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 CO_2/CH_4 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 in der WO 2014/202324 A1 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 mit einem Sauerstoffgehalt von unter 0,5 Vol.% 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 verbesserte Anlage und ein verbessertes Verfahren für eine Fluidseparationsmembran zur Verfügung zu stellen, 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 umfasst 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 ein Heizelement und/oder einen Einlass für ein Heizmedium umfasst, wobei die Faser in dem mindestens einen Temperofen mindestens zeitweise aufnehmbar und/oder hindurchleitbar ist, wobei der Temperofen ausgebildet ist, die mindestens zeitweise aufgenommene und/oder durchleitbare Faser für eine definierte Zeit (Temperungszeit) bis zu einer (Grenz-)Temperatur

(Temperungstemperatur) 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) ii) im Bereich von größer 250 °C und unter der Glaserweichungstemperatur (T_G) liegt.

Hierbei meint „Temperungszeit“ die Dauer oder Aufenthaltszeit der geförderten oder zeitweise ruhenden Faser im Temperofen und in den hierin ausgeführten Bereichen der Temperungstemperatur. Vorliegend werden „Grenztemperatur“, „Temperungstemperatur“ oder „Temperatur im Temperraum“ synonym verwendet, wenn nicht etwas Abweichendes ausgeführt wird. Hierbei meint „Innenraum des Temperofens“ denjenigen Raum, in dem die zu temperde Faser angeordnet bzw. geführt wird, auch „Temperraum“ genannt und dem thermischen Einfluss des Heizelements oder Heizmediums zum Zwecke der Temperung ausgesetzt ist.

Die Anlage ist vorzugsweise zum kontinuierlichen Tempern der Faser im Temperofen ausgebildet, insbesondere für eine Verweilzeit der Faser im Temperofen von weniger als 30 Minuten, bei Normaldruck oder geringfügig gegen Normaldruck erhöhtem Druck in dem Temperofen. Die Anlage und insbesondere der Temperofen ist vorteilhafterweise ausgebildet, dass die Verweilzeit der Faser im Temperraum oder einer dem Temperraum entsprechenden Heizstrecke im Bereich von 0,5 bis 180 s liegt, bevorzugt 1,0 bis 120 s, besonders bevorzugt 1,0 bis 60 s, besonders bevorzugt 1,0 bis 30s, idealerweise 1,0 bis 15 s.

Hierbei kann der Temperofen und/oder der Temperraum frei von die Faser berührenden Führungselementen ausgebildet sein oder die Faser berührende Führungselemente aufweisen, welche die Faserachse mindestens für eine Teilstrecke innerhalb des Temperofens und/oder des Temperraums umlenken und somit geometrisch die Verweilzeit der Faser im Temperraum beeinflussen.

Es kann ein Vorteil bei einer Anlagenvariante gegeben sein, wenn die Anlage und insbesondere der Temperofen ausgebildet, dass die Temperatur im Temperraum oder einer dem Temperraum entsprechenden Heizstrecke im Bereich von 300 bis 800 °C liegt, bevorzugt im Bereich von 320 bis 780 °C, besonders bevorzugt im Bereich von 350 bis 750 °C, besonders bevorzugt im Bereich von 380 °C bis 700 °C.

Als besonders vorteilhaft hat es sich herausgestellt, wenn die Anlage, die Temperstation und/oder der Temperofen ausgebildet sind, so dass ein Verhältnis V1 [s/T] von Verweilzeit [s] der Faser zur Temperatur im Temperraum [K] im Bereich von 0,0006 bis 0,6 s * K^{-1} liegt, bevorzugt im Bereich von 0,0006 bis 0,43 s * K^{-1}, besonders bevorzugt im Bereich von 0,048 bis 0,429 s * K^{-1}, besonders bevorzugt im Bereich von 0,176 bis 0,429 s * K^{-1}. Das vorteilhafte Verhältnis V1 wurde insbesondere für den Temperaturbereich in dem Temperraum von 300 bis 800 °C gefunden.

Als besonders vorteilhaft hat es sich weiterhin herausgestellt, wenn die Anlage und/oder der Temperofen ausgebildet sind, so dass ein Verhältnis V2 [s * m^{-1} * K^{-1}] von Verweilzeit [s] zu Innendurchmesser des Temperraums [m] und Temperatur im Temperraum [K] im Bereich von 0,001 bis 0,545 s * m^{-1} * K^{-1} liegt, bevorzugt im Bereich von 0,043 bis 0,39 s * m^{-1} * K^{-1}, besonders bevorzugt im Bereich von 0,086 bis 0,39 s * m^{-1} * K^{-1}. Das vorteilhafte Verhältnis V2 wurde insbesondere für den Temperaturbereich in dem Temperraum von 300 bis 800 °C gefunden.

Die Anlage umfasst vorteilhafterweise Zugvorrichtungen, insbesondere stromabwärts zum Temperofen. Die Zugvorrichtungen, auch engl. „Pully" genannt, sind insbesondere ausgebildet, im Temperofen und insbesondere im Temperraum des Temperofens auf die Faser einen Zug in mN pro Einzelfaser im Bereich von 10 bis 500 mN auszuüben, bevorzugt im Bereich von 10 bis 200 mN, besonders bevorzugt von 10 bis 100 mN, besonders bevorzugt von 10 bis 50 mN, besonders bevorzugt von 10 bis 30 mN.

Insbesondere ist es vorteilhaft, wenn die Fasern mit möglichst geringer Zugkraft von der Zugvorrichtung (Pully) durch den Temperofen gefördert werden. „Zugvorrichtungen" meint vorliegend jede Antriebseinheit, die über einen motorischen Antrieb direkt eine Zugkraft in Achsrichtung der Faser auf diese ausübt, wie bspw. ein Wickelrad, eine Walze, ein Klemmförderband etc. Im Falle von Walzen sind diese insbesondere Umlenkwalzen, an deren Oberfläche die Faser für einen Winkelbereich anliegt und hierdurch die Richtung der Faserachse verändert wird, insbesondere für eine Teilstrecke relativ zur Hauptförderrichtung in der Richtung verändert wird.

Das Heizelement kann bspw. eine Widerstandsheizung, ein Brennerelement, oder ein fluidführender Wärmetauscher sein, so dass das Heizelement die Faser vorzugsweise kontaktlos über eine Gasatmosphäre im Temperraum erwärmt. Hierbei wird vorliegend unterschieden zw. „Heizgaseinleitung" und einem „Brennerelement", wobei bei einem Brennerelement die Brennerabgase nicht in den Temperraum eingeleitet werden, wenn nicht etwas Unterschiedliches ausgeführt wird.

Hingegen meint vorliegend „Heizgaseinleitung", dass mindestens ein Teilvolumenstrom eines Heizgases in den Temperraum eingeleitet wird und die Faser umströmt. Ein Heizgas kann als Quelle einen Brenner und das dort erzeugte Brennerabgas haben, so dass das Heizgas mindestens teilweise aus Brennerabgas gebildet ist, insbesondere einen hohen Volumenprozentsatz CO_2 aufweist. In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst „Heizelement" keinen IR-Emitter und „Heizmedium" umfasst keine IR-Strahlung. Hierbei meint kein „IR Emitter" oder „keine IR-Strahlung" auch eine Heizung, wie eine Widerstandsheizung, die einen bauartbedingten IR-Strahlungsanteil emittiert, wobei dieser Strahlungsanteil aber für die gesamte Heizleistung, insbesondere für die Erwärmung der Faser, keinen oder nur einen sehr geringen Anteil ausmacht.

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 vorgesehen werden, dass mindestens eine weitere thermische Behandlungseinheit angeordnet ist, umfassend eine Trocknungsstation stromaufwärts zur Temperstation.

Die Temperstation und/oder der Temperofen ist somit ausgebildet, die Faser mittels eines kontinuierlichen Verfahrens für eine definierte Zeitdauer (Temperzeit) zu tempern. Hierbei kann die Faser für den eigentlichen Temperschritt auch innerhalb des Temperofens in einem Schrittbetriebe gefördert werde, so dass die Faser oder das Faserbündel zeitweise verlangsamt und/oder zeitweise gestoppt werden. Alternativ oder zusätzlich ist die Zugvorrichtung zur Förderung der Faser in der Temperstation und/oder dem Temperofen das kontinuierliche Verfahren und die Steuer- und Regelung der definierten Zeitdauer (Temperzeit) entsprechend ausgebildet und/oder steuer- und regelbar.

Vorteilhafterweise ist die Temperstation verbindbar mit oder umfasst eine Belüftungseinheit zum Betrieb des Temperofens und/oder des Temperungsprozesses, wobei vorzugsweise der Temperofen mit der Belüftungseinheit verbindbar ist oder eine Belüftungseinheit umfasst.

