

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Veröffentlichungsnummer:

0 393 292
A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 89730106.5

(51) Int. Cl.⁵: F27B 9/24, F27D 3/02

(22) Anmeldetag: 19.04.89

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
24.10.90 Patentblatt 90/43

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE ES FR GB GR IT LI LU NL SE

(71) Anmelder: W. HALDENWANGER TECHNISCHE
KERAMIK GMBH & CO. KG
Pichelswerderstrasse 12
D-1000 Berlin 20(DE)

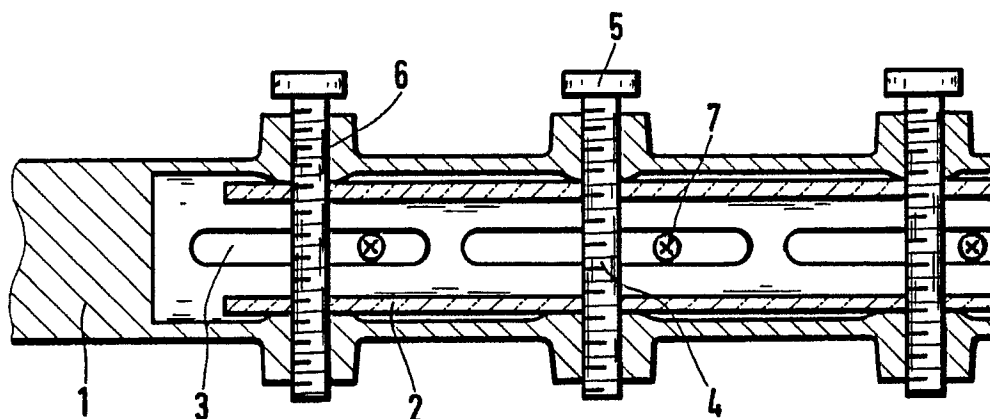
(72) Erfinder: Herrmann, Georg, Dr.
Insterburgallee 21
D-1000 Berlin 19(DE)

(74) Vertreter: Pfenning, Meinig & Partner
Kurfürstendamm 170
D-1000 Berlin 15(DE)

(54) Vorrichtung zur Lagerung von Rollen in Rollenöfen.

(57) Es wird eine Vorrichtung zur Lagerung von aus keramischem Material bestehenden Rollen in Rollenöfen, zum Brennen von Fliesen, Sanitärwaren und dergleichen Stein- und/oder Porzellanbrenngut aller Art vorgeschlagen. Das zu brennende Gut wird auf einer Vielzahl von zu einem Rollenförderer zusammengefaßten Keramikrollen durch einen Ofen geführt und hier zusammen mit den Keramikrollen einer Wärmebeaufschlagung von größenordnungsmäßig 1000° C oder mehr ausgesetzt, wobei die Keramikrollen beidseitig durch die Ofenwandungen hindurchragend außerhalb des Ofens gelagert und in ihrer Gesamtheit einseitig angetrieben sind. Die Rollenlager (RL) sind wenigstens entlang einer Ofenseite definiert ausrichtbar höhen- und/oder winkelverstellbar angeordnet und bestehen aus Führungselementen (1) mit einem minimalen Schlupf zwischen diesen und den äußeren hiermit in Eingriff stehenden Umfangsflächen der Keramikrollen (2), wobei die Einspannlänge und deren Ausrichtung im Abhängigkeit von der durch die Belastung bzw. aktive Rollenlänge sich ergebenden inneren Spannung festlegbar sind.

FIG.1



EP 0 393 292 A1

VORRICHTUNG ZUR LAGERUNG VON ROLLEN IN ROLLENHÖFEN

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Lagerung von aus keramischem Material bestehenden Rollen in Rollenöfen zum Brennen von Brenngut gemäß Oberbegriff des Anspruchs 1.

Ein wesentliches Problem bei Rollenöfen der hier interessierenden Art, ist die Vergrößerung seiner nutzbaren Breite, also der Besatzbreite für das zu brennende Keramikgut bei gleichzeitiger Verringerung der Durchmesser der Keramikrollen des Rollenförderers durch den Ofen hindurch. Da diese Problematik in sich widersprüchlich ist, sind nur Kompromißlösungen denkbar, für die die Beachtung einer Mehrzahl von Parametern wesentlich ist. Hierzu gehören neben der Lieferlänge der Keramikrollen insbesondere auch ihre freie, also verfügbare Länge, die durch den Abstand der Rollenaufgaben außerhalb und beidseitig des Rollenofens definiert ist, sowie die Temperaturlänge der Rollen, die der lichten Ofenbreite entspricht und ihre Besatzbreite, die letztlich die Ofenkapazität für das Brenngut bestimmt. Daneben sind von erheblicher Bedeutung der Elastizitätsmodul der einzelnen Rollen, ihr Flächenmoment und das Biegemoment, die auf die Spannung der Rollen und deren Grenzen unmittelbaren Einfluß haben.

Ein noch weiterer für die hier anzustellende Betrachtungsweise wichtiger Parameter ist die Ofentemperatur.

Bei den bisher bekannten Rollenöfen werden die Rollen an einem Ende entlang einer äußeren Ofenseite in Halterungen mit relativ großem freien Spiel aufgenommen. Die Gesamtheit der Halterungen des Ofens, die je nach Ofenlänge viele hundert Rollen aufnehmen, werden über einen Antrieb gemeinsam mit gleicher Winkelgeschwindigkeit gedreht. Da die Rollen untereinander gleiche Außendurchmesser aufweisen, ergibt sich durch den Ofen hindurch ein Rollenförderer mit gleicher Geschwindigkeit an der Oberfläche der Rollen.

Die Rollenden sind frei geführt in dem Sinne, daß sie in ihren Lagern dem Neigungswinkel entsprechend der Rollenbelastung bzw. Durchbiegung, der bei maximal einigen Grad liegen kann, folgen können. Das gilt für das der Antriebsseite gegenüberliegende Rollende ohnehin, da die Rollen dort nur lose auf den Lagern aufliegen.

Innerhalb des Rollenofens ist seine maximale Temperaturbelastbarkeit begrenzt durch die Temperaturstabilität des verwendeten Rollenmaterials. Bei niedrigen Temperaturen werden aus Kostengründen Stahlrollen verwendet, beim Sinterbrand von Keramikgut müssen die Rollen aus keramischem Material bestehen. Das keramische Material der Rollen muß deutlich temperaturstabiler sein als dasjenige der zu sinternden, die Rolle zusätzlich belastenden Keramik. Mit steigender Temperaturbelastbarkeit steigen die Herstellkosten der keramischen Rollen stark an.

In der Praxis haben sich bisher zwei Materialgruppen durchgesetzt. Eine Materialgruppe baut sich auf der Basis eines Gemisches von Al_2O_3 und SiO_2 auf und ist für nicht so hohe Temperatur-Anforderungen geeignet. Bei der anderen, auf der Basis von SiC sind die Herstellkosten sehr viel höher. Aber auch innerhalb der Gruppe der preiswerteren Rollen gibt es erhebliche Unterschiede in der Material-Zusammensetzung und dem Herstellungsaufwand mit der Folge erheblicher Unterschiede bezüglich Belastbarkeit und Preis.

Rollenöfen werden insbesondere für den Brand von Fliesen, Geschirr und von Sanitär-Porzellan eingesetzt, wobei die Belastung der Rollen sehr unterschiedlich sein kann. Die Last pro Rolle kann bei Sanitär-Öfen größenordnungsmäßig das zwanzigfache eines Fliesen-Ofens ausmachen, weswegen - gleiche Dimensionen bei Länge sowie Außen- und Innendurchmesser vorausgesetzt - eine Keramik für einen Sanitär-Ofen viel eher an die Grenzen ihrer Belastbarkeit stößt als für einen Fliesen-Ofen.

Auch ist es Bestreben der Ofen-Betriebe, den Außendurchmesser der eingesetzten Rollen möglichst klein und damit die Förderoberfläche möglichst homogen zu halten. Dadurch erhält der Rollenförderer zugleich in stärkerem Maße den Charakter eines quasi kontinuierlichen Bandes, so daß ein gleichmäßig abgestützter Durchlauf des Brennguts durch den Ofen möglich wird. Der geringere Durchmesser der Rollen wirkt sich jedoch wiederum ungünstig auf die Belastbarkeit der Rolle aus und begrenzt ihre Einsetzbarkeit erheblich.

Für den Ofenbetreiber gibt es den oben genannten weiteren sehr wichtigen Parameter für die Auswahl eines bestimmten Ofens, nämlich dessen nutzbare lichte Innenbreite. Deren Vergrößerung erhöht bei gleichen Betriebsbedingungen den Energiebedarf des Ofens keineswegs proportional, sondern bleibt deutlich darunter. Für das Investitionsvolumen gilt entsprechendes.

Aus Wirtschaftlichkeitsgründen sind daher die Ofenbetreiber daran interessiert, möglichst breite Öfen einzusetzen, wozu möglichst lange Rollen benötigt werden. Waren etwa vor 10 Jahren Rollenlängen von 2.000 mm noch die Ausnahme, so hat sich diese Grenze inzwischen auf etwa 3.000 mm erhöht und noch breitere Öfen werden gefordert. Auch hier läuft eine sehr wesentliche Forderung der Ofenbetreiber nach

Erhöhung der Wirtschaftlichkeit den Möglichkeiten, die durch die Keramik-Rollen und deren Einbau in die bekannten Rollenöfen gegeben sind, entgegen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, für aus keramischem Material bestehende Rollen von Rollenöfen der gattungsgemäßen Art eine Anordnung und Ausgestaltung der Rollenlagerung zu finden, bei
 5 der eine universelle Anwendungsmöglichkeit durch Erhöhung sowohl der Temperatur als auch der statischen Belastbarkeit und der kapazitiven Länge bei möglichst gleichzeitiger Durchmesserreduzierung unter Einsatz von nicht zu teuren Keramik-Endmaterialien möglich ist.

Die Lösung dieser Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die im Kennzeichen des Anspruchs 1 angegebenen Merkmale erreicht.

10 Vorteilhafte Ausgestaltungen dieser Aufgabenlösung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Bei einem vorgegebenen keramischem Material lassen sich die Einsatzgrenzen so gegenüber dem bekannten Stand der Technik erheblich herauschieben, was sowohl für die Anwendung bei

- höheren Temperaturen im Ofeninneren, als auch für

- kleinere Rollendurchmesser,

15 - größere Ofenbreiten und damit geringere Betriebskosten gilt.

Erfindungsgemäß werden vorteilhafte Maßnahmen aufgezeigt, die in jedem einzelnen Anwendungsfall die Spannungen im Inneren der Rollen weitestmöglich reduzieren. Die Rollen werden an ihren Enden fest eingespannt und erhalten wahlweise bestimmte Winkelstellungen, wie auch einen Höhenversatz zueinander.

