse im Bereich von 0 bis 1 aufgetragen, wobei der Wert 1 die vollständige Absorption (Extinktion) beschreibt und der Wert 0 die vollständige Durchlässigkeit oder Transparenz für das Licht in dem jeweiligen Wellenlängenbereich (x-Achse).

Es wurden die IR-Emitterleistungen für die äußerste Kennkurve 310 gemessen. Die anderen acht Kennkurven 312 bis 328 zeigen die jeweils um 10% gesenkt Leistung des IR-Emitters auf, wie folgt genannt:

Kurve 310	1,0 * 3 kW
Kurve 312	0,9 * 3 kW
Kurve 314	0,8 * 3 kW
bis	
Kurve 326	0,3 * 3 kW
Kurve 328	0,2 * 3 kW

Die Kurve 330 zeigt die Lage der Maximal der Kennkurven 310 bis 328, die dem Wien'schen Gesetz folgt. Es zeigte sich, dass für alle Kennkurven 310 bis 328 das Polyimid-Substrat für IR-Strahlungen insbesondere in den Wellenlängenbereichen der Maxima der Kennkurven 310 bis 328 quasi transparent ist und nur eine Extinktion von kleiner 0,4 aufwies.

Hierbei ist die Extinktion definiert als das Verhältnis von austretender zu gesendeter IR-Strahlung einer Wellenlänge oder in einem Wellenlängenbereich, wie hierin vorstehend ausgeführt.

Die Wahl eines Polymersubstrates mit derartig geringen Adsorptionseigenschaften gegenüber IR-Strahlungen im Bereich von 0,6 bis 1,8 µm, idealerweise im Bereich von 0,75 bis 1,75 hat den

großen Vorteil, dass einen große Gruppe aus Einzelfaser als (dichtes) Bündel getempert werden kann, die dennoch sehr homogene Trenneigenschaften bzgl. Permeanz und Selektivität aufweisen. Bei den vorliegenden Versuchen wurden Gruppen aus bis zu 100 Einzelfasern als Faserbündel mittels IR-Strahlung erfolgreich getempert.

Die Figur 12 zeigt die Messwerte der Transmission vergleichend einen isotropischen Film und eine Membran aus demselben Polymersubstrat Polyimid. Der Graph ist aufgetragen als Transmission in Prozent [%] (y-Achse) gegen die Wellenlängen von 900 nm bis 4900 nm (x-Achse). Die Membran erwies sich als geringfügig weniger transparent als der isotropische Film, was als ein Aspekt für die Erwärmbarkeit mittels IR-Strahlung betrachtet werden kann.

Versuch V5 (Fig. 8 und Fig. 9)

In dem Versuch V5 wurden Faserbündel von zwei IR-Emittern mit der Länge von 0,2 m_E mit unterschiedlichen Nennleistungen getempert, wobei der erste IR-Emitter einen Nennleistung von 2,1 kW und der zweite IR-Emitter einen Nennleistung von 2,8 kW aufwies. Die mit dem ersten IR-Emitter erreichten Messwerte sind als „o“ in den Graphen dargestellt, die Messwerte, die mit dem zweiten IR-Emitter erreicht wurden, sind mit einem „x“ dargestellt. Die gemessene Permeanz (linker Graph) und Selektivität (rechter Graph) sind normiert dargestellt auf die Permeanz und Selektivität eines Faserbündels, das mit einem konventionellen elektrischen Konvektionsofen getempert wurde, wodurch die Linie bei dem Wert y = 1 definiert ist. Diese kann auch als Soll-Wert oder Spezifikation bezeichnet werden. Die Messungen wurden bei Leistungen (x-Achse) der IR-Emitter von 0,75 kW bis 1,6 kW vorgenommen.

Der absolute Energieeintrag im Temperschritt bei der eingestellten Leistung (x-Achse) des jeweiligen IR-Emitters, ist als Zahlenwert bei dem jeweiligen Messwert (Symbol) dargestellt. Die unterschiedlichen Energieeinträge in kJ ergeben sich somit aus der Dauer des Temperschrittes.