Die Belüftungseinheit umfasst insb. mind. eine Gaszuführung und mind. eine Gasableitung, wobei bei Gasableitung im einfachsten Fall eine gesonderte Öffnung in dem Temperofen und/oder die Zuführ- und/oder Auslassöffnung für die Fasern sein kann. Vorteilhafterweise umfasst die Belüftungseinheit einen Drucksensor, zur Erfassung des Drucks in einem der zu- oder abführenden Leitungen des (Kühl-)gases bzw. für den Innenraum des Temperofens. In die Gaszuführung kann eine Kompressor eingebunden sein. Die Zuführ- und/oder Auslassöffnung für die Fasern ist vorteilhafterweise so dimensioniert, dass neben den Fasern ein freibleibender Strömungsquerschnitt für ein Gas oder Gasgemisch besteht, insbesondere ein um die Faser umlaufender, ring- oder rahmenförmiger Strömungsquerschnitt. Als besonderer Vorteil des umlaufenden Strömungsquerschnitts konnte beobachtet werden, dass sich eine sehr stabile, weitgehend laminare und zu Faser parallele Gasströmung im Temperraum ausbildet. Hierdurch wurden sehr gut reproduzierbare, stabile Prozessbedingungen im Temperraum des Temperofens erreicht.

Die Faser wird somit in der Temperstation bzw. dem Temperofen direkt oder mittelbar getempert. Hierbei meint in diesem Zusammenhang „direkt“, dass die Faser über einen Temperaturgradienten durch ein Heizelement und/oder einer heißen Oberfläche erwärmt wird, und weiterhin konvektiv durch ein im Temperraum strömendes Gas. Hierbei meint in diesem Zusammenhang „mittelbar“, dass die Wärmeübermittlung, wie eine Festkörperabstrahlung etc. eine Einzelfaser auch durch benachbarte Einzelfasern hindurch über Reflektoren und/oder über erhitzte Bauteile, Wände und/oder Wandabschnitte, 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. Erfindungsgemäß werden die Faser im Temperofen getempert, wobei die gewünschten hohen Trenneigenschaften der Hohlfasermembrane ausgebildet werden. Bei Anwendung der vorliegenden Erfindung eines kontinuierlichen Temperofens, ist Temperung analog zur WO 2014/202324 A1 zu verstehen, durch Temperung von Hohlfasern bei Temperaturen in der Nähe zum Glaserweichungspunkt Gasseparationsmembrane zu erhalten, die eine sehr hohe Selektivität und zudem eine sehr gute Permeanz aufweisen.

Die Glaserweichungstemperatur T_G ist bestimmbar durch unterschiedliche dynamische Differenzkalorimetrien (DDK), auch Differential Scanning Calorimetry (DSC) genannt, insbesondere gemäß der Methode der DIN 53765. Die Grenztemperatur sollte weiterhin unterhalb der Degenerationstemperatur (T_D), auch engl. „decomsing temperature“.

Somit kann in analoger Weise zu T_G zur Bestimmung der obere Grenztemperatur und des Grenztemperaturbereichs auch die Degenerationstemperatur (T_D) einer Faser und/oder des Fasermaterials (Polymersubstrat) dienen. Dies bestimmt sich je nachdem, ob die Effekte der Degeneration oder Glaserweichung bei der Erwärmung der Faser und/oder des Fasermaterials bei unterschiedlichen oder überlappenten Temperaturbereichen einsetzen. Die Degeneration kann beispielsweise in einem Verbrennen, Veraschen, Rissbildung, Versprödung oder sonstigen zerstörenden Effekten bestehen.

Im Falle eines Fasermaterials, bei welchem $T_D < T_G$ als Materialeigenschaft vorliegt, wobei die Degeneration darin besteht, dass bei $T_D < T_G$, insb. $T_D << T_G$, bereits eine verstärket Materialschrumpfung einsetzt, sollte in analoger Weise die Grenztemperatur kleiner als T_D sein. Somit sollte die Anlage vorteilhafterweise ausgebildet sein, hinsichtlich der mindestens zeitweise aufgenommenen und/oder durchleitbaren Faser, immer in analoger Weise zu T_G mit der Grenztemperatur den Abstand zu T_D 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_D 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 Degenerationstemperatur T_D 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 der Faser von größer 250 °C, insbesondere größer 280 °C im Temperofen erreicht, wobei der vorgenannte, stoffabhängige Abstand zu T_G und/oder T_D eingehalten wird.

Die erfindungsgemäße thermische Behandlungseinheit kann somit eine einzige thermische Behandlungsstation zur Durchführung eines einzigen Trocknungsschrittes umfassen, welche als Temperstation mit einem Temperofen 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 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, insbesondere 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 bzw. einen Trocknungsschritt dar.
Diese zusätzliche thermische Behandlungsstation kann vorteilhafterweise ein alternatives Trocknungsmittel und 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 vorteilhafterwiese 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, Belüftungs- und/oder Kühleinheit mit den erforderlichen Anschlüssen etc. Die Anlage und insbesondere der Temperofen ist ausgebildet, um in einem kontinuierlichen Prozess im Inneren mindestens eine Einzelfaser aufzunehmen und diese mindestens zeitweise auf eine Temperatur unterhalb der Glaserweichungstemperatur T_G bzw. der Degenerationstemperatur T_D mittels eines Heizelements und/oder eines Heizgases 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 ein Heizelement umfasst“ zu verstehen, dass das Heizelement als Teil des Temperofens von der Temperstation umfasst ist.

Auch wenn nachfolgend vorrangig von einem „Heizelement“ gesprochen wird, soll hiermit nicht nur ein einziges Heizelement gemeint sein, sondern auch eine Gruppe von Heizelementen, wie bspw. eine Gruppe von Heizwendeln einer elektrischen Widerstandsheizung und/oder ein Mehrzahl von Heizgaseinlässen in den Temperraum.

Es wurden eine Anlage und ein zugehöriges Verfahren gefunden, womit es möglich ist, die aus dem Stand der Technik bekannten Temperungszeiten, mittels beispielsweise einen

Konvektionsofen im Batch-Betrieb, durch die Ausbildung und kontinuierliche Betriebsweise des Temperofens, um ca. einen Faktor 0,001 und mehr zu verringern. Weiterhin konnten langwierige Aufheizschritte vollständig vermieden werden. Insbesondere wurde eine Anlage und ein Verfahren gefunden, die ausgebildet sind, um kontinuierlich betrieben zu werden, insbesondere zur kontinuierlichen Herstellung einer Hohlfaser als Membran zu Gastrennung.

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.

Vorteilhafterweise ist die Polymerlösung ausgebildet, wie in der EP 3083761 B1 beschrieben.

Insbesondere beim Vorliegen von Füllstoffen in der Polymerlösung ist es vorteilhaft, wenn die Anzahl n an Einzelfasern in einem zu tempernden Faserbündel kleiner 600 ist und Bündel von Einzelfasern oder kleinere Teilbündel von bis zu maximal 180 Einzelfasern getempert werden, bevorzugt bis maximal 120 Einzelfasern, idealerweise bis maximal 100 Einzelfasern je Teilbündel. Ohne auf eine Interpretation eingeschränkt zu sein, können Füllstoffe zu einer stark erhöhten Wärmespeicherung und/oder Reflektion der Energie führen, so dass die Homogenität der Temperung der einzelnen Fasern im Faserbündel sinkt, insbesondere zentrale Einzelfasern, die im Bündelmittel angeordnet sind, nicht oder nur unvollständig getempert werden.

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 mindestens auf einer Teilstrecke der Anlage auf Abstand gehalten, üblicherweise sind die Einzelfasern in einer Flucht nebeneinander angeordnet, d.h. in y-Richtung zueinander beabstandet. Im Temperofen können die Fasern einzeln, in Teilbündel oder als ein Gesamtbündel gefördert werden. Zur Bildung eines oder mehrere (Faser-)Bündel können stromaufwärts zum Temperofen entsprechende Führungsmittel und/oder Gruppierungswerkzeuge vorgesehen sein.

Unter „Faser(n)“ 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 Einzelfaser(n) bzw. der Faserstrang verstanden werden. Die Begriffe „Faser“ und „Einzelfaser“ werden zum Teil synonym verwendet.

Der Begriff „Bündel“, „Teilbündel“, „Faserbündel“ oder „Faserteilbündel“ 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“, „Faserbündel“ oder „Faserteilbündel“, nachfolgend kurz „Bündel“ genannt, kann durch mindestens 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 ein 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 der Faser 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 (N_2), 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 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.

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 (Flushing-Station) 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 die jeweils 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) die Temperstation 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. Hierbei ist n grundsätzlich nicht begrenzt und Werte bis n = 600 Einzelfasern sind möglich, wobei vorteilhafterweise n ein ganzzahliger Wert von 2 bis 180 ist, bevorzugt von 20 bis 150, idealerweise von 30 bis 120 ist.

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 Temperofen 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 (Umgebungsluft).