Diese Maßnahmen können abhängig oder unabhängig voneinander abgestimmt werden. Diese Abstimmung muß unter Berücksichtigung bestimmter Beziehungen zwischen den einzelnen Parametern erfolgen,
 20 wenn ein Optimum an Verbesserung erzielt werden soll. Diese Beziehungen können durch mathematische Gleichungen angegeben werden.

Jedes Material, das für Rollen Verwendung finden soll, findet seine Einsatzgrenze in erster Linie dadurch, daß die Belastungen, denen die Rollen ausgesetzt werden, zu inneren Spannungen σ führen, die
 25 einen materialtypischen kritischen Wert σ_{krit} nicht überschreiten dürfen. Gemäß der erfindungsgemäßen Lehre zum technischen Handeln gelingt es in besonders vorteilhafter Weise, durch definierte Maßnahmen die im Ofen resultierenden Spannungen im Inneren der Rolle zu reduzieren und damit die Einsetzbarkeit eines vorgegebenen Rollenmaterials zu verbessern. Da weiterhin der kritische Wert für die innere Spannung der Rollen für jedes keramische Material mit steigender Temperatur absinkt, ergibt sich hieraus, daß die
 30 erhöhte Einsetzbarkeit auch höhere Einsatztemperaturen ermöglicht. Bei Rollen aus einem Sintergemisch auf der Basis von $Al_2O_3-SiO_2$ können je nach den spezifischen Gegebenheiten des einzelnen Anwendungsfalles Temperaturerhöhungen von 200° C und mehr erzielt werden.

Sowohl das Eigengewicht der Rolle als auch die durch das Brenngut aufgelegte äußere Last führen dazu, daß sich die einzelne Rolle zwangsläufig durchbiegt, also Krümmungen erfährt. Die auftretenden
 35 inneren Spannungen sind ein direktes Maß für diese Krümmungen. Die Lösung der gestellten Aufgabe nach der vorliegenden Erfindung liegt in der überraschenden Erkenntnis, die Durchbiegung der Rolle und damit die in den Rollen im Ofen auftretenden Spannungen durch Veränderung der an den Rollenden bzw. den Rollen lagern auftretenden Randwinkel und/oder der Lagerkoordinaten zu reduzieren.

Hierfür werden die bisherigen freien Rollenlager in bestimmter Weise verändert. Die Rollenden sind
 40 beim Stand der Technik frei geführt, in dem Sinne, daß sie in ihren Lagern dem Neigungswinkel entsprechend der Rollenbelastung bzw. Durchbiegung, der bei maximal 2° liegen kann, folgen können. Das gilt für das der Antriebsseite gegenüberliegende Rollende ohnehin, da die Rollen dort nur lose auf den Lagern aufliegen.

Um die sich aus den Durchbiegungen der Rollen, soweit sie unkritisch belastbar sind, ergebenden
 45 kleinen Randwinkel wirkungsvoll und definiert zu ändern, bedarf es der erfindungsgemäßen Einspannung in der Halterung, die größenordnungsmäßig nur einen Bruchteil dieser Werte zulassen, also in der Größenordnung von 0,005 Grad. Hierfür ist es wesentlich, die üblichen Halterungen, in die die Rollen etwa 30 mm bis 40 mm tief eingesetzt sind, zu verlängern, um ein- oder beidseitig noch ohne erheblichen technischen Mehraufwand realisierbare Toleranzen vorgeben zu können.

Ein erheblicher Anteil der heute vermarkteten Keramik-Rollen bleibt an den Rollenden ungeschliffen,
 50 so daß mit Toleranzen von größenordnungsmäßig $\pm 0,3$ mm - total also 600 μ m - und mehr gerechnet werden muß. Aber auch die Toleranzen von geschliffenen Rollen liegen beim heutigen Stand der Technik noch bei $\pm 0,1$ mm - total also 200 μ m - oder mehr.

Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabenlösung umfaßt zwei Möglichkeiten, nämlich einseitig und
 55 beidseitig eingespannte Rollen. Es werden entweder einseitige oder beidseitige Rollenlager für die Rollenden vorgesehen, die diese auf möglichst kleine Winkeltoleranzen fest einspannen, bevorzugt mit einer Genauigkeit von etwa 0,055°, oder es werden Rollenlager vorgesehen, die die zusätzliche Möglichkeit haben, die Rolle unter einem bestimmten, wohl definierten Winkel α_v austreten zu lassen. Dabei können bei

beidseitiger Einspannung die Winkel links und rechts durchaus unterschiedlich sein.

Neben diesen wahlweisen oder aber auch kombinierten Möglichkeiten ist zueinander noch ein Höhenversatz ΔH zwischen den Rollenlagern zu beiden Seiten des Rollenofens möglich.

Es können dann exakte Verfahren und Abhängigkeiten ermittelt werden, welche Winkel und/oder welcher Höhenversatz in jedem Anwendungsfall die vorteilhafteste Lösung bringt.

Der Aufwand, einen möglichst genauen Schliff an einem Rollenende anzubringen, steigt mit zunehmender Anforderung an die Toleranz. Daher wird bevorzugt vorgeschlagen, die Länge der Einspannung des Rollenendes in der Halterung bzw. dem Rollenlager auf etwa 200 bis 250 mm auszudehnen. Die benötigte Genauigkeit im Winkel wird dann bei einer Schliffgenauigkeit von etwa $\pm 5 \mu$, total also 0,01 mm Schlupf erreicht. Der technische Mehraufwand für eine solche Genauigkeit ist vergleichsweise gering, eine Massenfertigung ist durchaus realisierbar, die Mehrkosten pro Schliff liegen in der Größenordnung von einem Prozent der gesamten Rollenkosten und sind daher von untergeordneter Bedeutung.

Für die Vorgabe der Toleranzgrenzen ist des weiteren sowohl der keramische Ausdehnungskoeffizient des Rollenlagers wie auch der Keramikrollen bedeutend.

Obwohl die Rollenlager außerhalb der Öfen liegen, nehmen sie doch nicht die Raumtemperatur an, sondern eine oberhalb liegende Temperatur von teilweise bis zu 70°C .

Deshalb wird für die Halterung ein Material gewählt, dessen thermischer Ausdehnungskoeffizient möglichst nahe bei demjenigen der Rolle liegt, ($\Delta\alpha=0$). Da bei kann auch daran gedacht werden, die Halterung selbst aus Keramik herzustellen.

Auch kann der äußere Durchmesser D des Rollenschliffs bei der Herstellung bereits um die bei höherer Temperatur vergrößerte Spaltverbreiterung größer ausgelegt werden.

Die Rollenhalterung selbst wird so ausgeführt, daß sie wärmebedingte Spaltverbreiterungen sowie eventuell auch weitere nachträgliche Materialtoleranzen ausgleichen kann (siehe Fig. 1).

Bei einer Rollenlänge von größenordnungsmäßig 3500 mm ergibt sich bei einer Betriebstemperatur von ca. 1200°C eine Längenausdehnung ΔL der Rolle von ca. 15 mm bis 20 mm gegenüber der Länge bei Zimmertemperatur. Das ist für den Fall der einseitig eingespannten Rolle bedeutungslos, bei der beidseitigen Einspannung dagegen muß, vorzugsweise auf der dem Antrieb gegenüberliegenden Seite, diese thermische Expansion ΔL von einer der beiden Rollenlager aufgefangen werden.

Grundlage für die nachfolgenden Betrachtungen soll sein, daß eine Winkelvorgabe α_v und ein Höhenversatz der Rollenlager möglich ist. Die Vorgaben für Winkel α_v und Höhenversatz ΔH an den Rollenenden für die Rollenlager sind dabei so zu gestalten, daß der Verlauf des Biegemomentes $M(x)$ innerhalb des temperaturkritischen Bereichs der Länge 1_T , d.h. letztlich der lichten Breite des Rollenofens möglichst geringe Absolutwerte annimmt. Außerhalb der Temperaturlänge 1_T dürfen die Biegemomente durchaus stärker zunehmen, da mit sinkender Temperatur die für das Rollenmaterial zulässigen Biegemomente bzw. Spannungen rasch ansteigen. Außerhalb des Ofens - also insbesondere an den Einspannstellen, die hier mit A (bei $X = 0$) und mit B (bei $X = 1$) bezeichnet werden sollen, dürfen sogar vergleichsweise sehr hohe Werte in Kauf genommen werden, da die zulässigen Spannungen bei Raumtemperatur um ein Vielfaches höher liegen als im Innenbereich des Ofens.

Da das Biegemoment vom Maximum in etwa der Rollenmitte nach außen hin abnimmt, (mit einem positiven Maximum in der Nähe der Ofenmitte und nach Durchlaufen des Wertes Null im Wendepunkt der neutralen Faser, mit zunehmend negativen Werten, die an den Einspannpunkten schließlich ihr negatives Maximum erreichen) wird deutlich, daß die Möglichkeit zur Optimierung darin besteht, den Verlauf des Biegemomentes im Ofen so zu steuern, daß an den Grenzen des heißen Ofeninneren (von 1_T) das Biegemoment gerade entgegengesetzt gleich groß ist dem Maximalwert in der Nähe der oder unmittelbar in der Rollenmitte.

Für einseitig bzw. beidseitig eingespannte Rollen ist der Verlauf aller relevanten Größen unterschiedlich, weshalb beide Fälle unterschiedlich behandelt werden müssen.

Berechnung einer einseitig eingespannten Rolle:

Es sei die Seite B bei $x = 1$ die eingespannte Seite und die Seite A bei $x = 0$ die freie Seite

Es werden definiert:

1) Zur Berücksichtigung des Einflusses des Eigengewichts q_1 mit q als Längelast, d.h. Gewicht pro Länge und 1 als die freie verfügbare Länge
Vorgabewinkel bei B:

$$\alpha_{v,q} = \chi_\alpha \cdot \frac{q l^3}{48 EI}$$

$\alpha_{v,q}$ bzw. χ_α sind positiv, wenn der Winkel bei B nach oben, also in negative y-Richtung zeigt.
Höhenversatz

$$\Delta H_Q = H_{A,Q} - H_{B,Q} = \chi_H \cdot \frac{q_1^4}{4 \cdot 8 \cdot EI}$$

ΔH und damit χ_H ist demnach positiv, wenn A niedriger liegt als B (also in Richtung positiver y-Werte), und negativ, wenn A höher liegt als B.

2) Zur Berücksichtigung des Einflusses der äußeren Last F, Gewichtes des Brenngutes, auf die Rolle: Vorgabewinkel bei

$$B: \alpha_{v,F} = \varphi_\alpha \cdot \frac{F l^2}{32 \cdot EI}$$

Höhenversatz

$$\Delta H_F = H_{A,F} - H_{B,F} = \varphi_H \cdot \frac{F \cdot l^3}{96 \cdot EI}$$

Die Vorzeichen von $\alpha_{v,F}$ und ΔH_F bzw. die von ϕ_α bzw. ϕ_H sind analog denjenigen unter Ziff. 1).