Die dargestellte Messpunkte entsprechen den Werten der Tabelle 2, wobei Spalte 1 die Anzahl der Einzelfasern im Bündel, Spalte 2 die nominelle Leistung der IR-Emitter, Spalte 4 den absoluten Energieeintrag, Spalte 5 die normierte O_2-Permeanz, Spalte 6 die normierte O_2/N_2 Selektivität und die Spalten 7 und 8 die zugehörigen Standardabweichungen zu den Werten der Spalten 5 bzw. 6 ausweisen.

Tabelle 2: Versuchsergebnisse des Versuchs V5

Fasern Anzahl [--]	IR-Em. Leistung nom. [kW]	IR-Em. Leistung IST [W]	Energie gesamt [kJ]	Permeanz O2 norm. [-]	Selektivität O2/N2 norm. [-]	SD Permeanz O2 [-]	SD Selektivität O2/N2 [-]

80	2,1	1550	6,6	1,68	1,03	0,22	0,01
80	2,1	1550	9,7	0,80	0,86	0,00	0,02
80	2,1	960	8,1	1,50	0,79	0,41	0,07
80	2,1	945	11,8	1,11	0,98	0,16	0,06
80	2,8	815	7,1	1,47	0,82	0,31	0,05
80	2,8	825	4,7	1,94	0,80	0,15	0,02
80	2,8	1340	5,9	1,41	1,11	0,50	0,15
80	2,8	1340	8,6	1,35	0,98	0,58	0,17
10	2,1	1550	9,7	0,37	1,01	0,29	0,06
10	2,1	1550	6,6	0,51	1,43	0,08	0,27
10	2,1	955	11,9	1,34	0,77	0,20	0,04
10	2,1	960	8,1	2,06	0,81	0,64	0,27
10	2,8	1340	5,9	0,72	1,22	0,11	0,16
10	2,8	827,5	7,2	1,30	0,81	0,33	0,10
10	2,8	795	4,5	2,00	0,70	0,21	0,09
10	2,8	1300	8,4	0,81	1,05	0,45	0,16

(Legende der Tabelle 2: nom.- nominell, SD – Standardabweichung (Standard Deviation); IR-E – IR-Emitter; norm. – normiert)

Die beiden Teildarstellungen I. und II. unterscheiden sich dadurch, dass in der Teildarstellung I. ein Faserbündel von 10 Einzelfasern von den beiden IR-Emittern getempert wurden und in der Teildarstellung II. Faserbündel von 80 Einzelfasern in den beiden IR-Emittern getempert wurden.

Die normierte Permeanz von 6 zeigt eine vollständige Gasdurchlässigkeit für das Gasgemisch an (linker Graph), wie es bei einer nicht getemperten Hohlfaser vorliegt. Dieser Wert korreliert mit einer normierten Selektivität vom Wert 0,4, bei dem keine Trennung des Gasgemisches in die Einzelgase O_2 und N_2 erfolgt.

In dem Graphen der Figur 11 sind die Ergebnisse der Figur 10 für Faserbündel aus 10 und 80 Einzelfasern für die Permeanz und Selektivität jeweils in einem Graphen zusammengefasst. Somit entsprechen die Messpunkte der linken Graphiken I., II. der Figur 10, denen der linken Graphik der Figur 11. Analogerweise entsprechen die Messpunkte der rechten Graphiken I., II. der Figur 10, denen der rechten Graphik der Figur 11. Die Darstellungen der Figur 11 sehen eine einfache logarithmische Auftragung vor (y-Achse).

Für Messwerte der Faserbündel aus 10 Einzelfasern sind die zugehörigen Messwerte in den Graphen der Figur 11 als kleine Kreise dargestellt sind, für die Faserbündel mit 80 Einzelfasern sind die zugehörigen Messwerte in den Graphen der Figur 11 als „x“ dargestellt.

Trotz der 8-fachen Anzahl an Einzelfasern wurde eine größeren Permeanz und ein nur geringfügig abgesenkte Selektivität beobachtet, basieren auf einem exponentiellen, mathematischen Zusammenhang der Messwerte, wie mit den gestrichelten Linien angedeutet.

Zum Nachweis der Homogenität der Permeation des Gases über das gesamte Bündel aus 80 Fasern, wurde die Standardabweichung von O_2 Permeanz und O_2/N_2 Selektivität gemessen, durch die Aufteilung des 80er-Bündels aus einer Temperung in 10 Teilbündel, die separat hinsichtlich der Permeation vermessen wurden. Für Permeanz lag die Standardabweichung im Mittel bei 25% und bzgl. der Selektivität bei 7%. Mit Blick auf die Vielzahl von experimentellen Fehlerquellen (hoher Anteil an manuellen Tätigkeiten), waren die Werte ein Indikator für eine gute Homogenität der Einzelfaser eines 80er-Bündels bei der Temperung mittels IR-Strahlung.