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. N_2, CO_2, in geeigneter Weise vorbehandelt und konditioniert werden. Somit kann eine Belüftungseinheit 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 oder passiv veranlasst ist. Mit „passiv veranlasst“ ist gemeint, dass das Gas mind. teilweise durch die geförderte Faser mitgeschleppt wird. 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, d.h. die Gaszusammensetzung und insbesondere nicht hohe O_2-Konzentrationen, im Temperofen fast keinen Einfluss auf die Qualität der Faser hat, insbesondere nicht auf die Selektivität und/oder 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.

Vorteilhafterweise kann bei einer Ausführungsform der Anlage vorgesehen sein, dass die Belüftungseinheit mind. eine Gaskonditionierungseinheit für das zugeführte Kühlgas umfasst und/oder hieran angeschlossen ist.

Auch wenn vorliegend in der Regel für das zugeführte Gas der Begriff „Kühlgas“ genutzt wird und hiermit eine wesentlichen Funktion oder Zweck des in den Innenraum des Temperofens zugeführten Gases angedeutet wird, soll dies nicht einschränkend verstanden werden. Mit Kühlgas ist weiterhin das Gas oder der Gasanteil gemeint, der mind. teilweise, insb. vollständig den Innenraum des Temperofens durchströmt, insb. mind. teilweise den Raum zwischen den Wandelementen, (seitlichen) Reflektoren, Zwischenräumen eines Heizelements etc., durchströmt, indem im bestimmungsgemäßen Betrieb auch die zu tempernden Fasern angeordnet sind, so dass diese Fasern mind. teilweise von dem Kühlgas umströmbar sind. Im Falle des Einsatzes eines

Wärmetauschers im Temperofen, kann dieser vorzugsweise als Doppelwand, Wandelement oder freitragender Wärmetauscher im Inneren des Temperofens angeordnet sein, um eine konstante Temperatur und/oder ein Überschreiten einer Grenztemperatur, d.h. eine Überhitzung, von einzelnen Bauteilen des Temperofens zu verhindern. Insbesondere kann mittels Kühlgas auch bei jahres- und/oder tageszeitlich stark schwankenden Umweltbedingungen, eine definierte, konstante Gasatmosphäre am Eingang des Temperraums und damit auch innerhalb des Temperraums geschaffen werden.

Die Gaskonditionierungseinheit kann eine bauliche Einheit bilden oder aus mehreren Elementen bestehen, wie insb. einer Trocknungseinheit zur Einstellung einer definierten Feuchte (H_2O) im Kühlgas, eine Filtereinheit, insb. ein HEPA-Filter, zur Einstellung eines definierten Partikelanteils bzw. weitgehende Partikelfreiheit in dem Kühlgas. Weiterhin oder alternativ kann die Gaskonditionierungseinheit ein Gasseparationseinheit oder -modul umfassen oder hieraus gebildet sein, mittels welchem eine O_2-Abreicherung, insb. aus Umgebungsluft, veranlasst werden kann. Die Gasseparationseinheit kann insb. mind. einen Hohlfaserfilter/-modul umfassen, der identisch oder in analoger Weise den hierin beschriebenen Filtermodulen und/oder Filterwerkstoffen entspricht.

Die Belüftungseinheit, die Kühleinheit und/oder die Gaskonditionierungseinheit können mind. eine Durchflussregelungseinheit umfasst, insb. eine Durchflussregelungseinheit, die mittels der Steuer- und Regeleinheit steuer- und/oder regelbar ist. Alternativ oder zusätzlich können die Belüftungseinheit, die Kühleinheit und/oder die Gaskonditionierungseinheit mit einer solchen Durchflussregelungseinheit verbindbar oder verbunden sein.

Die Gaszuleitung über eine Belüftungsstation in den Temperofen und den Temperraum, insb. zusätzlich zu einem Heizelement, wie einer Widerstandsheizung, wirkt sich vorteilhaft auf die Steuer- und Regelbarkeit der Atmosphäre im Temperraum aus. Die Gaszuleitung kann dabei ein oder mehrere Einlassöffnungen und/oder Kanäle in den Temperofen umfassen. Weiterhin kann der Temperofen eine Gasausleitung umfassen, insbesondere aus dem den mindestens einen Temperraum, zur gesteuerten und/oder geregelten 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 vorteilhaften Ausführungsform kann somit 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, insb. zu geregelten Einleitung einer O_2-enthaltenden Gasmischung.

Insbesondere Heizgas von einer externen Heizgasquelle kann über die mind. eine Gaseinlassöffnung in dem Temperraum geleitet werden.

Hierbei meint „gegenüber Atmosphäre“ offen, dass auch bei einem Temperofen, der mechanisch geschlossen ist oder verschließbar ist, im bestimmungsgemäßen, geschlossenen Betrieb mind. eine Durchlassöffnung besteht, durch welche eine Faser beim Betrieb des Temperofens gefördert werden kann. Vorteilhaferweise weist ein Temperofen zwei Durchlassöffnungen auf, eine Einlass- und eine Auslassöffnung für die Faser.

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 O_2-enthaltendes Gasgemisch oder ein Inertgas sein, wie beispielsweise Stickstoff (N_2) oder Kohlendioxid (CO_2). Es hat sich allerdings überraschenderweise gezeigt, dass der passive Eintrag von Umgebungsluft keinen nachteiligen Einfluss auf die Faserqualität hat, insbesondere nicht auf die Selektivität und/oder Permeanz.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist die Belüftungsstation alternativ oder zusätzlich ausgebildet, ein inertes Gas in den Temperofen ein- bzw. durchzuleiten, insbesondere Stickstoff (N_2). Vorteilhafterweise ist die Belüftungsstation ausgebildet, eine sauerstoffarme Atmosphäre im Temperofen herzustellen, diese kann insbesondere darin bestehen, dass der O_2-Gehalt gesenkt, aber gleich oder größer 5,0 mol.-% ist, insb. gleich oder größer als 10 mol.-%, vorzugsweise gleich oder größer 15 mol.-%. Als besonders bevorzugt hat sich allerdings herausgestellt, wenn als Kühlgas Umgebungsluft genutzt wird, insb. mittels einer Gaskonditionierungseinheit konditionierte

Umgebungsluft genutzt wird, die insb. nicht an O_2-abgereichtert wurde und/oder hinsichtlich dem Gasanteile N_2, O_2, CO_2 oder Edelgas verändert, d.h. angereichert oder verarmt wurde.

Die Gasführung innerhalb des Temperofens und insbesondere im Temperraum ist hierbei nicht limitiert und kann unmittelbar entlang oder quer zur Faser erfolgen 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.

Zur Verkürzung von Reaktionszeiten bei erforderlicher Absenkung der Temperatur im Temperraum, weist der Temperofen 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 das Heizelement des Temperofens, wie eine Widerstandheizung, eine Leistung bezogen auf die Länge (m) des Temperofens oder der Widerstandsheizung in Metern von mindestens 7,5 kW/m aufweisen, vorteilhafterweise von mindestens 10,0 kW/m und idealerweise von mindestens 15 kW/m. Vorteilhafterweise beträgt Leistung des Widerstandsheizung max. 100 kW/m, bevorzugt max. 50 kW/m, und idealerweise von max. 35 kW/m. Insbesondere Heizelemente, die bei einer Leistung von 8 bis 17,5 kW/m 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.

Neben mind. einem Heizelement, kann der Temperofen einen oder mehrere Reflektoren im Innenraum aufweisen, wobei ein Reflektor an einer Wand angebracht sein kann oder er kann mind. einen Teil einer inneren Wand oder eines inneren 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 Innenräume (Temperräume) oder Abschnitt aufweist. Ein solcher Temperofen ist ausgebildet, um in einem ersten Innenraum oder Abschnitt für eine erste Behandlungsdauer mit einer ersten Leistung 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 Leitung die Faser in mindestens einem Leistungsschritt zu tempern. Hierbei meint „abgeschirmt“, dass mindestens ein Trenn- und/oder Umlenkelemente, insbesondere ein Trennelement mit einer geeigneten geringen Durchlassöffnung vorgesehen ist. Hierdurch wird erreicht, dass insbesondere die Energie aus dem weiteren Innenraum oder Abschnitt nicht in den nachfolgenden Innenraum oder Abschnitte gelangt. Das Trennelement kann

auch ein Schleusenelement oder Zwischenraum ohne eine Heizung, ein Heizelement und/oder Heizgaseintrag sein, insb. ohne einen IR-Strahlungsemitter.