Weiterhin werden eingeführt:

$$\lambda_\alpha = \chi_\alpha + \frac{3}{2} V \cdot \phi_\alpha \quad \lambda_H = \chi_H + \frac{V}{2} \cdot \phi_H$$

$$\chi = \chi_\alpha + \chi_H; \phi = 3\phi_\alpha + \phi_H; \lambda = \chi + \frac{V}{2} \cdot \phi$$

Dann bestehen in jedem Anwendungsfall bzgl. der Reduzierung der inneren Spannungen genau dann optimale Voraussetzungen, wenn der Wert von λ (genannt λ_{opt}) folgender Beziehung genügt:

$$\lambda_{opt} = U - \sqrt{U^2 + Z} \text{ mit}$$

$$U = 5(1+V) + W(9 + 8T) \text{ und}$$

$$Z = -25(1+V)^2 + W(1+V) \cdot \{-90 + 176 T\}$$

$$+ 16 W^2 \cdot \left\{ \frac{47}{16} - 9T + 4T^2 \right\}$$

Da sich $\lambda_{opt} = (\chi + \frac{V}{2} \cdot \phi)_{opt}$ aus den beiden Größen χ und ϕ zusammensetzt, wird deutlich, daß es eine ganze Schar "optimaler" Lösungen gibt, daß also eine Winkelvorgabe α_v bei B jeweils mit einem Höhenversatz ΔH der beiden Rolleneinspannungen geeignet kombiniert werden kann, so daß eine aus der Schar der optimalen Lösungen entsteht. Die Umsetzung des Erfindungsgedankens besteht also darin, den Ofen für die Produktion so einzustellen, daß die oben genannte Bedingung für λ erfüllt ist oder wenigstens so weit wie für den technischen Einzelfall wünschenswert.

Innerhalb der Schar optimaler Lösungen gibt es nun einzelne, deren Wahl in der Praxis ganz besonders vorteilhaft sein können, darunter etwa

(1) $\lambda_H = \lambda_{opt} \Rightarrow \lambda_\alpha = 0$, bei der also die Optimierung der Einspannung vollständig durch einen Höhenversatz von Seite A gegenüber Seite B realisiert wird, die Rolle bei B aber genau horizontal eingespannt wird. In der Praxis wird es vorkommen, daß in einem Ofen das Brenngut und damit auch das Gewicht pro Rolle geändert wird. Je nach dem wie groß dieser Gewichtsunterschied ausfällt, wird es sinnvoll sein, dem dadurch veränderten Wert von λ_{opt} dadurch gerecht zu werden, daß die Einspannbedingungen entsprechend modifiziert werden, um den neuen Wert von λ_{opt} zu erfüllen. Dabei kann es einfacher sein, nur eine von zwei auf einander abzustimmenden Größen nachstellen zu müssen, hier also den Höhenunterschied ΔH , und den Vorgabewinkel α_v bei null zu belassen. Überdies kann eine Höhenverstellung u.U. besonders einfach dadurch durchgeführt werden, daß Rollen bei B zu einer Mehrzahl oder sogar zu einer Vielzahl in Gruppen oder Modulen zusammengefaßt eingebaut werden. Es kann dann genügen, die neue optimale Einstellung für 30 oder sogar 50 Rollen eines Moduls simultan dadurch vorzunehmen, daß lediglich zwei Stellschrauben für die Höhenregulierung nachgestellt werden (siehe Fig. 2).

(2) $\lambda_\alpha = \lambda_{opt} \Rightarrow \lambda_H = 0$

Der Vorteil bei dieser Lösung besteht darin, daß die Möglichkeit einer Höhenverstellbarkeit von A gegenüber B bei der Ofen-Konstruktion nicht einmal vorgesehen werden müßte, sondern lediglich eine Winkelverstellbarkeit. Also braucht bei Änderung des Besatzes auch nur ein Parameter (hier der Vorgabewinkel α_v) nachgestellt zu werden. Diese Lösung hat gegenüber (1) den Vorteil höherer Symmetrie

zwischen linker und rechter Seite, die maximale Durchbiegung der Rolle etwa liegt der Rollenmitte näher.

(3) Die symmetrische Lösung, für die

$$\begin{aligned} \lambda_H = & \frac{2V}{T} * [1-Q] + \left\{1 - \frac{1}{2} \lambda_{opt} + \frac{V}{2} * [9-7Q]\right\} - \frac{3V}{T} * [1-Q] * (1+T)^2 \\ & + \frac{V}{2T} \left\{ \left[\frac{11}{8} - \frac{17}{8} Q \right] * (1+T)^3 + \left[\frac{5}{8} + \frac{1}{8} Q \right] * (1-T)^3 \right\} \\ & + \frac{1}{T} * \left(\frac{1}{16} \lambda_{opt} - \frac{3}{8} \right) \{ (1+T)^3 - (1-T)^3 \} + \frac{W}{8T} * \{ (1+T)^4 - (1-T)^4 \} \end{aligned}$$

und
 $\lambda_\alpha = \lambda_{opt} - \lambda_H$ ist.

Diese Lösung zeichnet sich dadurch aus, daß z.B. bei einem Fliesen-Ofen der Fliesenteppich beim Verlassen des Ofens am wenigsten verschoben wäre.

Zur Illustration der Vorteile des Einspannens mit simultanem Höhenversatz zwischen links und rechts werden nachfolgend zwei Beispiele angeführt.

Die Lieferlänge bzw. Einbaulänge L der Rolle sei L = 3.500 mm, die Einspannlänge rechts (bei B) soll 190 mm und die Auflagelänge links (bei A) soll 25 mm bei Raumtemperatur betragen. Daher beträgt die freie Rollenlänge $1 = L - (190 + 25 \text{ mm}) = 3.285 \text{ mm}$.

Die sogenannte Temperaturlänge 1_T (= Breite der Maximaltemperatur im Ofen) sei 2.300 mm = 0,7 1.

Die Besatzbreite 1 soll ebenfalls 2.300 mm = 0,7 * 1 sein.

Für T, d.h. das Verhältnis von Temperaturlänge 1_T zur freien Rollenlänge 1, ergibt sich T = 0,7, ebenfalls ist Q = 0,7, wobei Q = $1_b/1$ das Verhältnis von Besatzbreite zur freien Rollenlänge ist.

Beispiel 1:

Fliesenofen mit dem Rollenaußendurchmesser D_a und dem Innendurchmesser D_i (für die üblichen keramischen Hohlrollen)

$D_a/D_i = 27 \text{ mm}/17 \text{ mm}$, so daß

$q * 1 = 2,611 \text{ kp}$

Die Fliesenlast pro Rolle sei $1,5 \text{ kp} = F = 0,5745 * q_1$, also $V = 0,5745$.

Die Berechnung ergibt: $\lambda_{opt} = 0,5846$

Würde die Rollenlagerung wie bisher vorgenommen, so würde ein keramisches Material auf der Basis $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ von der kostengünstigsten Materialgruppe nur bis etwa 900° C einsetzbar sein, was für einen Fliesenbrand eine deutlich zu niedrige Temperatur bedeutet, d.h. diese kostengünstigste Materialgruppe wäre nicht verwendbar, es müßte eine deutlich teurere Materialgruppe gewählt werden.

Wird dagegen gemäß der vorliegenden Erfindung vorgegangen, also z.B. auf Seite B definiert eingespannt und gemäß λ_{opt} optimiert, so ist dasselbe Material der kostengünstigsten Materialgruppe auf $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ -Basis noch einsetzbar bis 1.135° C .

Diese oder etwa niedrigere Temperaturen werden beim Brand von Fliesen häufig angewendet.

Wie erläutert, kann λ_{opt} in vielfacher Form in der Praxis umgesetzt werden, z.B.

(i) ausschließlich durch Höhenversatz ΔH , also $\alpha_v = 0$

wodurch sich für ΔH ergibt:

$$\Delta H = \frac{q_1^4}{48 EI} * 0,5846 = 0,7324 \text{ cm} \approx 7,32 \text{ mm}$$

(ii) bei einer ausschließlichen Winkelvorgabe $\alpha_v \Rightarrow \Delta H = 0$ ergibt sich hingegen:

$$\alpha_v = \frac{q l^3}{48 EI} \cdot 0,5846 = 0,12776 \text{ Grad} \sim 0,128 \text{ Grad}$$

Bei B muß also ein Vorgabewinkel α_v von 0,128 Grad gegen die Horizontale nach oben eingestellt werden.
(iii) die bestmöglich symmetrische Lösung liegt vor bei

$$\lambda_H = 0,2490 \Rightarrow \Delta H = 3,1197 \text{ mm und}$$

$$\lambda_\alpha = \lambda_{opt} - \lambda_H = 0,8336, \text{ womit sich ergibt:}$$

$$\alpha_v = 0,1822 \text{ Grad.}$$

Die Auflageseite A muß also um ca. 3.12 mm höher liegen als die Einspannseite B, außerdem muß bei B ein Vorgabewinkel α_v von 0,182 Grad gegen die Horizontale nach oben eingestellt werden.

Beispiel 2:

Ofen für Sanitärporzellan mit $D_\alpha/D_i = 40 \text{ mm}/30 \text{ mm}$ daraus ergibt sich $q \cdot l = 4,154 \text{ kp}$

Die Last des Brenngutes sei $F = 24,924 \text{ kp} \approx 25 \text{ kp}$. Daraus folgt für das Verhältnis der äußeren Last (d.h. des Brenngutes) zu dem Produkt aus Längenlast und freier Rollenlänge $V = 6$ und $W = 1 + V \cdot Q = 5,2$

Die Berechnung ergibt: $\lambda_{opt} = 2,846$

Die sich damit ergebenden Werte für die Spannungen in der Rolle führen zu dem Ergebnis, daß die kostengünstigste Materialgruppe auf der Basis $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ überhaupt keinerlei Anwendungschance hat. Es gibt allerdings andere Materialien auf der Basis $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, die deutlich höhere Festigkeitswerte aufweisen, allerdings deutlich höhere Kosten bei der Herstellung verursachen, jedoch wesentlich niedriger im Preis liegen als Rollen auf Basis SiC, die ihrerseits deutlich höhere Festigkeitswerte aufweisen.

Aber auch die teuersten Werkstoffe auf der Basis von $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ würden nach dem heutigen Stand der Technik nur bis ca. 1.020°C einsetzbar sein.

Das reicht für eine Anwendung in aller Regel nicht aus. Bei Rollenlagern ohne definierte Höhen- und/oder Winkelverstellbarkeit müßten also die erheblich teureren Rollen auf der Basis SiC eingesetzt werden.

Dagegen können bei Anwendung der erfindungsgemäßen höhen- und/oder winkelverstellbaren einseitig eingespannten Rollenlagerung die Spannungen soweit herabgedrückt werden, daß Materialien aus der teureren Gruppe auf der Basis $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ bis 1.140°C einsetzbar bleiben, was für viele Anwendungen bereits ausreicht, so daß der Einsatz des nochmals wesentlich teureren SiC vermieden werden kann.