Alle Faserbündel mit 80 Einzelfasern erfüllten die (übliche) Spezifikation für die bestimmungsgemäße Gastrennung und waren vergleichbar und teilweise besser als die kommerziell in einem elektrischen Konvektionsofen getemperten Faserbündel.

Die Erhöhung der Anzahl der behandelten Einzelfasern um das Achtfache, führte nicht zu einem linearen Zusammenhang bezüglich der Gastrenneigenschaften des Faserbündels. Es wurde ein Zusammenhang von logarithmischer Permeanz und Selektivität zur Leistung der IR-Emitter beobachtet (Expotentieller Zusammenhang). Insgesamt führte die achtfache Erhöhung der Faseranzahl im Rahmen der Versuchsbedingungen zu
- einem leichten Abfall der O_2/N_2-Selektivität bei steigender Leistung des IR-Emitters und
- einem 1,3-fachen Anstieg der Permeanz bei steigender Leistung des IR-Emitters,

wobei beides im halblogarithmischen System aufgetragen und ausgewertet wurde.

Es zeigte sich überraschend, dass mit steigender Leistung die Permeanz der Fasern bei Faserbündeln aus 10 Einzelfasern schneller sinkt (untere gestrichelte Linie) als bei Faserbündeln mit 80 Einzelfasern (obere gestrichelte Linie), wie im linken Graphen darstellt. Überraschend zeigte sich weiterhin, dass mit steigendem Energieeintrag ein nahezu gleicher Anstieg der Selektivität für beide Faserbündel zu beobachten ist.

Ohne auf eine spezielle Interpretation gebunden zu sein, werden die Gründe hohe, homogene Trennleistung der erfindungsgemäß getemperten Hohlfaser wie folgt gesehen:

i) Die hohe Transparenz (geringe Extinktion) der Fasern gegenüber IR-Strahlung, insbesondere bei der Wellenlänge im maximalen Leistungsbereich des IR-Strahlers (< 5% Extinktion (IR-Absorption)),
ii) Brechung der IR-Strahlung und relativ gleichmäßige Streuung und Weiterleitung an benachbarte Fasern (Strahlungshomogenisierung) und

iii) starker konvektiver Energietransport im Temperofen durch den Gasfluss des Gases (konvektive-thermische Homogenisierung im Temperofen). …

Bezugszeichenliste

100 Anlage
102 Polymerlösung
104 Prozessmedium
106 Spinneinheit
108 Führungsrolle
109 Gassenführung (y-Richtung)

110 Faser
112 Faserbündel, Faserteilbündel

120 Coatingstation (PDMS)

130 Steuer- und Regelungseinheit
132 Datenleitung
134 Steuerung (Leistung)

140 Vorlage- und Zuführungseinheit, auch Versorgungseinheit
142 Tank
144 Inertgasvorlage
146 Pumpe(-neinheit)

150 Fixiereinheit
160 Wascheinheit
170 Nachbehandlungseinheit
180 Konfektionierungseinheit
182 Fixierungsstation, Banderolierstation
184 Schneidstation
186 Hubeinheit (x-y-z-Einheit)
188 Transportelement, Transportband

190 Entladungsstation
200 thermische Behandlungseinheit
210 Trocknungsstation
214 Gasableitung
220 Entfeuchtungsstation
222 Düseneinheit
224 Gaszuleitung
226 Verdichter

230 Faserspeicher
232 Umlenkelemente (dyn., verfahrbar)

240 Austauscheinheit

250 Temperstation
(thermische Behandlungsstation 3)
251 Temperofen
252 IR-Emitter
254 Reflektor
256 Gehäuse
258 Fixierung
259 Gewicht