Bei einer weiteren, vorteilhaften Ausführungsform kann vor- und/oder nach der Temperstation mindestens ein Faserspeicher vorgesehen werden, insbesondere vor der Temperstation, 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 kanal- oder gassenartig ausgebildet ist, und mindestens zwei Wände oder Wandabschnitte parallel zur lokalen Transportrichtung der Faser aufweist, insbesondere in Richtung der Faserlängsachse (A_F), wie sie im bestimmungsgemäßen Betrieb der Anlage vorliegt. Hierbei können die Wände oder Wandabschnitte mit vorgenannten Reflektoren, Heizelementn/-elementen, Wärmetauschern belegt oder hieraus mindestens teilweise gebildet sein können. Somit wird eine Faser ungeschnitten am Strang durch die Temperstation geleitet und während der Förderung in Richtung der Faserachse getempert. Der Temperofen kann somit gemäß dieser Ausführungsform eine Einlassöffnung und eine Auslassöffnung aufweisen, in die kontinuierlich die Faser ein- und ausgeleitet wird. Zur Verbesserung der Steuer- und Regelbarkeit des Temperschritts und des Temperofens, kann mind. eine Führungs- und Umlenkung umfasst sein, insb. eine verfahrbare Umlenkung, mittels welcher die Faser im Bereich und/oder innerhalb des Temperofens mind. einmal umgelenkt wird. Es ist besonders vorteilhaft, wenn die Führungs- und Umlenkung verstellbar ausgeführt wird, insbesondere motorisch verstellbar ausgeführt, so dass die Verweilzeit einer Faser, bzw. eines Faserabschnitts in dem Temperofen und insbesondere im Bereich der des Heizelements und/oder der Heizgaseinleitung/-durchleitung bedarfsweise gesteuert werden kann. Verweilzeit im Temperofen und Temperungszeit werden im vorliegenden Zusammenhang auch synonym verwendet.

Bei einer sehr wirtschaftlichen Ausführungsform der Temperstation, ist diese als eine Gasse oder Kanal mit zur Transportrichtung, insbesondere der Faserlängsachse, parallel ausgerichteten Wänden ausgebildet. Grundsätzlich ist die Lage und die Anzahl der Heizelemente und/oder Heizgase relativ zu der geförderten Faser nicht eingeschränkt, wenn die qualitätsrelevanten Parameter, wie beispielsweise Leistung der Heizelemente, Einwirkungsdauer auf die Faser und Gleichmäßigkeit des Energieeintrags 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 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 Energieeintrag bis zur Grenz- bzw. Temperungstemperatur 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 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 Füllstoff umfasst sein kann, wie beispielsweise Zeolithe, MOF-Partikel (Metal-Organic Framework Materials), Mexene (MXene) und/oder Graphene oder

ii) im Wesentlichen aus einem anorganischen oder metall-organischen Material gebildet sein, wie bspw. Zeolithe, MOF-Partikel (Metal-Organic Framework Materials), Mexene (MXene) und/oder Graphene, 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 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 (T_G) des Polymersubstrats erwärmt wird, erwärmt wird, wobei die Faser im Temperschritt mittels mindestens eines kontinuierlich betriebenen Temperofens durch ein Heizelement und/oder ein Heizgas erwärmt wird, d.h. getempert wird.

Hierbei wird die die Faser im Temperschritt kontinuierlich mittels mindestens einem Heizelement (252) und/oder einem Heizmedium in einem Temperofen bis zu einer Temperatur erwärmt wird, die
i) im Bereich bis 80 °C unterhalb der Glaserweichungstemperatur (T_G) und/oder
ii) im Bereich von größer 250 °C und unterhalb der Glaserweichungstemperatur (T_G) liegt.

Dabei kann die Temperatur im Temperofen größer als T_G sein, und muss insb. in Abhängigkeit von der Geometrie des Temperofens, insb. des Innenraumes, und der Verweilzeit der Faser im Temperofen bestimmt werden.

Hierbei wird die Faser im Temperofen mittels des Heizelements und/oder eines Heizmediums in einer umgebenden Gasatmosphäre kontinuierlich erwärmt. Weiterhin kann ein Kühlgas passiv eingeschleppt oder aktiv zugeführt werden, welches im Temperschritt die Gasatmosphäre mind. teilweise miterzeugt.

Das Herstellungsverfahren ist vorzugsweise ein Verfahren zum kontinuierlichen Tempern der Faser im Temperofen, insbesondere für eine Verweilzeit der Faser im Temperofen von weniger als 30 Minuten, bei Normaldruck oder geringfügig gegen Normaldruck erhöhtem Druck in dem Temperofen. Bei einer vorteilhaften Verfahrensvariante beträgt die Verweilzeit der Faser im Temperraum oder einer dem Temperraum entsprechenden Heizstrecke 0,5 bis 180 s, bevorzugt 1,0 bis 120 s, besonders bevorzugt 1,0 bis 60 s, besonders bevorzugt 1,0 bis 30s, idealerweise 1,0 bis 15 s.
Hierbei kann der Transport der Faser vorteilhafterweise berührungslos im Temperraum sein oder die Faser durch berührende Führungselemente in Faserachse mindestens für eine Teilstrecke innerhalb des Temperofens und/oder des Temperraums umgelenkt werden, so dass geometrisch durch Umlenkung die Verweilzeit der Faser im Temperraum beeinflusst wird.

Es kann ein Vorteil bei einer Verfahrensvariante darin bestehen, wenn die Temperatur im Temperraum oder einer dem Temperraum entsprechenden Heizstrecke im Bereich von 300 bis 800 °C liegt, bevorzugt im Bereich von 320 bis 780 °C, besonders bevorzugt im Bereich von 350 bis 750 °C, besonders bevorzugt im Bereich von 380 °C bis 700 °C.

Als besonders vorteilhaft hat es sich herausgestellt, wenn bei einer Verfahrensvariante das Verhältnis V1 [s/T] von Verweilzeit [s] der Faser im Temperraum zur Temperatur im Temperraum [K] im Bereich von 0,0006 bis 0,6 s/K liegt, bevorzugt im Bereich von 0,0006 bis 0,43 s/K, besonders bevorzugt im Bereich von 0,048 bis 0,429 s/K, besonders bevorzugt im Bereich von 0,176 bis 0,429 s/K. Das vorteilhafte Verhältnis V1 wurde insbesondere für den Temperaturbereich in dem Temperraum von 300 bis 800 °C gefunden.

Als besonders vorteilhaft hat es sich weiterhin herausgestellt, wenn gemäß einer Verfahrensvariante ein Verhältnis V2 [s/m*K] von Verweilzeit [s] der Faser im Temperraum zum Innendurchmesser des Temperraums [m] und der Temperatur im Temperraum [K] gegeben ist, der im Bereich von 0,001 bis 0,545 s/m*K liegt, bevorzugt im Bereich von 0,043 bis 0,39 s/m*K, besonders bevorzugt im Bereich von 0,086 bis 0,39 s/m*K. Das vorteilhafte Verhältnis V2 wurde insbesondere für den Temperaturbereich in dem Temperraum von 300 bis 800 °C gefunden.

Vorteilhafterweise ist bei der Verfahren vorgesehen, dass auf die Faser eine Zugkraft in mN pro Einzelfaser ausgeübt wird, die im Bereich von 10 bis 500 mN liegt, bevorzugt im Bereich von 10 bis 200 mN, besonders bevorzugt von 10 bis 100 mN, besonders bevorzugt von 10 bis 50 mN, besonders bevorzugt von 10 bis 30 mN.

Vorteilhafterweise ist bei dem Verfahren vorgesehen, dass im Temperschritt n Einzelfasern parallel getempert werden, wobei n =< 600 ist, vorzugsweise n =< 180, besonders bevorzugt n =< 120, idealerweise n <= 100. Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn im Temperschritt n Einzelfasern parallel getempert werden, wobei n >= 2 ist, vorzugsweise n >= 10, besonders bevorzugt n >= 20, idealerweise n >= 40. Somit ergeben sich ein vorteilhafter Bereich von 2 bis 600 Einzelfasern, die parallel im Temperschritt als bspw. ein einziges Faserbündel getempert werden oder entsprechende kleinere Faserbündel.

Bei einem Variante des Verfahrens kann es vorteilhaft sein, wenn die Temperungszeit im Bereich von 0,5 bis 60 s liegt, bevorzugt 1 bis 30 s, idealerweise 1 bis 20 s. Erfolgt eine mehrstufige Temperung, bzw. eine Temperung, bei der ein vorlaufender Erwärmungsschritt vorgenommen wird, gefolgt von mindestens einem Leistungsschritt, bei dem die Faser bei maximaler Leistung getempert wird, beziehen sich die vorgenannten Temperungszeiten auf den Leistungsschritt oder die Summe der Leistungsschritte.

Bei einer weiteren Verbesserung, die insbesondere eine bessere Steuer- und Regelbarkeit das kontinuierlichen Verfahrens nach sich zieht, kann vorgesehen werden, dass ein Kühlgas zugeführt wird, das im Temperschritt mind. einen Teil des Temperofens und/oder die Faser kühlt, wobei das Kühlgas den Temperofen (251) mit einer Gasaustauschfrequenz (AF) von 0,15 pro Minute bis zu 30 pro Minute durchströmt, Kühlgas und wobei die im Temperofen (251) eingebrachte Heizenergie =< 50 kJ/m beträgt.

Vorteilhafterweise weist das Kühlgas am Einlass eine Eintrittstemperatur auf, die 5 bis 50 °C unterhalb der Austrittstemperatur am Temperofen liegt, bevorzugt 5 bis 30 °C, idealerweise 5 bis 15 °C.