Die Umsetzung in der Praxis kann neben vielfachen anderen Möglichkeiten etwa folgendermaßen erfolgen:

(i) nur Höhenversatz ΔH , also $\alpha_v = 0$ daraus folgt:

$$\Delta H = \frac{q l^4}{48 EI} \cdot 2,846 = 1,4520 \text{ cm}$$

A muß dann also um 14,52 mm niedriger liegen als B.

(ii) nur Winkelvorgabe α_v , also $\Delta H = 0$ daraus folgt:

$$\alpha_v = \frac{q l^3}{48 EI} \cdot 2,846 = 0,2532 \text{ Grad}$$

$$\approx 0,25 \text{ Grad}$$

Bei B muß also ein Vorgabewinkel α_v von 0,25 Grad gegen die Horizontale nach oben eingestellt werden.

(iii) bestmöglich symmetrische Lösung

es ergibt sich für $\lambda_H = 1,188$ und für $\Delta H = -6,06 \text{ mm}$

sowie

$$\lambda_\alpha = \lambda_{opt} - \lambda_H = 4,035 \text{ und}$$

$$\alpha_v = 0,359 \text{ Grad.}$$

Die Auflageseite A muß also um ca. 6,06 mm höher liegen als die Einspannseite B, außerdem muß bei B ein Vorgabewinkel α_v von ca. 0,359 Grad gegen die Horizontale nach oben eingestellt werden.

Wie die Beispiele im Fall der einseitig eingespannten Rolle gezeigt haben, kann unter Umständen durch das definierte einseitige Einspannen der Rolle ein sehr deutlicher Anwendungs- bzw. Kostenvorteil erzielt werden. Es ist daher ohne weiteres plausibel, daß sich durch beidseitiges Einspannen der Rolle noch größere Kostenvorteile erzielen lassen.

Bei der einseitigen Einspannung gibt es zwei Parameter, die unabhängig voneinander verstellt werden können, nämlich den Verstellwinkel α_v und die Verstellhöhe ΔH , bei der beidseitig eingespannten Rolle sind es sogar drei. Neben dem Höhenunterschied ΔH zwischen linker und rechter Einspannstelle können nämlich getrennte Vorgabewinkel rechts und links $\alpha_{v,li}$ bzw. $\alpha_{v,re}$ für die linke und rechte Einspannseite vorgesehen werden. Für die quantitative Behandlung erweist sich die Einführung zweier anderer Winkel als vorteilhafter, nämlich des symmetrischen Vorgabewinkels α_v^s der am linken und rechten Rolleneende gleichermaßen angelegt werden soll und in Analogie zur einseitigen Einspannung auf der Seite B (d.h. bei $x = 1$) dann positiv sein soll, wenn er gegen die Horizontale nach oben geneigt ist, was bei A entsprechend umgekehrt ist, sowie des asymmetrischen Vorgabewinkel $\Delta\alpha_v$, der hier nur bei B angewendet werden soll, so daß

$$\alpha_{v,li} = \alpha_v^s \text{ und } \alpha_{v,re} = \alpha_v^s + \Delta\alpha_v \text{ ist.}$$

Zusätzlich zu den schon bei der einseitig eingespannten Rolle verwendeten Größen werden hier somit eingeführt:

$$\Delta\alpha_{v,q} = \Delta\chi_\alpha \cdot \frac{ql^3}{48 EI} \quad \Delta\alpha_{v,F} = \Delta\varphi_\alpha \cdot \frac{Fl^2}{32 EI}$$

$$\Delta\alpha_v = \Delta\alpha_{v,q} + \Delta\alpha_{v,F}$$

Dann besteht die Optimierung der Einspannung darin, die insgesamt 6 Parameter $\chi_\alpha, \Delta\chi_\alpha, \chi_H, \phi_\alpha, \Delta\phi_\alpha$ und ϕ_H unter den folgenden Bedingungen auszuwählen:

$$2\chi_\alpha + \Delta\chi_\alpha = 2-3 T^2; \quad \chi_H = -\frac{1}{2} \Delta\chi_\alpha$$

$$2\varphi_\alpha + \Delta\varphi_\alpha = 4 - \frac{8}{3}Q - 4T \cdot [1-Q] - 2QT^2; \\ \varphi_H = -\frac{3}{2} \cdot \Delta\varphi_\alpha$$

$\Delta\chi_\alpha$ Daraus bildet man

$$\alpha_v^s = \chi_\alpha \cdot \frac{ql^3}{48 EI} + \varphi_\alpha \cdot \frac{Fl^2}{32 EI}$$

$$\Delta\alpha_v = \Delta\chi_\alpha \cdot \frac{ql^3}{48 EI} + \Delta\varphi_\alpha \cdot \frac{Fl^2}{32 EI}$$

$$\Delta H = \chi_H \cdot \frac{ql^4}{48 EI} + \varphi_H \cdot \frac{Fl^3}{96 EI}$$

und stellt die Vorgaben an den Rolleneenden folgendermaßen ein:

auf Seite A, also links [bei $x = 0$]: Vorgabewinkel $\alpha_{v,links} = \alpha_v^s$

Höhenunterschied zu B: $\Delta H_{links} = \Delta H$

auf Seite B, also rechts [bei $x = 1$]:

Vorgabewinkel $\alpha_{v,rechts} = \alpha_v^s + \Delta\alpha_v$ sowie $\Delta H_{rechts} = 0$.

Für die beiden Parametersätze $\chi_\alpha, \Delta\chi_\alpha, \chi_H$ bzw. $\phi_\alpha, \Delta\phi_\alpha, \phi_H$, die jeweils aus drei Parametern bestehen, gibt es also jeweils zwei Bedingungsgleichungen, die für eine Optimierung zu erfüllen sind. Dies zeigt, daß es auch hier wieder, wie schon bei der einseitigen Einspannung, eine eindimensionale Schar von Lösungen gibt. Diese unterscheiden sich nicht bezüglich der Belastbarkeit im Ofen, sondern lediglich bezüglich des

Gesamtverlaufs innerhalb und außerhalb des Ofens.

Innerhalb der möglichen Lösungsschar haben die folgenden Lösungen spezielle Bedeutung

(i) $\alpha_v^s = 0$

Auf Seite A wird die Rolle horizontal eingespannt und die Höhenverstellung vorgenommen, bei B der Winkel $\alpha_{v, \text{rechts}} = \Delta\alpha_v$ eingestellt. Bei Änderung des Besatzes kann die horizontale Einspannung bei A beibehalten werden, lediglich der Einspannwinkel $\alpha_{v, \text{rechts}}$ sowie die Höhendifferenz ΔH werden nachgestellt. Bei der Auslegung des Ofens braucht daher bei A eine Winkelverstellbarkeit der Rollenden überhaupt nicht vorgesehen zu werden.

(ii) $\Delta\alpha_v = 0$ (symmetrische Lösung) d.h. $\Delta H = 0$

Hier braucht also keine Höhenverstellbarkeit bei der Auslegung der Rollhalterungen vorgesehen zu werden, sondern lediglich Winkleinstellbarkeit an den beiden Rollenden.

Zur Verdeutlichung der Vorteile des beidseitigen Einspannens werden die analogen Beispiele wie beim einseitigen Einspannen behandelt, d.h. zwei Beispiele mit:

$L = 3.665 \text{ mm}$, der Einspannlänge links und rechts mit je 190 mm , also einer freien Rollenlänge von $1 = L - 380 \text{ mm} = 3.285 \text{ mm}$, einer Temperaturlänge von: 2.300 mm ($T = 0,7$) und mit einer Besatzbreite von $1_b = 2.300 \text{ mm}$ ($Q = 0,7$).

Beispiel 3:

20

Fliesenofen mit $D_a/D/F = 27 \text{ mm}/17 \text{ mm}/1,5 \text{ kp}$ (analog zu Beispiel 1)

Die Berechnung ergibt:

$$2\chi_\alpha + \Delta\chi_\alpha = 0,53$$

$$2\phi_\alpha + \Delta\phi_\alpha = 0,607$$

25

Das maximale in der Temperaturzone 1_T des Ofens auftretende Biegemoment $M_{\max}$

beträgt

30

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{48} 3T^2 + \frac{F \cdot l}{96} \{12T[1-Q] + 6QT^2\}$$

$$= (26,267 + 23,498) \text{ kp cm} = 49,765 \text{ kp cm}$$

35

Diese Belastung verträgt bei den gewählten Abmessungen dasselbe Material aus der kostengünstigsten Gruppe auf $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ -Basis, das bereits in Beispiel 1 betrachtet wurde, bis 1235°C , also genau 100°C mehr als im Fall der einseitigen Einspannung. Damit sind auch die höchsten Brandbebingungen, die für Fliesen bekannt sind, abgedeckt.

Was die Details der Einspannung betrifft, würden sich ergeben bei:

40

(i) $\alpha_v^s = 0$

$$\Delta\alpha_v = 0,53 \frac{ql^3}{48 EI} + 0,6073 \cdot \frac{Fl^2}{32 EI} = 0,23 \text{ Grad}$$

45

$$\Delta H = -\frac{1}{2} \cdot 0,53 \frac{ql^4}{48 EI} - \frac{3}{2} \cdot 0,6073 \cdot \frac{F \cdot l^3}{96 EI} = -6,599 \text{ mm}$$

50

Aus der linken Seite bei A muß also horizontal eingespannt werden, wobei A um $6,6 \text{ mm}$ höher liegen muß als B. Bei B muß der Winkel $\alpha_{v, \text{rechts}} = \Delta\alpha_v = 0,23 \text{ Grad}$ eingestellt werden.

(ii) $\Delta\alpha_v = 0 \Rightarrow \alpha_v^s = 0,115 \text{ Grad}$

55

$$\Delta H = 0$$

Hier muß der Höhenversatz zwischen beiden Einspannseiten null sein, beide Enden werden unter einem Winkel von $0,115 \text{ Grad}$ gegen die Horizontal nach oben eingespannt.

Beispiel 4:

Ofen für Sanitärware mit $D_a/D_i/F = 40 \text{ mm}/30 \text{ mm}/24,924 \text{ kp}$ (analog zu Beispiel 2)

Die Berechnung ergibt wieder

$$2\chi_\alpha + \Delta\chi_\alpha = 0,53$$

$$2\phi_\alpha + \Delta\phi_\alpha = 0,6073$$

$$M_{\max, q} = \frac{q l^2}{48} \cdot 3T^2 = 41,79 \quad \text{kp cm}$$

$$M_{\max, F} = \frac{24,924}{96} \cdot 328,5 \cdot \{12T [1-Q] + 6QT^2\}$$

$$= 390,44 \quad \text{kp cm}$$

es ergibt sich:

$$M_{\max} = 432,23 \text{ kp cm}$$

Diese Belastung vertragen Materialien auf Basis $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ bei kostengünstiger Ausführung bis 1.000°C teurer Ausführung bis 1.240°C

Zwar werden die 1.000°C beim kostengünstigsten Material in aller Regel für einen Brand nicht ausreichen, aber bei der teureren Ausführung auf der Basis von $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ kann durch das beidseitige Einspannen die Anwendungstemperatur bis auf 1.240°C ausgedehnt werden, also noch genau 100°C höher als bei einseitiger Einspannung. Dies reicht für alle in der Praxis auftretenden Anwendungsfälle, so daß die wesentlich teureren Keramiken auf der Basis von SiC generell vermieden werden können.