260 Gruppierungsstation

270 Gaszuleitungseinheit
272 Gasableitung(-seinheit)
274 Gasfiltereinheit
280 Fördermittel

300 Erwärmungsschritt
302 Ramp-Up
304 Leistungsschritt
306 Abkühlschritt

310 – 328 Kennkurve
330 Kurve der Maxima aus 310 – 328

350 Kurve zur IR-Absorption
400 Aufwärmphase
402 Rump-Up-Phase
404 Temperungsphase
406 Abkühlphase

A Hauptförderrichtung
B Weiterleitungsrichtung
C Zuleitung
F1, F2 Förderstrecke

Ansprüche

1. Anlage (100) zur Herstellung einer Hohlfaser, insbesondere einer gesponnenen Hohlfaser, aus mindestens einer Polymerlösung (102), umfassend eine Steuer- und Regelungseinheit (130), eine Vorlage- und Zuführungseinheit (140) für Medien, eine Spinneinheit (106) für die Ausbildung der Faser (110), wobei stromabwärts zur Spinneinheit (106) für die Behandlung der Faser (110) mindestens die folgenden Anlageneinheiten in der genannten Abfolge umfasst sind:
   a. eine Austauscheinheit zum Lösungsmittelaustausch (240), insbesondere umfassend eine (erste) Fixiereinheit (150), in welcher die Faser unmittelbar nach der Spinneinheit (106) ein- oder durchleitbar ist, und vorteilhafterweise umfassend mindestens eine Wascheinheit (160) stromabwärts zur Fixiereinheit (150),
   b. mindestens eine Nachbehandlungseinheit (170), umfassend
      eine thermische Behandlungseinheit (200) mit mindestens einer thermischen Behandlungsstation,
      dadurch gekennzeichnet, dass
      stromabwärts zur Austauscheinheit (240) mindestens eine thermische Behandlungsstation der thermischen Behandlungseinheit (200) vorgesehen ist, welche als Temperstation (250) umfassend mindestens einen Temperofen (251) ausgebildet ist, und wobei der mindestens eine Temperofen (251) mindestens einen Infrarotemitter (IR-Emitter) (252) umfasst, wobei die Faser (110) in dem mindestens einen den IR-Emitter (252) umfassenden Temperofen (251) mindestens zeitweise aufnehmbar und/oder hindurchleitbar ist, und wobei der Temperofen (251) ausgebildet ist, für die mindestens zeitweise aufgenommene und/oder durchleitbare Faser (110) diese für eine definierte Zeit bis zu einer Temperatur zu erwärmen, die unterhalb der Glaserweichungstemperatur (T_G) liegt, insbesondere auch im Bereich
      i) bis 80 °C unter der Glaserweichungstemperatur (T_G) liegt, und/oder
      ii) von größer 250 °C liegt.

2. Anlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
   i) der Temperraum des Temperofen (251) im bestimmungsgemäßen Betrieb gegenüber der Atmosphäre offen ist und/oder
   ii) mindestens eine Gaseinlassöffnungen aufweist, zur geregelten (aktiven) Gaseinleitung in den Temperraum.

3. Anlage nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Temperofen (251) ausgebildet ist, für die mindestens zeitweise aufgenommene und/oder durchleitbare Faser (110) i) diese eine definierte Zeit bis zu einer Grenztemperatur, die max. 1 °C bis 4 °C unterhalb der Glaserweichungstemperatur (T_G) liegt zu erwärmen.

4. Anlage nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die thermische Behandlungseinheit (200) als weitere thermische Behandlungsstation eine Trocknungsstation (210) stromaufwärts zur Temperstation (250) umfasst, durch welche die Einzelfasern (110) am Strang hindurchgeleitet werden können, wobei die Trocknungsstation (210)
   a. - mindestens ein Trocknungselement und/oder
   b. - eine Zu- und eine Ableitung für ein Trocknungsmedium, wie insbesondere ein erwärmtes Gas, umfasst, und

   womit der Innenraum der Trocknungsstation (210) mindestens auf eine Temperatur von über 30 °C, vorteilhafterweise von über 40 °C und idealerweise von über 50 °C, wobei der Innenraum maximal bis 200 °C erwärmbar ist.

5. Anlage nach einem der vorherigen Vorrichtungsansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die thermische Behandlungseinheit (200) als weitere thermische Behandlungsstation stromaufwärts zur Temperstation (250) eine Entfeuchtungsstation (220) umfasst, in welcher die Einzelfasern (110) voneinander quer zur axialen Richtung (Faserlängsachse (A_F)) beabstandet hindurchgeleitet werden, welche mindestens ein Düsenelement (222) umfasst, welches auf den Laufweg mindestens einer Einzelaser (110) gerichtet ist, und mittels welcher ein Gasstrahl auf mindestens eine Einzelfaser (110), insbesondere eine Gruppe von Einzelfasern (110) leitbar ist.