Die „Austauschfrequenz“ oder synonym „Gasaustauschfrequenz“ bezieht sich hierbei auf das Volumen des Innenraums des Temperofens, insbesondere den Anteils des Innenraums, indem die Faser aufgenommen ist und das Heizelement oder das Heizgas thermisch auf die Faser einwirkt, insbesondere direkt thermisch auf die Faser einwirkt, wobei dieser Innenraum und/oder Anteil des Innenraums des Temperofens von dem Kühlgas durchströmt wird.

Insgesamt wurde beobachtet, dass eine gezielte (Kühl-)Gasströmung und -führung für die Gleichmäßigkeit der Qualität der Faser, insb. für die abgeschatteten Fasern, und die Energiedistribution im Temperofen ist. Es hat sich weiterhin überraschenderweise herausgestellt, dass mit Blick auf Selektivität und Permeabilität der Faser ein Zusammenhang zw. der Austauschfrequenz und der zugeführten Energie besteht. Es wurde herausgefunden, dass bei höheren Austauschfrequenzen eine verbesserte Permeabilität bei gleichbleibender oder im Wesentlichen gleichbleibender Selektivität gegeben ist. Weiterhin konnten bei geringen Austauschfrequenzen verbesserten Selektivitäten bei leicht gesunkenen Permeabilitäten beobachtet werden. Somit kann hiermit einen Lehre bereitgestellt werden, dass ein Anlagenbetreiber in Abhängigkeit von der Spezifikation der zu produzierenden Faser die Austauschfrequenzen und/oder den Energieeintrag steuern- und regeln kann.

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).

Es ist insbesondere vorteilhaft, wenn das Verfahren zur Herstellung einer getemperten Faser mittels einer Anlage durchgeführt wird, die nach mind. einem der hierin beschriebenen Ausführungsformen und Varianten ausgebildet ist. Es hat sich als besonders vorteilhaft herausgestellt, wenn der Temperraum des Temperofens kanal- oder gassenartig ausgebildet ist und die Faser im Bereich des Temperraumes berührungsfrei geführt wird. Das meint, das die Faser im Temperschritt nicht ein- oder mehrseitig von Umlenkelementen kontaktiert wird. Auf diese Weise können besonders gleichmäßig Membraneigenschaften eingestellt werden.

Es kann ein Vorteil bei einer Varianten des Verfahrens darin bestehen, dass eine Gruppe von m Einzelfasern vor dem Temperschritt in einem Gruppierungsschritt zum mindestens einem Bündel aus n = 5 bis 600 Einzelfasern geformt und nachfolgend als Bündel getempert werden, wobei entweder

- n kleiner als m ist, so dass zwei oder mehr Teilbündel gebildet werden oder
- n gleich m ist, so dass nur ein Bündel gebildet wird.

Bei einer sehr großen Gesamtanzahl m an Einzelfasern kann es vorteilhaft sein, wenn Teilbündel aus n Einzelfasern gebildet werden, um die Abschattung und Isolierung der Fasern untereinander im Temperraum zu verringern. Die Teilbündel können in einem gemeinsamen Temperraum im Temperofen getempert werden. Alternativ oder zusätzlich können Teilbündel in einem zweiten Temperofen und/oder separaten Temperraum getempert werden.

Es kann ein Vorteil bei einer Varianten des Verfahrens darin bestehen, dass die Faser von der Spinneinheit bis mindestens zum Ausgang der Temperstation kontinuierlich transportiert wird, insbesondere ungeschnitten transportiert wird.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens kann vorgesehen werden, dass der Temperschritt bei einem Druck erfolgt, der im Bereich von max. + 2 bar zum Atmosphärendruck liegt, vorzugsweise + 1 bar, vorzugsweise + 0,5 bar oder gleich dem Atmosphärendruck ist. Hierdurch wird insb. sichergestellt, dass innerhalb des Temperraumes im Temperofen immer eine definierte Strömung/-srichtung herrscht und insb. keine Fremdluft angesaugt wird. Die Strömungsrichtung des Kühlgases innerhalb des Temperraums ist nicht beschränkt, wobei es sich als vorteilhaft herausgestellt hat, die Fasern mind. für eine Teillänge oder einen Teilabschnitt im Gegenstrom anzuströmen. Dies hat den Vorteil, dass die Wärme (Energie) von den am längsten zum Heizelement exponierten Faserabschnitte hin zu den kürzer exponierten und damit kühleren Faserabschnitte transportiert wird.

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 durch einen Temperofen und das dortige Heizelement ein Faserbündel aus n Einzelfaser von 2 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 Heizelements mit einer Leistung bezogen auf die Länge des Heizelements in Metern (m) von mindestens 5,0 kW/m, vorzugsweise mindestens 7,5 kW/m und idealerwiese mindestens 10 kW/m behandelt werden. Hierbei kann es weiterhin vorteilhaft sein, wenn die Heizleistung max. 100 kW/m, vorteilhafterweise max. 50 kW/m und idealerweise max. 35 kW/m 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 kann der Temperschritt in einer inerten oder weitgehend inerten Atmosphäre stattfinden, in der der O_2 Gehalt in dem Temperofen unterhalb von 1.000 ppm liegt. Es hat sich überraschenderweise allerdings als technisch machbar und wirtschaftlich sehr vorteilhaft herausgestellt, die Atmosphäre im Temperofen bei einem Gasgemisch von gleich oder größer 5,0 mol.-% ist, insb. gleich oder größer als 10 mol.-%, vorzugsweise gleich oder größer 15 mol.-% einzustellen. Als besonders bevorzugt und überraschend stellte sich heraus, den Temperschritt in Umgebungsluft durchzuführen, insbesondere konditionierte Umgebungsluft. Die restlichen Gasanteile des Kühlgases sind vorteilhafterweise N_2, insb. sind die restlichen Gasanteile über 95

mol.-% N_2. Somit kann Umgebungsluft mit ~21 mol.-% O_2 zugeführt werden.

Hierbei meint „konditionierte Umgebungsluft“, dass Umgebungsluft oder ein sonstiges O_2-haltiges Gasgemisch vor der Einleitung in den Temperofen und/oder den Temperschritt in geeigneter Weise gefiltert wird, insb. hinsichtlich der Partikelkonzentration, und/oder hinsichtlich der Feuchte und/oder der Temperatur konditioniert wird.

Die Energie zur Temperung wird vorteilhafterweise von einem Heizelement, wie bspw. eine Widerstandheizung, ein Brenner, ein Wärmetauscher etc. mindestens einseitig in Richtung der Faser oder des Faserbündels im Temperofen eingebracht und vorteilhafterweise durch Konvektion und/oder Reflektion von mind. einer Innenwand und/oder an mindestens einem Reflektor innerhalb des Temperofens verteilt. Alternativ oder zusätzlich kann die Energie direkt über ein Heizmedium in den Innenraum eingebracht werden, wie ein Heizgas. Hierbei kann das Heizgas indirekt über eine Wärmetauscher oder in einem Verbrenner als Verbrennungsabgas erzeugt werden. Das Verbrennungsabgas kann insbesondere aus der Verbrennung eines kohlenstoffhaltigen Stoffes stammen, insbesondere eines kohlenstoffhaltigen Gases oder Gasgemisches. Das kohlenstoffhaltige Gas oder Gasgemisch kann vorteilhafterweise Methan, Ethan, Propan oder Butan sein oder umfassen.

Als herausragenden Effekt wurde überraschend festgestellt, dass die gesamte Temperungszeit unter Verwendung eines kontinuierlichen Volumenstroms eines Heizgases und/oder eines kontinuierlich arbeitenden Heizelements, wie bspw. einer Widerstandsheizung, für ein Bündel aus bis zu 80 Einzelfasern nur beispielsweise 0,1% der Temperungsdauer erfordert, verglichen zu einem üblichen, batchweise arbeitenden Temperofen, wie beispielsweise ein elektrischer 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.

Zur Begrenzung von Diffusionsvorgängen in der Reste an Lösungs- oder Austauschmedium umfassenden Faser, kann es vorteilhaft sein, den Energieeintrag bei der Temperung nicht in einem einzigen Schritts vorzunehmen. Somit kann eine weitere Verfahrensausführung darin bestehen, dass der Temperschritt mindestens aus zwei Teilschritten besteht, nämlich
1) mindestens einem Erwärmungsschritt, bei dem die Leitung im Bereich von 5 bis 25 % der maximalen Leistung beträgt, vorteilhafterweise 7,5 bis 15 %, idealerweise 10%; und
2) mindestens einem Leistungsschritt, bei dem die definierte, maximale Leistung zur Temperung im Temperofens eingebracht wird.

Im Falle eines solchen Mehrstufigen Temperungsschritts, berechnet sich die Temperungszeit im Wesentlichen nach dem Leistungsschritt oder der Summer der Leistungsschritte.