Die Kostenersparnis ist daher erheblich.

Was die Details der Einspannung angeht, gibt es eine ganze Schar von Möglichkeiten, bevorzugt sind:

$$(i) \alpha_v^s = 0$$

$$\Delta\alpha_v = 0,53 \frac{q l^3}{48 EI} + 0,607 \cdot \frac{F \cdot l^2}{32 EI} = 0,533 \quad \text{Grad}$$

$$\Delta H = -\frac{1}{2} \cdot 0,53 \frac{q l^4}{48 EI} - \frac{3}{2} 0,607 \cdot \frac{F \cdot l^3}{96 EI} = -15,295 \quad \text{mm}$$

Auf der linken Seite bei A muß also horizontal eingespannt werden, wobei A um ca. 15,30 mm höher liegen muß als B. Bei B muß der Winkel $\alpha_{v, \text{rechts}} = \Delta\alpha_v \approx 0,534 \text{ Grad}$ eingestellt werden.

$$(ii) \Delta\alpha_v = 0 \Rightarrow \alpha_v^s \approx 0,267 \text{ Grad } \Delta H = 0$$

Hier muß also ohne Höhenversatz eingespannt werden, und zwar an beiden Enden mit einem Vorgabewinkel von $\alpha_v \approx 0,267 \text{ Grad}$ nach oben gegen die Horizontale.

Zusammenfassung der Beispiele

Beispiel 1 bzw. 3, i.e. Fliesenofen mit

$$D_a/D_i/1/l_b=1_T/F = 27 \text{ mm}/17 \text{ mm}/3.285 \text{ mm}/2.300 \text{ mm}/1,5 \text{ kp}$$

	freie Enden	einseitige Ein- spannung	beidseitige Einspannung
$T_{\max}$ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ Klasse 1	900°C	1.135°C	1.235°C
$T_{\max}$ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ Klasse 2	1.150°C	1.300°C	1.380°C

Einspannvorgaben	$\Delta H[\text{mm}]$	$\alpha_V[\text{Grad}]$	$\Delta H[\text{mm}]$	$\alpha_V[\text{Grad}]$	$\alpha_V[\text{Grad}]$
(i)	7,32	0	-6,6	0	0,230
oder (ii)	0	0,128	0	0,115	0
oder (iii)	-3,12	0,182			

Beispiele 2 bzw. 4 i.g. Sanitärofen mit

$$D_a/D_i/1/l_b=1_T/F = 40 \text{ mm}/30 \text{ mm}/3.285 \text{ mm}/2.300 \text{ mm}/25 \text{ kp}$$

$T_{\max}$ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ Klasse 1	-	-	1.000°C
$T_{\max}$ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ Klasse 2	1.020°C	1.140°C	1.240°C

Einspannvorgaben	$\Delta H[\text{mm}]$	$\alpha_V[\text{Grad}]$	$\Delta H[\text{mm}]$	$\alpha_V^s[\text{Grad}]$	$\Delta \alpha_V[\text{Grad}]$
(i)	14,52	0	-15,30	0	0,534
oder (ii)	0	0,253	0	0,267	0
oder (iii)	-6,06	0,359			

In den bisherigen Ausführungen spielte der Höhenunterschied $\Delta H = H_A - H_B$ eine wesentliche Rolle, d.h. der absolute Höhenunterschied des linken gegenüber dem rechten Rollende in bezug auf die Horizontale. Dies könnte den Schluß nahelegen, daß in der Praxis höhere Anforderungen bezüglich der horizontalen Ausrichtung gestellt werden, als dies beim bisherigen Stand der Technik der Fall ist. Dies trifft jedoch nicht zu. Dort, wo bisher ein Niveauunterschied zwischen linkem und rechtem Rollende in Kauf

genommen werden konnte, ohne daß z.B. bei einem Fliesenofen der Fliesenteppich beim Austritt aus dem Ofen zu stark außermittig ausläuft, ist das bei eingespannten Rollen erst recht der Fall, weil der Neigungsverlauf längs der gesamten Rolle geringer wird als bei den freigelagerten Rollen.

Wesentlich ist allerdings, daß der Wert

$$h = \Delta H - H$$

eingehalten wird (s. Fig. 3). H ergibt sich als Abstand zur Horizontalen auf der Ofenseite A der unter dem Winkel α_v auf der Ofenseite B eingespannten Rolle, wenn diese sich nicht durchbiegen würde, zu:

$$H = -1 \cdot \tan \alpha_v = -1 \alpha_v$$

Da sowohl H als auch ΔH zur Horizontalen definiert sind, gilt dies für $h = \Delta H - H$ nicht. Solange also eine absolute Abweichung von der Horizontalen für die Praxis nicht nennenswert von Bedeutung ist, reduziert sich die Einstellung des Vorgabewinkels α_v und des Höhenversatzes A auf die Einstellung des Wertes

$$h = \Delta H + 1 \cdot \alpha_v$$

Für die richtige Ermittlung ist die Beachtung der Vorzeichenfestlegung bei α_v und ΔH wichtig:

a) ein bei B nach oben angelegter Winkel α_v hat positives Vorzeichen, ein nach unten ausgelegter entsprechend negatives

b) dagegen haben ΔH und H für Werte oberhalb der Horizontalen negatives Vorzeichen.

Für h_{opt} gilt:

$$h_{opt} = (\Delta H - H)_{opt} = \left(\lambda_H \cdot \frac{q_l^4}{48EI} + 1 \cdot \lambda_\alpha \cdot \frac{q_l^3}{48EI} \right)_{opt} \\ = \lambda_{opt} \cdot \frac{q_l^3}{48EI}$$

In der Praxis treten nur Fälle mit $Q \in 0,8$ auf, so daß gilt:

$$h_{opt} > 0$$

Da in den Fällen einseitiger bzw. beidseitiger Einspannung die Einspann-Vorrichtungen sich unterscheiden, werden diese nachfolgend getrennt behandelt.

Wie bereits ausgeführt, bieten sich unter den optimalen Lösungen besonders diejenigen mit

(i) $\lambda_\alpha = 0$ bzw. $\alpha_v = 0$ oder

(ii) $\lambda_H = 0$ bzw. $\Delta H = 0$ an, weil bei ihnen nur ein Parameter nachgestellt werden muß, wenn infolge von Besatzänderung eine erneute Optimierung vorgenommen werden soll. Dagegen ergibt sich die Symmetrische Lösung mit

(iii) $\lambda_\alpha \neq 0$ und $\lambda_H \neq 0$ so daß bei Besatzänderung zur Optimierung grundsätzlich α_v und ΔH nachgestellt werden müssen. In der Praxis werden jedoch die Lasten pro Rolle nicht sehr unterschiedlich sein, da in aller Regel dünnwandige Fliesen mit ihrem geringen Gewicht pro Rolle nicht abwechselnd mit Sanitär-Keramiken mit ihren hohen Lasten pro Rolle in demselben Ofen gebrannt werden. Sondern es werden Fliesen in dafür optimal ausgelegten Fliesenöfen und Sanitär-Keramiken in anders ausgelegten Rollenöfen gebrannt.

Speziell bei den Fliesen-Öfen kommt hinzu, daß das Gewicht der Fliesen pro Rolle in aller Regel geringer ist als das Eigengewicht der Rolle, daß also der Einfluß des Fliesenbesatzes im Vergleich zum Rollen-Eigengewicht ohnehin geringer ist. Daher wird eine Änderung der Fliesen-Last ohnehin nur relativ geringe Auswirkungen auf die optimalen Einstellparameter α_v und ΔH haben.

Es wird in vielen Fällen folgendes Vorgehen der Praxis bereits vollständig gerecht:

a) Fixierte Einstellung des "mittleren optimalen" Vorgabewinkels α_v auf Seite B (rechts), die vorzugsweise auch die Antriebsseite sein wird. α_v wird vorzugsweise gemäß (iii) bestimmt, also gemäß der bestmöglichen Symmetrie im Ofen. Der Begriff "mittlerer optimaler α_v " wird anhand folgenden Beispiels erläutert:

ergibt sich etwa bei geringster zu erwartender Belastung ein optimales α_v von 0,17 Grad und bei größter zu erwartender Belastung pro Rolle ein optimales α_v von 0,19 Grad, so wird als mittlerer optimaler Vorgabewinkel ein Wert von $\alpha_v = 0,18$ Grad verwendet. "Fixierte" Einstellung dieses Winkels soll dabei bedeuten, daß auf eine Nachjustierungsmöglichkeit verzichtet werden kann, was aus Kostengesichtspunkten vorteilhaft ist.

b) Höhenverstellung auf Seite A, also links. Da es zu jedem α_v (also λ_α) einen zugehörigen Wert $\lambda_H = \lambda_{opt} - \lambda_\alpha$ gibt, so daß das Wertepaar $(\alpha_v, \Delta H)$ eine optimale Lösung darstellt, kann bei wechselndem Besatz die neue Optimierung - sofern überhaupt sinnvoll - durch einfache Höhenverstellung des freien

Rollenendes auf Seite A erfolgen.

Die thermische Expansion des Rollen-Werkstoffes in Längsrichtung erfordert bei einseitiger Rollen-Einspannung keine spezielle konstruktive Berücksichtigung, da sich die Rolle auf der freien Seite frei ausdehnen kann. In radialer Richtung kann die thermische Expansion der Rolle besonders einfach konstruktiv durch eine Vorrichtung gemäß Fig. 1 berücksichtigt werden, nämlich die Halterung durch Fugen, Schlitzte o.ä. an geeigneten Stellen lokal so zu schwächen, daß dort durch Anziehen von Schrauben der Radius des Rollenlagers geringfügig (d.h. in der Größenordnung von einigen hundertstel Millimetern) elastisch reduziert und so die Rolle in der Halterung festgeklemmt werden kann.