6. Anlage nach einem der vorherigen Vorrichtungsansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
   i) vor der Temperstation (250) eine Gruppierungsstation (260) der Gruppierungseinheit angeordnet ist,
   ii) die Temperstation (250) innerhalb einer Gruppierungseinheit, und/oder
   iii) zwischen zwei Gruppierungsstationen (260) einer Gruppierungseinheit angeordnet ist, wobei
   in der Gruppierungsstation (260) mindestens ein Gruppierungsmittel vorgesehen ist, mittels welchem mindestens eine Gruppe von n Einzelfasern (110) sich gegenseitig berührend als Bündel (112) angeordnet werden können, wobei n ein ganzzahliger Wert von 2 bis 180 ist, bevorzugt von 20 bis 150, idealerweise von 30 bis 120, wobei optional bis n = 600 möglich ist.

7. Anlage nach einem der vorherigen Vorrichtungsansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperstation (250) eine Belüftungseinheit umfasst oder an eine Belüftungseinheit angeschlossen/verbunden ist und/oder der Temperofen (251) mindestens eine Gaseinlassöffnung aufweist, insbesondere eine Gaseinlassöffnung für Luft.

8. Anlage nach einem der vorherigen Vorrichtungsansprüche, dadurch gekennzeichnet, der IR-Emitter (252) eine Leistung bezogen auf die Emitterlänge von
- mindestens 7,5 kW/m_E aufweist, vorteilhafterweise von mindestens 10 kW/m_E und idealerweise von mindestens 15 kW/m_E aufweist und
- von max. 100 kW/m_E aufweist, vorteilhafterweise von max. 50 kW/m_E, idealerweise von max. 35 kW/m_E.

9. Anlage nach einem der vorherigen Vorrichtungsansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der den mindestens einen IR-Emitter (252) umfassende Temperofen (251) kanal- oder gassenartig ausgebildet ist, aufweisend mindestens zwei Wände oder Wandabschnitte parallel zur Faserlängsachse (A_F).

10. Anlage nach einem der vorherigen Vorrichtungsansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Temperstation (250), umfassend den Temperofen (251) mit dem IR-Emitter (252), an einem der folgenden Anlagenorte angeordnet ist:
    a. Stromabwärts zur Wascheinheit (160), wobei vor der Temperstation (250) keine (weitere) thermische Behandlungsstation der thermischen Behandlungseinheit (200) angeordnet ist,
    b. Stromabwärts zu mindestens einer Entfeuchtungsstation (220) einer thermischen Behandlungseinheit (200),
    c. Stromabwärts zu mindestens einer Trocknungsstation, insbesondere stromabwärts zu einer Trocknungsstation, die stromabwärts zu einer Coatingstation oder Applikationseinheit angeordnet ist.

11. Anlage nach einem der vorherigen Vorrichtungsansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass stromabwärts zur Temperstation (250) eine Konfektionierungseinheit (180) angeordnet ist.

12. Anlage nach einem der vorherigen Vorrichtungsansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass stromaufwärts zur Temperstation (250) ein Faserspeicher (230) angeordnet ist.

13. Anlage nach einem der vorherigen Vorrichtungsansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass diese ausgebildet ist, die Faser (110) von der Spinneinheit (106) bis mindestens zum Ausgang der Temperstation (250) kontinuierlich zu transportieren.

14. Anlage nach einem der vorherigen Vorrichtungsansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Nachbehandlungseinheit (170) eine Coatingstation (120) und/oder eine Entladungsstation (190) umfasst.