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 Leistung vom Heizelement und/oder dem Heizmedium in den Temperofen eingebracht wird. Es besteht ein Vorteil hin zu einer einfachen und effizienten Verfahrensführung, wenn der Erwärmungsschritt durch Kühlung mittels Kühlgas auf mindestens einer Teilstrecke im Temperofen erfolgt, insbesondere durch Kühlung mittels eines einströmenden Gasstroms erzeugt wird.

Bei einer weiteren Verfahrensausführung kann ein Vorteil darin bestehen, dass die Faser mindestens während einer Teildauer des Erwärmungs- und/oder Leistungs-/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 ein Gas oder eine Gasmischung, insbesondere Luft, N_2 und/oder CO_2, in den Innenraum (Temperraum) des Temperofens einbracht wird.

Bei alternativen Ausführungsformen des Verfahrens erfolgt, wie vorstehend für dem Temperofen ausgeführt, eine Gasführung über mindestens eine 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, das heiß passiv und ausgeschleppt werden.

Hierbei ist es vorteilhaft, wenn das passiv oder aktiv mit der Faser eingeschleuste Gas oder Gasgemisch, insb. Luft, parallel zu Förderrichtung der Faser strömt, insbesondere gleichgerichtet zur Faser strömt. Hierdurch werden Schwingungen und damit mechanische Belastungen der Faser vermieden, wobei grundsätzlich die Strömungsrichtung des Gases oder der Gasmischung möglich ist. Es hat sich allerdings als besonders vorteilhaft herausgestellt, wenn das kühlere, zufließende Gas gleichgerichtet in den Temperofen strömt, da hierdurch analog zur mehrstufigen Temperung der Temperaturübergang für die kalte, einlaufende Faser weniger rapide verläuft.

Bei einer einfachen, aber sehr wirtschaftlichen Verfahrensvariante ist keine Schleusenkammer vorgesehen. Bei einer Verbesserung dieser Ausführungsform kann eine Schleusenkammer vorgesehen sein, insbesondere eine beheizbare Schleusenkammer, worüber einen erste Erwärmung 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 und/oder die thermische Belastung der Faser am Auslass zu vermindern. Hierbei kann das Heizgas ein Gasgemisch, wie Luft, ein O_2-enthaltendes Gasgemisch sein. Alternativ oder zusätzlich kann das Gas(-gemisch) mindestens ein Inertgas umfassen, wie beispielsweise Stickstoff (N_2) oder Kohlendioxid (CO_2). Alternativ kann die Schleusenkammer ein Heizelement umfassen, um denselben Effekt zu erzielen.

Zur Verbesserung der Steuer- und Regelbarkeit des Herstellverfahrens kann bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform eine Gaszuleitung erfolgen, insbesondere in den mindestens einen Innenraum (Temperraum) zusätzlich zu einem dort angeordneten und/oder einwirkenden Heizelement, 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. Dies ist besonders vorteilhaft, wenn das Heizelement, wie eine Widerstandsheizung und/oder ein innerer, fluidführender Innenraum von dem Temperraum und der dort geführten Faser durch ein massestarkes Wandelement getrennt sind, und somit eine große Systemträgheit und/oder längere Totzeiten bestehen, bis Änderungen der Regelung hinzu niedrigeren Temperaturen (Abkühleffekte) bei der geförderten Faser wirksam werden.

Auch wenn vorliegend die Anlage und das Verfahren vorrangig für eine kontinuierliche Temperung beschrieben sind, ist die vorliegende Erfindung hierauf nicht beschränkt. Der Temperofen kann auch eine Batch-Einheit sein, so dass die Fasern, ein Faserbündel oder einer Gruppe von Faserbündeln im Batch-Betreib mittels mindestens einen Heizelements und/oder des Heizgases getempert werden.

Alternativ könne die Fasern vorteilhafterweise vor dem Tempern auf eine gewünschte Länge geschnitten und/oder vorteilhafterweise mindestens temporär als (Teil-)Bündel fixiert werden, analog zu den hierin beschriebenen Behandlungseinheiten der Anlagen. Bei dieser schritt- oder batchweisen Temperung ist es insgesamt vorteilhaft, die Einzelfasern bzw. die Faserbündel in

Achsrichtung senkrecht hängend oder gehalten zu tempern, so dass die Einzelfasern weitgehend parallel zueinander ausgerichtet bleiben.

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 und
Fig. 8 einen weiteren Graphen als Vergleich der Verweilzeiten im Temperofen.

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 einen 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 mit der Anlage 100 oder Teilen hiervon über Datenleitungen 132 verbunden, wie mit einer strichpunktierten Leitung beispielhaft skizziert wurde. Sonstige Elemente für die Energie- und Datenleitung, sowie Automation der Anlage 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 und 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 in besondere 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 Heizelement 252, wobei das Heizelement 252 als elektrische Widerstandheizung ausgebildet und im Gehäuse 256 des Temperofens 251 angeordnet ist. Der Temperofen 251 ist als Kanal ausgebildet und empfängt an der Eingangsseite kontinuierlich das vorgetrocknete Bündel 112 für eine Temperungszeit (Verweilzeit) von ca. 2 bis 20 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 Belüftungseinheit 290 angeschlossen, die eine Gaszuleitungseinheit 270, eine Gasableitungseinheit 272 umfasst, wobei ein Verdichter 226 und eine Gasfiltereinheit 274 Teile der Gasableitungseinheit 272 sind. Die Gaszu- und -ableitung 270, 272 sind in dem gezeigten Beispiel Teil der Belüftungseinheit 290, wobei die Gaszuleitungseinheit 270 eine Gasquelle umfasst und/oder an Zuführungs- und/oder Ansaugelemente für atmosphärische Außenluft angeschlossen ist. Weiterhin ist der Gaszuleitungseinheit 270 eine Durchflussreglungseinheit 136 angeschlossen, die in dem gezeigten

Beispiel ein regelbares Gasventil und/oder -drossel ist. Die Durchflussregelungseinheit 136 ist über die Datenleitung 132 mit der zentralen Steuer- und Regelungseinheit 130 verbunden und kann zentral geregelt werden. In einer nicht gezeigten, alternativen Ausführungsform ist die Durchflussregelungseinheit 136 ein (nur) lokal regel- und/oder steuerbares Gasventil oder Gasdrossel. Die Belüftungseinheit 290 umfasst weiterhin eine Gaskonditionierungseinheit 298, mittels welcher Umgebungslauf angesaugt wird, der Kühlgasstrom entfeuchtet und mittels HEPA-Filter gefiltert wird.

Mittels des Verdichters 226 kann insb. bei höheren Strömungswiderständen durch einen nachgeordneten Filter 274 ein vollständiger Fluss über den Filter 274 sichergestellt werden, weil die Zu- und Abführung des Faserbündels 112 gegen den Temperraum gegebenenfalls nicht abgedichtet ist. Auf diese Weise soll eine übermäßige Erwärmung und/oder nachteiliger Austritt von Gasen aus dem Temperraum verhindert werden. Bei einer vereinfachten Ausführungsform (nicht gezeigt) wird kein Verdichter und/oder Filter in der Gasableitungseinheit 272 vorgesehen.

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 Fig. 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. In dem Beispiel, wie es in der Figur 2 gezeigt ist, weist der Temperofen 251 als Heizelement 252 einen Widerstandsheizung 253 auf, dem gegenüber ein Reflektor 254 im Innenraum des Temperofens 251 angeordnet ist. 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 einer Widerstandsheizung 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 bspw. Widerstandsheizung 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 Widerstandsheizung getempert.

In dem Ausführungsbeispiel der Figur 4 ist im Unterschied zur Anlagenvariante der Figur 3 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 Widerstandsheizung 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 Widerstandsheizung 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 der Figur 8 gezeigten Graphen werden nachstehend zusammen mit der Diskussion der Versuchsergebnisse beschrieben und diskutiert.

Versuchsaufbau

Die Versuche wurden mit einer Temperstation 250 durchgeführt, wie in der Figur 7 dargestellt, die analog zu Figur 3 ausgebildet ist und im Wesentlichen eine Detaildarstellung der Figur 3 ist. Die Temperstation 250 umfasste als zentrales Element einen Temperofen 251, der ein geschlossenes Gehäuse 256 aufweist, das zwei Halbschalen umfasst, die im dargestellten, geschlossenen Zustand im Inneren als Innenraum den Temperraum 254 bilden. An den Stirnseiten sind jeweils eine Durchgangsöffnung 258 angeordnet gebildet ist. In dem Gehäuse 256 sind in beiden Halbschalen Widerstandsheizungen 252 integriert, skizziert durch ein gitterartiges Muster. Im Innern der Temperofens 251 ist ein kanalartiger Innenraum als Temperraum 254 ausgebildet, durch den das Faserbündel 112 kommend von der Trocknungsstation 180 im Temperungsschritt

gefördert wird. Die Elemente zu Bündelung der Einzelfasern 110 zu einem Faserbündel 112 sind nicht gezeigt.