Von einigen solchen lokalen Schwächungen abgesehen (vorzugsweise 2 Stück, also je eine am hinteren und am vorderen Ende der Rollenlagerung), muß das Rollenlager jedoch so stabil ausgelegt sein, daß sie das Biegemoment am Rollenende verzugsfrei aufnehmen kann. Naturgemäß sind die Biegemomente bei Öfen für Sanitär-Porzellan mit ihren hohen Lasten pro Rolle am größten, sie können Werte in der Größenordnung von $2 \cdot 10^3 \text{ kp cm} = 200 \text{ N.m}$ erreichen oder sogar mehr. Solche Werte können mit einem Stahlager sicher aufgenommen werden, dabei zeigt sich jedoch zugleich

a) daß es auch aus der Sicht des von der Rolle in die Lagerung eingeleiteten Biegemomentes vorteilhaft ist, die Rolle nicht nur ca. 30 - 40 mm in dem Rollenlager zu führen, sondern möglichsts deutlich länger.

b) daß die zur oben erwähnten Verklebung der Rolle in der Aufnahme vorteilhafte Schwächung der Aufnahmewandung nur (wie vorgeschlagen) lokal sein, aber keinesfalls die gesamte Lagerung betreffen darf. Ein vom Anfang bis zum Ende durchgehender Schlitz in der Aufnahme etwa würde diese i.a. viel zu deutlich schwächen, als daß ein verzugsfreier Sitz gewährleistet wäre.

Was die Genauigkeit der Einstellbarkeit des Winkels α_v auf Seite B (rechts) bzw. von ΔH bei A (links) betrifft, ist ΔH auf der freien Rollenseite ohne Schwierigkeiten genau einstellbar, während es technisch aufwendiger ist, α_v präzise einzustellen. Eine Verstellbarkeit von ΔH mit einer Genauigkeit von etwa 0,1 mm wird für die Praxis i.a. bereits ausreichen und ist technisch mit einfachen Mitteln zu verwirklichen. Die Umsetzung dieser Genauigkeit in einen Winkel führt bei einer angenommenen Aufnahmelänge von sogar 250 mm aber nur zu einer Genauigkeit von ca. 0,023 Grad, die aber um etwa den Faktor 5 übertroffen werden sollte. Dies ist zwar durch eine feinere Justierbarkeit auf 0,02 mm durchaus machbar. Die Genauigkeitsanforderungen der Praxis legen aber der folgenden einfacheren und damit auch kostengünstigeren Weg nahe

1) Einstellung von α_v mit einer Genauigkeit von ca. 0,02 Grad ($\hat{=}$ Höhengenaugigkeit von 0,1 mm), etwa gemäß dem i.f. angefügten Vorschlag. Bei einer in den Beispielen 1 bis 4 verwendeten freien Rollenlänge von $l = 3.285 \text{ mm}$ ergibt dies eine Ungenauigkeit von $|H| = |l \cdot \alpha_v|$ von ca. 1,2 mm.

2) Der Wert $h - \Delta H - H$ ist für alle optimalen Einstellungen identisch, wird also bei Ungenauigkeit von ΔH beibehalten. Das bedeutet, daß die Ungenauigkeit von α_v bzw. von H übertragen wird auf ΔH . Im Beispiel 1 (iii) etwa wird der Wert $h = \Delta H - H \approx 7,32 \text{ mm}$ dadurch aufrecht erhalten, daß $\Delta H -$ sollte H tatsächlich um die vollen 1,2 mm abweichend ausfallen, also statt der errechneten -10,44 mm entweder -11,64 mm oder -9,24 mm betragen - statt auf -3,12 mm dann auf -4,32 mm bzw. -1,92 mm eingestellt wird.

Da dies wiederum mit einer Genauigkeit von 0,1 mm ohne technischen Mehraufwand erfolgen kann, läßt sich indirekt mit technisch einfachen Mitteln eine Winkelgenauigkeit bei α_v von ca. 0,0017 Grad erzielen, die für die Praxis mehr als ausreicht.

Der wesentliche Punkt bei der Einstellung des Parameter-Paares (α_v , ΔH) besteht daher in der auf 0,1 mm genauen Einstellung von h . Diese kann auf mehreren Wegen erfolgen. Beispielsweise kann der Punkt P (s. Fig. 3), also der Verlängerungspunkt der unter α_v eingespannten, (hypothetisch) als ungekrümmt gedachten Rolle, mit Hilfe eines gebündelten Lichtstrahls ermittelt und von dort aus h eingestellt werden. Diese Lichtquelle kann vorzugsweise ein kleiner Laser sein, der in das Rollenlager auf Seite B (rechts) spielfrei eingepaßt werden kann und dessen Lichtstrahl auf Seite A auf einer mm-Skala registriert wird.

Zwar wird die fixierte Winkleinstellung von α_v bereits ausreichen, es soll hier jedoch ein prinzipieller konstruktiver Vorschlag für ein Rollenlager vorgegeben werden, bei dem der Winkel α_v auch verstellbar ist.

Dazu zeigt die Fig. 2 einen Rahmen R, in den das Rollenlager RL mit geeigneten Mitteln eingebaut ist. Die Winkelverstellbarkeit erfolgt dadurch, daß das hintere Ende des Rollenlagers über ein Scharnier S schwenkbar ist und daß das vordere Ende über eine Justierschraube Sch in der Höhe verstellt werden kann.

Die Fig. 2 zeigt außerdem in Draufsicht die beiden Klemmschrauben "5" und die zugehörigen Schlitzte "4". Bei geeigneter Dimensionierung erlauben sie die spielfreie elastische Klemmung der Rolle in dem Rollenlager, das zugleich auch einen unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizient von Rolle und Lagerung überbrückt.

Statt je eines Rollenlagers für jede einzelne Rolle wird es in der Praxis vorteilhafter sein, ein

- gemeinsames Gehäuse für ein Bündel von Rollen, beispielsweise jeweils 10 Stück pro Bündel, vorzusehen und die Einstellung des Winkels α_v am gesamten Gehäuse vorzunehmen. Dadurch sind alle Rollen eines Bündels synchron einstellbar, so daß es untereinander keine Abweichungen gibt. Auch kann es entsprechend sinnvoll sein, die gegenüberliegenden freien Rollenden ebenfalls zu gleichen Bündeln zusammenzufassen und ihre Höhenverstellung gemeinsam vorzunehmen.

Beidseitige Einspannung

- Bei der Konstruktion hierfür geeigneter Rollenlager sind die folgenden Anforderungen zu berücksichtigen:

Seite A:

Sie nimmt die thermische Längsdehnung der Rolle bis zu maximal 20 mm auf, weswegen eine Verschraubung nicht möglich ist.

- Damit die Rolle in das Rollenlager bei thermischer Längenänderung störungsfrei gleiten kann, erhält das Rollenlager eine Fase und es wird der Spalt zum Rollenschliff gefettet. Der Sitz $S_{R,A}$ der Rolle in der Rollenlagerung sollte möglichst lang die Paßgenauigkeit zwischen Rollenschliff $D_{a,R}$ und Lagerung $D_{i,H}$ klein sein. Folgende Wertekombination reicht für die Praxis zur Erzielung einer Winkelgenauigkeit von 0,005 Grad aus:

- $S_{R,A} = 300 \text{ mm}$
 $D_{i,H} = D_{i,H} + 0,009 \text{ mm} / -0$
 $D_{a,R} = D_{i,H} + 0 / -0,009$

Dabei ist bereits eine thermische Dehnung von $\Delta t = 50^\circ \text{C}$ und Stahl als Material für das Rollenlager berücksichtigt. Ein geringeres Δt bzw. eine bessere Übereinstimmung der Ausdehnungskoeffizienten von Keramik und Rollenlager erhöhen die Genauigkeit der Winkeleinstellung weiter.

Beidseitige Einspannung

Seite B:

Damit die Rolle nach dem Einschieben in ihre Lagerung auf Seite A auch auf Seite B in dem Rollenlager montiert werden kann, muß

- entweder das Rollenlager von Seite A eine zusätzliche Verschiebbarkeit der Rolle um den Sitz $S_{R,B}$ der Rolle in der Lagerung B von größenordnungsmäßig 200 mm zulassen
- oder das Rollenlager B zum Einlegen der Rolle geöffnet werden. Dazu kann das Rollenlager beispielsweise aus zwei Halbzylindern bestehen, die etwa mit einem Scharnier in Längsrichtung verbunden sind. Der genaue Sitz der Rolle in der Lagerung B wird dann vorzugsweise durch Verschrauben erzielt, wie bereits bei der einseitigen Einspannung beschrieben.

- Was die Justierung der Einstellwerte auf Seite A und Seite B angeht, wird in Analogie zum Fall der einseitigen Einspannung folgendermaßen vorgegangen:

- 1) In aller Regel wird in der Praxis die symmetrische Lösung gewählt werden, also mit $\Delta\alpha_v = 0$ und $\Delta H = 0$ sowie $\alpha_{li} = \alpha_{re} = \alpha_v$. Daher wird bei A (links) und bei B (rechts) jeweils α_v angelegt. Zur Erzielung einer optimalen Einstellung muß die Summe des linken und rechten Winkels möglichst genau dem Doppelten von α_v entsprechen, also

$$\alpha_{li} + \alpha_{re} = 2 \cdot \alpha_v$$

Im Beispiel 4 (ii) etwa soll der Wert

$$\alpha_{li} + \alpha_{re} = 0,53 \text{ Grad}$$

- möglichst genau erreicht werden. Auch aus dieser Sicht ist es vorteilhaft, das Rollenlager auf Seite A ca. 500 -600 mm lang auszulegen, so daß sowohl eine hohe Einstellgenauigkeit von α_{li} als auch eine Verschiebbarkeit der Rolle um $S_{R,B}$ von ca. 200 mm (s.o.) möglich wird.

2) Wenn sich bei der Einstellung von α_{li} bzw. α_{re} eine Asymmetrie

$$\Delta\alpha_v = \alpha_{re} - \alpha_{li}$$

ergeben haben sollte oder bewußt eingestellt wurde, wird zur Erzielung der optimalen Einstellung der Höhenunterschied

$$\begin{aligned} \Delta H &= \lambda_H \cdot \frac{q l^4}{48EI} = \frac{1}{2} (4\bar{\lambda} - \lambda_{\Delta\alpha}) \cdot \frac{q l^4}{48EI} = -\frac{1}{2} \lambda_{\Delta\alpha} \cdot \frac{q l^4}{48EI} \\ &= -\frac{1}{2} \frac{\Delta\alpha_V}{\frac{q l^3}{48EI}} \cdot \frac{q l^4}{48EI} = -\frac{1}{2} l \cdot \Delta\alpha_V \end{aligned}$$

$$\text{also} \quad \Delta H = -\frac{1}{2} l \cdot \Delta\alpha_V$$

auf Seite A (links) eingestellt. Hierbei ist die Bedeutung des Vorzeichens zu beachten, wozu zwei Fälle vorkommen können

a) $\alpha_{re} > \alpha_{li}$ d.h. $\Delta\alpha_V > 0$ und $\Delta H < 0$ d.h. auf Seite A (links) muß das Rollenlager nach oben verschoben werden und damit höher liegen als auf Seite B (rechts).

b) $\alpha_{re} < \alpha_{li}$ d.h. $\Delta\alpha_V < 0$ und $\Delta H > 0$, d.h. auf Seite A (links) muß die Halterung nach unten verschoben werden, so daß sie tiefer liegen wird als diejenige auf Seite B.