15. Verfahren zur Herstellung einer Faser (110), die aus einer Polymerlösung (102) gesponnen wird, insbesondere zur parallelen Herstellung von m (Einzel-)Fasern (110), umfassend die folgenden Schritte:
- Spinnenschritt der Faser (110) aus der Polymerlösung (102),
- Austauschschritt zum Austausch eines Lösungsmittels, wobei der Austauschschritt mindestens einen Fixierschritt mit einem flüssigen Fixiermedium und/oder mindestens einen Waschschritt in/mit einem Waschmedium umfassen kann, insbesondere in einem Becken mit einem Waschmedium,
- Trocknungsschritt, umfassend einen Temperschritt, in welchem die Faser (110) auf eine Temperatur unterhalb der Glaserweichungstemperatur (T_G) erwärmt wird,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Faser (110) im Temperschritt mittels mindestens eines kontinuierlich betriebenen IR-Emitters (252) erwärmt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass
beim Temperschritt die Erwärmung der Faser (110) getempert wird, indem die Faser (110) für eine definierte Zeit bis zu einer Temperatur erwärmt wird, die unterhalb der Glaserweichungstemperatur (T_G) liegt, und
i) im Bereich bis 80 °C unter der Glaserweichungstemperatur (T_G) liegt, und/oder
ii) im Bereich von größer 250 °C liegt.

17. Verfahren nach einem, der vorherigen Verfahrensansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass beim Temperschritt die Faser (110) für eine definierte Zeit
i) bis zu einer Grenztemperatur erwärmt wird, die max. 1 °C insbesondere max. 4 °C unterhalb der Glaserweichungstemperatur (T_G) liegt und/oder
ii) auf eine Grenztemperatur im Bereich von 70 °C bis 1 °C unterhalb der Glaserweichungstemperatur (T_G) erwärmt wird und/oder
ii) auf eine Temperatur im Bereich von größer 280 °C bis 450 °C und unterhalb der Glaserweichungstemperatur (T_G) erwärmt wird.

18. Verfahren nach einem, der vorherigen Verfahrensansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass beim Temperschritt die Faser (110) mittels des IR-Emitters (252) mit einer IR-Strahlungsleistung bezogen auf die Emitterlänge von
- mindestens 5 kW/m_E, vorzugsweise mindestens 7,5 kW/m_E und idealerwiese mindestens 10 kW/m_E behandelt wird, und wobei
- die IR-Strahlungsleitung max. 100 kW/m_E, vorteilhafterweise max. 50 kW/m_E und idealerweise max. 35 kW/m_E beträgt.

19. Verfahren nach einem, der vorherigen Verfahrensansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Faser (110) auf einer Anlage (100) produziert wird, die nach mindestens einem der vorherigen Vorrichtungsansprüche 1 bis 14 ausgebildet ist.

20. Verfahren nach einem der vorherigen Verfahrensansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Temperschritt mindestens aus zwei Teilschritten besteht:
- einem Erwärmungsschritt, bei dem die IR-Strahlungsleistung im Bereich von 5 bis 25 % der maximalen IR-Strahlungsleistung beträgt, vorteilhafterweise 7,5 bis 15 %, idealerweise 10% und
- einem Leistungsschritt, bei einer maximalen IR-Strahlungsleistung von 100 kW/m_E, vorteilhafterweise von max. 50 kW/m_E und idealerweise von max. 35 kW/m_E beträgt.

21. Verfahren nach einem der vorherigen Verfahrensansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Gruppe von m Einzelfasern (110) vor dem Temperschritt in einem Gruppierungsschritt zum mindestens einem (Teil-)Bündel (112) aus n = 5 bis 180 Einzelfasern (110) geformt (ausgerichtet) und nachfolgend als Bündel (112) getempert werden, wobei entweder
- n kleiner als m ist, so dass zwei oder mehr (Teil-)Bündel (112) gebildet werden oder
- n gleich m ist, so dass nur ein Bündel (112) gebildet wird.

22. Verfahren nach einem der vorherigen Verfahrensansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Faser (110) von der Spinneinheit (106) bis mindestens zum Ausgang der Temperstation (250) kontinuierlich transportiert wird.

23. Verfahren nach einem der vorherigen Verfahrensansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Temperungszeit im Bereich von 0,1 bis 60 s liegt, bevorzugt 0,5 bis 30 s, idealerweise 1 bis 20 s.

24. Verfahren nach einem der vorherigen Verfahrensansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Temperofen
i) gegenüber der Atmosphäre offen ist, insbesondere eine Ein- und/oder Auslassöffnung für die Faser aufweist und ein passiver Lufteintrag mit der geförderten Faser in den Temperofen erfolgt und/oder
ii) eine Belüftungsstation umfasst oder hiermit verbindbar ist, worüber eine Gasmischung, insbesondere Luft, N2 und/oder CO2, in den Innenraum des Temperofens einbracht wird.