Die Temperaturmessung erfolgt über einen Temperatursensor 294. Der Temperatursensor 294, die Widerstandheizung 252 und der Faserantrieb (nicht dargestellt) sind über Datenleitungen mit der Steuer- und Regelungseinheit 130 verbunden. Die Versuche wurden im kontinuierlichen Betrieb durchgeführt. Der Temperofen 251 war auf der Außenschale thermisch isoliert, aber nicht aktiv gekühlt.

Stromabwärts des Temperofens 251 wurde das Bündel 112 auf länge geschnitten und hinsichtlich Selektivität und Permeanz vermessen.

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} cm³(STP) cm) / (cm² s cmHg)
	[barrer] = 1,333*1017 * [Nm³*m/(m²*s*Pa)]
	mit STP (Standard Temperature and Pressure): ist 0°C, 101325 Pa
V_{dead}	Volumen der Permeatseite in cm³
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 cm³ cmHg K^{-1} mol^{-1}
T	Temperatur in Kelvin
A	Fläche der Folie in cm²
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} cm³·cm^{-2} s^{-1} cmHg^{-1})
Q	Gasfluss der Permeatseite in cm³ (STP)/s
R	Gaskonstante in cm³ cmHg K^{-1} mol^{-1}
T	Temperatur in Kelvin
A	Außenfläche der Hohlfaser in cm²
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

Die Versuche 1, 2 wurden in dem vorstehend beschriebenen Versuchsaufbau gemäß Figur 7 durchgeführt. Hierbei wurden Referenzfasern aus einem Batchverfahren und eine ungetemperte

Faser mit erfindungsgemäß kontinuierlich getemperten Fasern verglichen. Die Referenzfasern waren im elektrischen Konvektionsofen unter Vakuum für 6 Stunden getemperten worden, als Faserbündels aus 80 Einzelfasern (V0a), ein Faserbündel aus ungetemperten 80 Einzelfasern und kontinuierlich geförderte und getemperte Faserbündel aus derselben Anzahl an Einzelfasern bei unterschiedlichen Verweildauern im kontinuierlich betriebenen Temperofen. Aus den unterschiedlichen Fördergeschwindigkeiten der Faser wurden die Verweilzeiten der Faser bzw. eines diskreten Faserabschnitts im Temperofen abgeleitet.

Versuche

Mit dem Versuchen V1, V2 wurde der Einfluss der Verweilzeit der geförderten Polyimid-Faser bei einer zum Versuch 1 höheren konstanten Temperatur im Temperofen untersucht. Hierbei wurden zwei Bündel aus Polyimid-Fasern bei unterschiedlichen Temperaturen verglichen.

Die Tabelle 1 zeigt die Messwerte aus den beiden Versuchen V1, V2. Die Fasern waren aus dem Polymermaterial Polyimide gesponnen und bei allen Versuchen betrug die Kerntemperatur des Temperofens konstant ca. 450 °C. Hierbei wurde die Kerntemperatur im Zentrum des Ofens gemessen, wobei der Temperaturgradient in Richtung der Längsachse im Innenraum (Temperraum) durch den Eintrag von Umgebungsluft vorliegend unbeachtlich blieb.

Als Temperofen (251) wurde ein Durchlaufrohrofen der Firma Nabertherm® RSRC 120-1000/13 eingesetzt. Er weist ein durchgehendes Arbeitsrohr auf, das in einem Heizabschnitt von einer äußeren Widerstandsheizung erwärmt wurde. Als Arbeitsrohr wurde ein Metallrohr verwendet. Eingangs- und Ausgangsseitig zum Heizabschnitt wurde das metallische Arbeitsrohr nicht beheizt und wurde atmosphärisch gekühlt. Der Durchlaufofen wurden in einer nicht geneigten, horizontalen Ausrichtung betrieben. Das Arbeitsrohr stellt in dem Heizabschnitt den Temperraum dar.

Die Faserbündel von mindestens 30 Einzelfasern wurde am einen Ende des Arbeitsrohres (eingangsseitig) zugeführt, durchlief den beheizten Bereich (Heizabschnitt) und wurde am anderen Ende (ausgangsseitig) unter Zugspannung herausgeleitet.
Die technischen Daten des Durchlaufrohrofens umfassten das Folgende:

- maximale Temperatur von 1300°C im Innenraum (Temperraum)
- Nennleistung max. 13,7 kW - 14,4 kW
- beidseitig offenes Arbeitsrohr aus Edelstahl
- Thermoelement Typ S, frei abstrahlende Heizelemente auf das Arbeitsrohr
- Äußeres Ofengehäuse aus Edelstahl-Strukturblechen, gelocht
- Aufklappbares, haubenartiges Ofengehäuse; insb. innere Ofenhaube mit integrierter Widerstandsheizung
- Integrierte Control- und Schalteinheit

Es bestand die Option zur dreizonigen Regelung der Widerstandsheizung, wobei in allen drei Zonen stets dieselbe Temperatur eingeregelt wurde.

Der Durchlaufrohrofen wies bauartbedingt eine einstellbarer Drehzahl für das gelagerte Arbeitsrohr zwischen 0,28 und 6 Umdrehungen/Minute auf, welche aber bei den Versuchen nicht genutzt wurde.

Bauartbeding ist der Heizabschnitt dreizonig, wobei in den drei Zonen die in eine innere Ofenhaube einbetteten Heizwendeln der Widerstandsheizung gegenüber liegend dem Arbeitsrohr angeordnet sind und auf dieses unmittelbar einwirken. Weiterhin wies der Durchlaufofen an dieser inneren Ofenhaube nach außen hin thermisch isolierte Ein- und Auslassstutzen auf, auf deren Außenseite keine Heizwendeln der Widerstandsheizung angeordnet sind, so dass diese nicht direkt beheizt werden, aber auch nicht gekühlt wurden.

Zur Ermittlung der Verweilzeit der Faser im Temperraum (Heizstrecke) wurden Ein- und Auslassstutzen auch als dem Heizabschnitt zugehörig angesehen, aufgrund der Wärmeleitung des metallischen Arbeitsrohres. Die Länge des Heizabschnitts umfasste somit die isolierten Ein- und Auslassstutzen und entspricht der Länge des Temperraums des Temperofens.

Die innere Ofenhaube war auf der Mantelseite zur Umgebung hin thermisch isoliert und wies auf den flachen Stirnseiten eingangsseitig und ausgangsseitig jeweils eine runde Durchtrittsöffnung entsprach im Wesentlichen dem Innendurchmesser des Arbeitsrohres und betrug 110 mm, durch die das jeweilige Faserbündel aus n Einzelfasern hindurchgeleitet wurde.

Die Einzelfasern wurden vor dem Temperschritt stromaufwärts zum Temperofen kontinuierlich bei einer Temperatur von ca. 80 °C getrocknet. Kühlgas wurde als Umgebungsluft ungeregelt (passiv) gemeinsam mit dem geförderten Faserbündel in den Temperofen eingeschleust und trat ausgangsseitig ungeregelt und erhitzt aus der dortigen Durchtrittsöffnung aus. Das Faserbündel umfasste 30 Einzelfasern (n = 30). Stromabwärts wurde das Faserbündel geschnitten und hinsichtlich O_2 Permeanz und O_2/N_2 Selektivität vermessen, wie hierin beschrieben. Die aus der ausgangsseitigen Durchlassöffnung austretende heiße Abluft wurde mit einer Abzugshaube im Halleninnenraum der Versuchsanlage abgesaugt und abgeleitet. Die Temperatur im Temperraum des Durchlaufofens betrugen ca. 450 °C.

Tabelle 1: Ergebnisse Versuch 01

Versuchnr.	Temperung	T [°C]	Dauer [sec]	Normalisierte O_2 Permeanz	Normalisierte O_2/N_2 Selektivität
V1_a	ungetempert	--	nicht relevant	2,09	0,80
V1_b	Referenz; batch	--	nicht relevant	1,00	1,00
V1_1	kontinuierlich	450	1,8	**1,26**	0,93
V1_2	kontinuierlich	450	2,2	**1,04**	**0,94**

V1_3	kontinuierlich	450	2,4	0,74	**1,06**
V1_4	kontinuierlich	450	2,8	0,73	**1,04**
V1_5	kontinuierlich	450	3,3	0,42	**1,24**
V2_a	ungetempert	--	nicht relevant	2,27	0,80
V2_b	Referenz; batch	--	nicht relevant	1,00	1,00
V2_1	kontinuierlich	450	2,2	**1,14**	0,95
V2_2	kontinuierlich	450	2,4	**0,88**	**1,01**
V2_3	kontinuierlich	450	3,0	0,32	**1,22**
V2_4	kontinuierlich	450	2,8	0,46	**1,12**
V2_5	kontinuierlich	450	3,3	0,29	**1,24**

Der zugehörige Graph ist in der Figur 8 dargestellt. Hierbei zeigt die y-Achse die normierte O_2/N_2 Selektivität und die x-Achse die normierte O_2 Permeanz, wobei auf Basis der Referenzfaser (V2_0b) normiert wurde. Die durchgezogene Trendlinie dient vorrangig der optischen Orientierung und stellt im engeren Sinne keine mathematischen Abhängigkeit dar. Die unterschiedlichen Symbole haben die Bedeutung, wie es in der Legende des Graphen ausgewiesen ist. Ein Messpunkt für die ungetemperten Faser ist im Graphen der Figur 8 nicht ausgewiesen.