Zur Umsetzung der Vorgaben bezüglich Vorgabewinkeln und Höhenversatz muß daher das Rollenlager auf Seite A verstellbar sein bezüglich des Winkels und bzgl. der Höhe.

Ein Vorrichtungsbeispiel hierzu zeigt Fig. 4. Es lehnt sich an dasjenige für das Rollenlager bei einseitiger Einspannung von Fig. 2 an, weist aber folgende Unterschiede auf:

Da die Rolle auf Seite A nicht fixiert wird, ist auf die entsprechende Schrauben und Schlitzte verzichtet.

Das Rollenlager RL ist am hinteren Ende in die Aufnahme A aufgenommen, die am Rahmen R befestigt und an diesem mit geeigneten Mitteln mit einer Genauigkeit von 0,1 mm höhenverstellbar ist.

Die Rollenlagerung RL hat die Länge von $S_{R,A} + S_{R,B}$. Das erlaubt es, die Rolle bei der Montage um diesen Betrag $S_{R,A} + S_{R,B}$ tief in die Lagerung A hineinzuschieben, dann das Rollenende auf Seite B in die Lagerung B einzuführen und um die Länge $S_{R,B}$ zurückzuschieben. Auf diese Weise kann darauf verzichtet werden, das Rollenlager B zum Öffnen auslegen zu müssen. Außerdem ist in der Lagerung A bei dieser Auslegung genügend Platz für die thermische Längenausdehnung der Rolle vorhanden.

Fig. 4 zeigt die Phase Fa am vorderen Ende des Rollenlagers R, um ein widerstandsfreies Gleiten der Rolle KR sicherzustellen.

Die Winkelverstellung wird mit Hilfe der Schraube Sch vorgenommen, die Höhenverstellung ΔH durch gleich große Verstellung von Sch und von A.

Aus den vorstehenden Ausführungen läßt sich zusammenfassend entnehmen:

Durch das einseitige oder beidseitige definiert ausrichtbare Einspannen der Rollenenden in geeigneten Rollenlagern kann eine erhebliche Ausweitung der heutigen Anwendungsgrenzen beim Einsatz keramischer Rollen vorgegeben werden. Definiert ausrichtbar bedeutet dabei, daß zu jeder Winkel- und Höheneinstellung der Halterung die zugehörigen Anwendungsgrenzen quantitativ angegeben werden können, und zwar sowohl im Fall der einseitig eingespannten Rolle als auch im Fall der beidseitig eingespannten Rolle.

Die optimale Einstellung der Rollenlager ist gegeben, wenn der Verlauf des Biegemoments in der Rolle (λ_{opt}) im Bereich der Temperaturzone des Ofens so klein wie möglich gehalten wird, und zwar sowohl bei einseitig eingespannten Rollen als auch bei beidseitig eingespannten Rollen.

Sämtliche Kriterien dazu können quantitativ ermittelt werden.

Die Festlegung der wesentlichen Elemente der benötigten Einspann-Vorrichtungen erfolgt über deren Länge, die Winkel-Einstellung dieser Vorrichtungen und Höhenversatz ΔH und zwar sowohl bei einseitig als auch bei beidseitig eingespannten Rollen.

Der Schliff am Rollenende muß bezüglich der Toleranz abgestimmt sein auf den Innendurchmesser des Rollenlagers und die gelagerte Rollenlänge in der Halterung bzw. dem Rollenlager, damit eine hinreichende Winkelgenauigkeit erzielt werden kann.

Bei beidseitiger Einspannung muß die eine Rollenlagerung die thermische Längenausdehnung der Rolle auffangen können. Zur Berücksichtigung der thermischen Durchmesser-Expansion des Rollenlagers einerseits und der Rolle andererseits wird ein möglichst identischer Ausdehnungskoeffizient der beiden Materialien (Lager, Rolle) und/oder Preßsitz bei $t = 20^\circ \text{C}$ und/oder Verklebungen durch elastische Verschraubung vorgeschlagen.

Als bevorzugte Einstellungen haben sich die folgenden ergeben:

- Winkel (auf Seite B) $\alpha_v = 0$; d.h. es ist nur ein Parameter lastabhängig, nämlich ΔH (auf Seite A)
- oder $\Delta H = 0$; lastabhängig ist nur ein Parameter, nämlich α_v (auf Seite B)
- die symmetrische Lösung, bei der allerdings bei Laständerung beide Parameter, also α_v und ΔH in

5 Abstimmung zueinander verstellt werden müssen.

Allen drei Einstellungen ist der Wert

$$h = \Delta H - H$$

gemeinsam. Und auch alle sonstigen Einstellungen mit demselben Wert für h , bieten dasselbe Ausmaß an Verbesserung gegenüber dem heutigen Stand der Technik. Allen optimalen Einstellungen z.B. ist der Wert

10 h_{opt} gemeinsam mit

$$h_{opt} = \lambda_{opt} \cdot \frac{q l^4}{48 E I}$$

15

Daher reicht es in der Praxis in aller Regel aus, daß bei B der "mittlere optimale" Winkel α_v eingestellt wird und bei Lastwechsel (wenn überhaupt) zur Beibehaltung von h nur ΔH auf Seite A nachgestellt wird. Die dabei mit einfachen Mitteln erzielbare Genauigkeit von 0,1 mm reicht für die Anforderungen der Praxis vollständig aus.

20 Es braucht nicht jede Rolle einzeln verstellbar gehalten zu werden, sondern ein ganzes Bündel von Rollen kann in einer gemeinsamen Rollenlagerung eingespannt werden, und nur diese muß verstellbar sein.

Wenn auch mit einem gewissen Nachteil gegenüber der optimalen Einstellung verbunden, kann es in der Praxis vorteilhaft sein, auf die Verstellbarkeit von α_v und/oder ΔH zu verzichten, (z.B. bei Fliesen-Öfen oder bei wenig differierenden Lasten), also die Halterungen mit fest vorgegebenen Einstellungen auszurü-

25 sten. Dies gilt sowohl für einseitig als auch für beidseitig eingespannte Rollen.

Zur Montierbarkeit der Rolle erhält

a) entweder das Rollenlager A am Ort die Länge $S_{R,A} + S_{R,B}$

b) oder das Rollenlager A nur die Länge $S_{R,A} + S_W$

(S_W = Wärmeausdehnung der Rolle ≈ 20 mm), und die Rollenlagerung auf Seite B wird zum Öffnen

30 ausgelegt.

In einer beispielsweise Ausführungsform wird das Rollenlager mit einer Fase ausgebildet, wobei ein Längs-Spalt zwischen Rollenschliff und Rollenlager gefettet wird. Nur die Rollenlagerung auf einer Seite B erhält eine elastische Rollenklammer mittels Verschraubung.

Die Schar bestmöglicher Lösungen für die Einspannung der Rollenenden ergibt sich

35 a) bei einseitig eingespannten Rollen aus

$$\lambda_{opt} = (\lambda_{\alpha} + \lambda_H)_{opt} = U - \sqrt{U^2 + Z} \quad \text{mit}$$

40

$$U = 5 \cdot (1+V) + W (9 + 8T)$$

$$Z = -25 \cdot (1+V)^2 + W (1+V) \cdot \{-95 + 176T\} + 16W^2$$

45

$$\cdot \left\{ \frac{47}{16} - 9T + 4T^2 \right\}$$

$$h_{opt} = \lambda_{opt} \cdot \frac{q l^4}{48 E I}$$

50

Mit

$$K = \frac{1+V}{2} [-15 + 33T] + \frac{W}{2} [9 - 27T + 12T^2] + \frac{3}{2} (1+T) \lambda_{opt}$$

55

$$\text{und } n = \frac{K}{K_a} \quad \text{mit } K_a = 6 + 6 \cdot V \cdot (2-Q)$$

ergibt sich das maximale in der Temperaturzone des Ofens in der Rolle auftretende Biegemoment, das den Einsatz begrenzt zu

$$M_n = n \cdot \frac{ql^2}{48} \cdot K_a = n \cdot \frac{ql^2}{48} \cdot \{ 6 + 6 \cdot V \cdot (2 - Q) \}$$

b) bei beidseitig eingespannten Rollen aus

$$\lambda_{opt} = (2\lambda_\alpha + \lambda_{\Delta\alpha})_{opt} = 2 \cdot 3T^2 + \frac{3}{2} V \cdot \left\{ 4 - \frac{8}{3} Q - 4T \cdot (1-Q) - \frac{2QT^2}{2} \right\}$$

$$\text{und } (\lambda_H) = -\frac{1}{2} (\lambda_{\Delta\alpha})_{opt}. \text{ Daher}$$

$$(h_i)_{opt} = (h_{re})_{opt} = \frac{1}{2} \lambda_{opt} \cdot \frac{ql^4}{48 EI}$$

$$\text{Mit } K = 6(1+V) - 4W - \lambda_{opt} \quad \text{und} \quad n = \frac{K}{K_a}$$

ergibt sich hier das maximale Biegemoment zu

$$M_n = n \cdot \frac{ql^2}{48} \cdot K_a = n \cdot \frac{ql^2}{48} \cdot \{ (6 + 6 \cdot V \cdot (2-Q)) \}$$

Darüber hinaus kann im Fall einseitig eingespannter Rollen mit anderen als den optimalen Einspannvorgaben die Ermittlung des maximalen Biegemomentes in der Rolle im Bereich der Temperaturzone des Ofens und damit der zugehörigen Anwendungsgrenzen vorgenommen werden.

Analog kann auch im Fall der beidseitig eingespannten Rolle mit anderen als den optimalen Einspannvorgaben die Ermittlung des maximalen Biegemomentes in der Rolle im Bereich der Temperaturzone des Ofens und damit der Anwendungsgrenzen vorgenommen werden.

Die beiliegenden Figuren 1 bis 5 dienen in ihrer beispielsweise Darstellung der weiteren Erläuterung der vorliegenden Erfindung. Es stellen dar:

Fig. 1 einen Querschnitt durch eine Rollenhalterung mit definiert einstellbarer Lagertoleranz,

Fig. 2 einen Längsschnitt durch eine winkelverstellbare Rollenlagerung,

Fig. 3 eine graphische Darstellung der Einflüsse der Höhen- und/oder Winkelverstellbarkeit der Rollenlager,

Fig. 4 einen Längsschnitt entsprechend Fig. 2 für die linke Einspannung, und

Fig. 5 einen Querschnitt durch einen Rollenofen in vereinfachter Wiedergabe.