Es hat sich einerseits überraschenderweise gezeigt, dass trotz der sehr kurzen Temperzeiten von unter 10 s, Selektivitäten und Permeanzen erreicht werden konnten, die im Bereich der konventionell hergestellten Referenzfaser liegen. Die Temperungszeit der Referenzfaser lag bei ca. 6 Stunden Verweilzeit im elektrischen Konvektionsofen, so dass die Verweilzeit um Stunden verkürzt werden konnte. Hinsichtlich der Selektivitäten konnten sogar Verbesserungen von bis zu 26 % erreicht werden, bei nur geringen Verlusten bei der Permeanz. Es war insbesondere überraschend, dass eine Abhängigkeit Selektivität und/oder Permeanz von der Verweilzeit erkennbar ist, so dass sich Selektivität und Permeanz als Funktion der Verweilzeit im Temperofen beschreibbar ist.

Es war insbesondere überraschend, dass eine Abhängigkeit Selektivität und/oder Permeanz von der Verweilzeit und/oder der Temperatur im Temperraum erkennbar ist, so dass sich Selektivität und Permeanz als Funktion der Verweilzeit im Temperofen beschreibbar ist. Es hat sich somit gezeigt, dass je nach gewünschter Spezifikation, über die Anpassung der Verfahrensparameter Verweilzeit und/oder Temperatur ein gewünschtes Optimum bei Permeanz und Selektivität einstellbar ist.

Hierbei wurde ein kontinuierlicher Gasstrom in Förderrichtung durch den Temperofen beobachtet, der aufgrund der am Auslass der Faser austretenden heizen Gase feststellbar war. Im Temperraum des Temperofens wird bei dieser Betriebsweise des Temperofens mit ausschließlich

passiv eingeschleustem Gas, hier Umgebungsluft, eine weitgehend laminare Strömung in Förderrichtung durch den Temperraum des Temperofens unterstellt.

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.

Dieses Ergebnis ist insb. daher überraschend, da im Stand der Technik, wie bspw. der WO 2014/202324 A1 oder WO 2011/009919 A1, stets eine Inertatmosphäre beim Temperschritt gefordert wird und nun nachgewiesen wurde, dass im Falle einer kontinuierlichen, sehr kurzzeitigen Temperung bei hohen Energieeinträgen keine reine N_2-Atmosphäre oder eine an O_2 stark verarmte Atmosphäre erforderlich ist, zur Herstellung hoch permeabler und hoch selektiver Gastrennmembranen. Weiterhin wurde gefunden, dass die gem. WO 2014/202324 A1 empfohlene langsame Aufheizung der Fasern im Temperschritt von 0,1 bis 10 °C/min (Seite 10, Ende) wesentlich unterschritten werden kann, ohne Nachteile bezüglich der Selektivität und Permeanz der Faser.

Bezugszeichen

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)
136 Durchflussregelung(-seinheit)

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
212 Gaszuleitung
214 Gasableitung
216 Wärmetauscher

220 Entfeuchtungsstation
222 Düseneinheit
224 Gaszuleitung
226 Verdichter

230 Faserspeicher
232 Umlenkelemente (dyn., verfahrbar)

240 Austauscheinheit

250 Temperstation
(thermische Behandlungsstation 3)
251 Temperofen
252 Heizelement, bspw.
254 Temperraum (Innenraum)
256 Gehäuse
258 Durchgangsöffnung
260 Gruppierungsstation

270 Gaszuleitungseinheit
272 Gasableitung(-seinheit)
274 Gasfiltereinheit

280 Fördermittel

290 Belüftungseinheit
292 Wärmetauscher
294 Messeinheit (Temperatur)
296 Messeinheit (Durchfluss)
298 Gaskonditionierungseinheit

300 Erwärmungsschritt
302 Ramp-Up
304 Leistungsschritt
306 Abkühlschritt

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) mind. ein Heizelement (252) und/oder einen Einlass für ein Heizmedium umfasst, wobei die Faser (110) in dem mindestens einen 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 (Grenz-)Temperatur zu erwärmen, die unterhalb der Glaserweichungstemperatur (T_G) im Bereich liegt von:

   i) bis 80 °C unter der Glaserweichungstemperatur (T_G) und/oder

   ii) von größer 250 °C, und wobei der die Temperstation (250) und/oder der Temperofen (251) insbesondere ausgebildet ist, die Faser (110) kontinuierlich zu tempern.

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 (290) umfasst oder an eine Belüftungseinheit (290) 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, dass das Heizelement (252) und/oder das Heizgas, insb. die Widerstandsheizung eine Leistung von
- mindestens 7,5 kW/m aufweist, vorteilhafterweise von mindestens 10 kW/m und idealerweise von mindestens 15 kW/m aufweist und
- von max. 100 kW/m aufweist, vorteilhafterweise von max. 50 kW/m, idealerweise von max. 35 kW/m.

9. Anlage nach einem der vorherigen Vorrichtungsansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Temperofen (251) röhren-, kanal- oder gassenartig ausgebildet ist, aufweisend mindestens zwei Wände oder Wandabschnitte, insbesondere parallel zur Faserlängsachse (A_F).

10. Anlage nach einem der vorherigen Vorrichtungsansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Temperstation (250), umfassend den Temperofen (251), 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, insb. 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 mind. einen Fixierschritt mit einem flüssigen Fixiermedium und/oder mind. einen Waschschritt in/mit einem Waschmedium umfassen kann, insb. 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 kontinuierlich mittels mindestens einem Heizelement (252) und/oder einem Heizmedium in einem Temperofen (251) bis zu einer Temperatur erwärmt wird, die
i) im Bereich bis 80 °C unterhalb der Glaserweichungstemperatur (T_G) und/oder
ii) im Bereich von größer 250 °C und unterhalb der Glaserweichungstemperatur (T_G) liegt.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass im Temperschritt n Einzelfasern parallel getempert werden, wobei n =< 600 ist, vorzugsweise n =< 180, besonders bevorzugt n =< 120, idealerweise n <= 100.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass im Temperschritt n Einzelfasern parallel getempert werden, wobei n >= 2 ist, vorzugsweise n >= 10, besonders bevorzugt n >= 20, idealerweise n >= 40.

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

19. Verfahren nach einem der vorherigen Verfahrensansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Kühlgas zugeführt wird, das im Temperschritt mind. einen Teil des Temperofens (251) kühlt, wobei das Kühlgas den Temperofen (251) mit einer Gasaustauschfrequenz (AF) von 0,15 pro Minute bis zu 30 pro Minute durchströmt,

Kühlgas und wobei die im Temperofen (251) eingebrachte Heizenergie =< 50 kJ/m beträgt.

20. 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
iii) auf eine Temperatur im Bereich größer 280 °C bis 450 °C und unterhalb der Glaserweichungstemperatur (T_G) erwärmt wird.

21. Verfahren nach einem der vorherigen Verfahrensansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Temperschritt bei einem Druck erfolgt, der im Bereich von max. + 2 bar zum Atmosphärendruck liegt, vorzugsweise max. + 1 bar, vorzugsweise max. + 0,5 Bar, idealerweise gleich oder im Wesentlichen gleich dem Atmosphärendruck ist.

22. Verfahren nach einem der vorherigen Verfahrensansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das im Temperschritt dem Temperofen (250) zugeführte Kühlgas Sauerstoff (O_2) in einer Konzentration von gleich oder größer 5,0 mol.-%, insbesondere gleich oder größer 10 mol.-%, vorzugsweise gleich oder größer 15 mol.-% beträgt, besonders Umgebungsluft ist, mit ~21 mol.-%.

23. einem der vorherigen Verfahrensansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass beim Temperschritt die Faser (110) mittels des Heizungselements (253) und/oder des Heizmediums bezogen auf die Länge des Heizelements mit einer Leistung von
- mind. 5,0 kW/m, vorzugsweise mind. 7,5 kW/m und idealerwiese mind. 10 kW/m behandelt wird, und wobei
- die Leitung max. 100 kW/m, vorteilhafterweise max. 50 kW/m und idealerweise max. 35 kW/m beträgt.

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

25. Verfahren nach einem der vorherigen Verfahrensansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mind. eine Gruppe von m Einzelfasern (110) vor dem Temperschritt in einem Gruppierungsschritt zum mindestens einem Bündel (112) aus n = 5 bis 600 Einzelfasern (110) geformt (ausgerichtet) und nachfolgend als Bündel (112) getempert werden, wobei entweder

- n kleiner als m ist, so dass zwei oder mehr Teilbündel (112) gebildet werden oder
- n gleich m ist, so dass nur ein Bündel (112) gebildet wird.

26. 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, insbesondere ungeschnitten transportiert wird.