In Fig. 1 ist geschnitten in Teilwiedergabe ein Führungselement 1 gezeigt, das im wesentlichen eine Lagerhülse darstellt, in die das eine Ende einer Keramikrolle 2 eingeschoben ist. Das das Rollenlager darstellende Führungselement 1 besitzt, wie dargestellt, mehrere Längsschlitze 3, deren mittiger Bereich entlang der äußeren Umfangsfläche des Rollenlagers flanschartig verdickt ausgebildet ist, mit Spannschrauben 4, die in zugehörige Gewindebohrungen 6 eingeschraubt über Stellköpfe 5 so angeordnet sind, daß die Längsschlitze 3 eine mehr oder weniger starke Vorspannung des Rollenlagers und damit eine genau vorgebbare Toleranzgröße zwischen der vorzugsweise geschliffenen äußeren Umfangsfläche des gelagerten Endes der Keramikrolle und der inneren Umfangsfläche des in diesem Bereich wulstartig nach innen eingezogenen Rollenlagers vorgebar ist. Über Fettnippel 7 kann das Rollenlager bzw. entsprechende gelagerte Ende der Keramikrolle innerhalb dieses Führungselementes eine Minimierung der Lagertoleranz begünstigend geschmiert werden.

Wie vorstehend ausgeführt, ist es vorteilhaft für das Führungselement 1 bzw. das Rollenlager einerseits und die Keramikrollen 2 Materialien bzw. Sinterprodukte einsetzen, die zumindest vergleichbare Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweisen, so daß unabhängig vom Temperaturgradienten die definiert eingestellten Toleranzwerte annähernd konstant gehalten werden können.

Fig. 2 zeigt eine Darstellung entsprechend Fig. 1 in einem um 90° versetzten Längsschnitt, wobei in diesem Ausführungsbeispiel die Stellköpfe 5 der Spannschrauben senkrecht auf der Zeichnungsebene stehen. Ein Gehäuse 11 bildet einen Rahmen R für die Aufnahme eines oder mehrerer Führungselemente 1, in die die gelagerten Enden der Keramikrollen 2 eingefügt sind. Auch hier sind somit die Keramikrollen 2 in Führungselemente 1 eingeschoben, die ein Rollenlager RL bilden, welches einseitig, und zwar benachbart zur Wandung des Rollenofens, mittels einer Höhenstellschraube Sch in seiner Winkellage zur Horizontalen verstellbar ist, wobei es an dem der Schraube Sch entgegengesetzten Ende mittels eines Scharniers S oder dergleichen fixiert schwenkbar ist. Die Schraube Sch stellt somit eine Justierschraube für die Winkelverstellung der Lagerung der Keramikrolle dar.

Fig. 3 zeigt in einer graphischen Darstellung sowohl die Änderung des Lagewinkels α_v als auch die damit verbundene Höhenveränderung, wie das in der vorstehenden allgemeinen Beschreibung ausgeführt wurde. Es zeigt sich, daß die Einhaltung des Wertes $h = \Delta H - H$ wesentlich ist, wobei sich der Wert H als der Abstand zur Horizontalen auf der Ofenseite A ergibt, der unter dem Winkel α_v durch die Gleichung $H = -1 \cdot \tan \alpha_v$ ist. Da es sich bei der Verstellung des Rollenlagers um sehr kleine Winkel handelt, kann auch von der vereinfachten Gleichung $A = -1 \alpha_v$ ausgegangen werden. Die Einstellung für h genügt somit der Gleichung $H \Delta H + 1 \cdot \alpha_v$.

Das Rollenlager RL auf der linken Seite des Rollenofens, in die die gegenüberliegenden gelagerten Enden der Keramikrollen 2 mit definierter Toleranz eingefügt sind, besteht aus dem Führungselement 1', das wiederum innerhalb eines Rahmens R' angeordnet ist und an der der Ofenwand abgewandten Seite mittels einer Schwenklagerung fixiert ist, während es unmittelbar angrenzend an die Ofenwandung von einer Justierschraube Sch' getragen wird, mittels der die Höhendifferenz und damit der Lagerwinkel α_v vorgegeben werden kann. Der Unterschied dieses Rollenlagers RL bzw. des Führungselementes 1' auf der Seite A des Ofens gegenüber demjenigen auf der Seite B des Ofens ist lediglich der, daß es in seiner Länge so ausgebildet ist, daß bei weiterer als der in Fig. 4 dargestellten teleskopartigen Ineinanderfügung von Keramikrolle und Führungselement ein Herausziehen des Führungsendes der Keramikrolle auf der gegenüberliegenden Seite möglich wird.

Schließlich zeigt Fig. 5 einen Querschnitt durch einen Rollenofen mit den Seitenwandungen 8 entlang derer die Rahmen R für die Rollenlager RL angebracht sind, wobei die Keramikrollen durch die Ofenwandungen in an sich bekannter Weise hindurchgeführt sind und innerhalb des Rollenofens die Besatzbreite 1_b definieren. Die Decke 9 des Rollenofens wie auch der Boden 10 sind zusammen mit den Seitenwänden 8 in üblicher Form aufgebaut. Der Rollenofen selbst ist nicht Gegenstand der vorliegenden Anmeldung, die sich ausschließlich auf die Lagerung der Rollen innerhalb der außerhalb des Ofens angeordneten Führungselemente bezieht.

40 Ansprüche

1. Vorrichtung zur Lagerung von aus keramischem Material bestehenden Rollen in Rollenöfen, zum Brennen von Fliesen, Sanitärwaren und dergleichen Stein- und/oder Porzellanbrenngut aller Art, wobei das zu brennende Gut auf einer Vielzahl von zu einem Rollenförderer zusammengefaßten Keramikrollen durch einen Ofen geführt und hier zusammen mit den Keramikrollen einer Wärmebeaufschlagung von größenordnungsmäßig 1000°C oder mehr ausgesetzt ist und wobei die Keramikrollen beidseitig durch die Ofenwandungen hindurchragend außerhalb des Ofens gelagert und in ihrer Gesamtheit einseitig angetrieben sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Rollenlager (RL) wenigstens entlang einer Ofenseite definiert ausrichtbar höhen- und/oder winkelverstellbar angeordnet sind, und daß die Rollenlager aus Führungselementen (1) bestehen, mit einem minimalen Schlupf zwischen diesen und den äußeren hiermit in Eingriff stehenden Umfangsflächen der Keramikrollen (2), wobei die Einspannlänge und deren Ausrichtung in Abhängigkeit von der durch die Belastung bzw. aktive Rollenlänge sich ergebenden inneren Spannung festlegbar sind.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Rollenlager aus in Achsrichtung geschlitzten Führungselementen (1) bestehen, deren Durchmesser mittels Spannelementen in vorgegebenen Grenzen regulierbar ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannelemente Spannschrauben (4) sind.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Führungselemente (1) als Führungs-

hülsen ausgebildet sind.

5. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Einspannlänge der Rollen (2) in der Halterung (RL) größer als 40 mm ist, insbesondere zwischen 200 und 300 mm liegt.

5 6. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Schlupf zwischen der Halterung (RL) und der äußeren Umfangsfläche der Rollen (2) kleiner $\pm 8 \mu\text{m}$ ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Winkelverstellbarkeit mit einer Winkeltoleranz von weniger als $0,01^\circ$ erfolgt und bis zu 2° beträgt.

8. Vorrichtung nach den Ansprüchen 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß bei optimaler Auslegung von
10 einseitig eingespannten Rollen diese für die innere Spannung die Bedingung erfüllen:

$$\lambda_{\text{opt}} = U - \sqrt{U^2 + Z}$$

wobei sowohl U als auch Z Funktionen von V (Verhältnis der äußeren Last zum Eigengewicht der Rolle), W (Produkt von V und dem Verhältnis der Besatzbreite zur freien Rollenlänge l plus eins) und T (Verhältnis von lichter Ofenbreite zur freien Rollenlänge) erfüllen.

15 9. Vorrichtung nach den Ansprüchen 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß bei optimaler Auslegung von zweiseitig eingespannten Rollen gilt: $\lambda_{\text{opt}} = 2 - 3T^2 + \frac{3}{2}V(4 - \frac{8}{3}Q - 4T \cdot (1-Q) - 2 \cdot QT^2)$

und,

$$(\lambda_H)_{\text{opt}} = -\frac{1}{2}(\lambda \Delta \alpha)_{\text{opt}}$$

10. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß für jede der optimalen Einspann-
20 möglichkeiten

$$h_{\text{opt}} = \lambda_{\text{opt}} \cdot \frac{q l^4}{48 EI}$$

25

ist, wobei gilt:

a) bei einseitiger Einspannung besteht h_{opt} nur aus einem Beitrag,

b) bei beidseitiger Einspannung dagegen besteht h_{opt} aus linkem und rechtem Anteil, die untereinander
30 der identisch sind, also

$$h_{\text{opt}} = (h_{\text{opt}})_i + (h_{\text{opt}})_{\text{re}} = 2(h_{\text{opt}})_i =$$

35

$$2(h_{\text{opt}})_{\text{re}} = \lambda_{\text{opt}} \cdot \frac{q \cdot l^4}{48 \cdot E \cdot I}$$

wobei q die Längenlast, E der Elastizitätsmodul und I das Flächenmoment der Rolle ist.

40 11. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Rollenden wenigstens über die Einspannlänge geschliffene Oberflächen aufweisen.

12. Vorrichtung nach Anspruch 1 und 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Maßgenauigkeit der Schliffe an den Rollenden abgestimmt ist auf den inneren Durchmesser der Halterung und die Lagerlänge der Rolle in dieser Halterung.

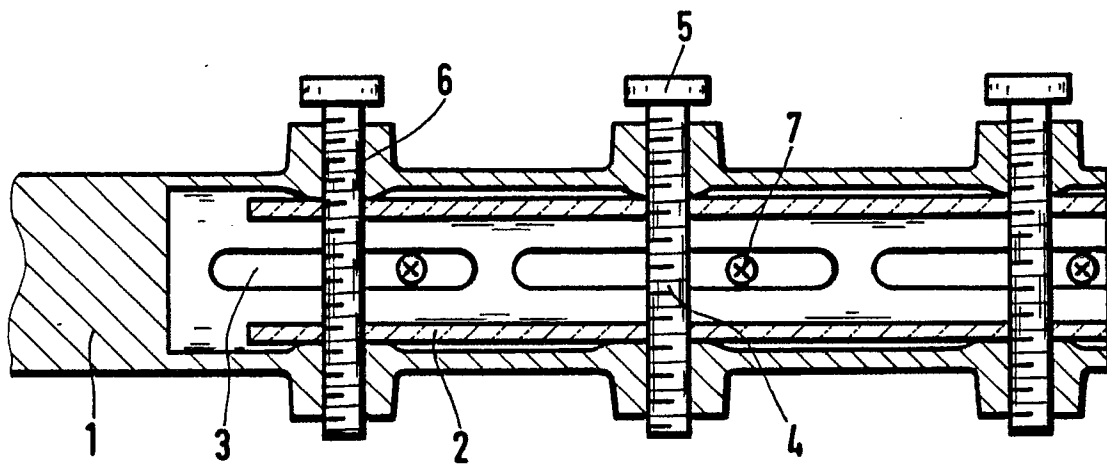
45 13. Vorrichtung nach wenigstens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Rollen in Bündeln zu Einheiten zusammengefaßt sind.

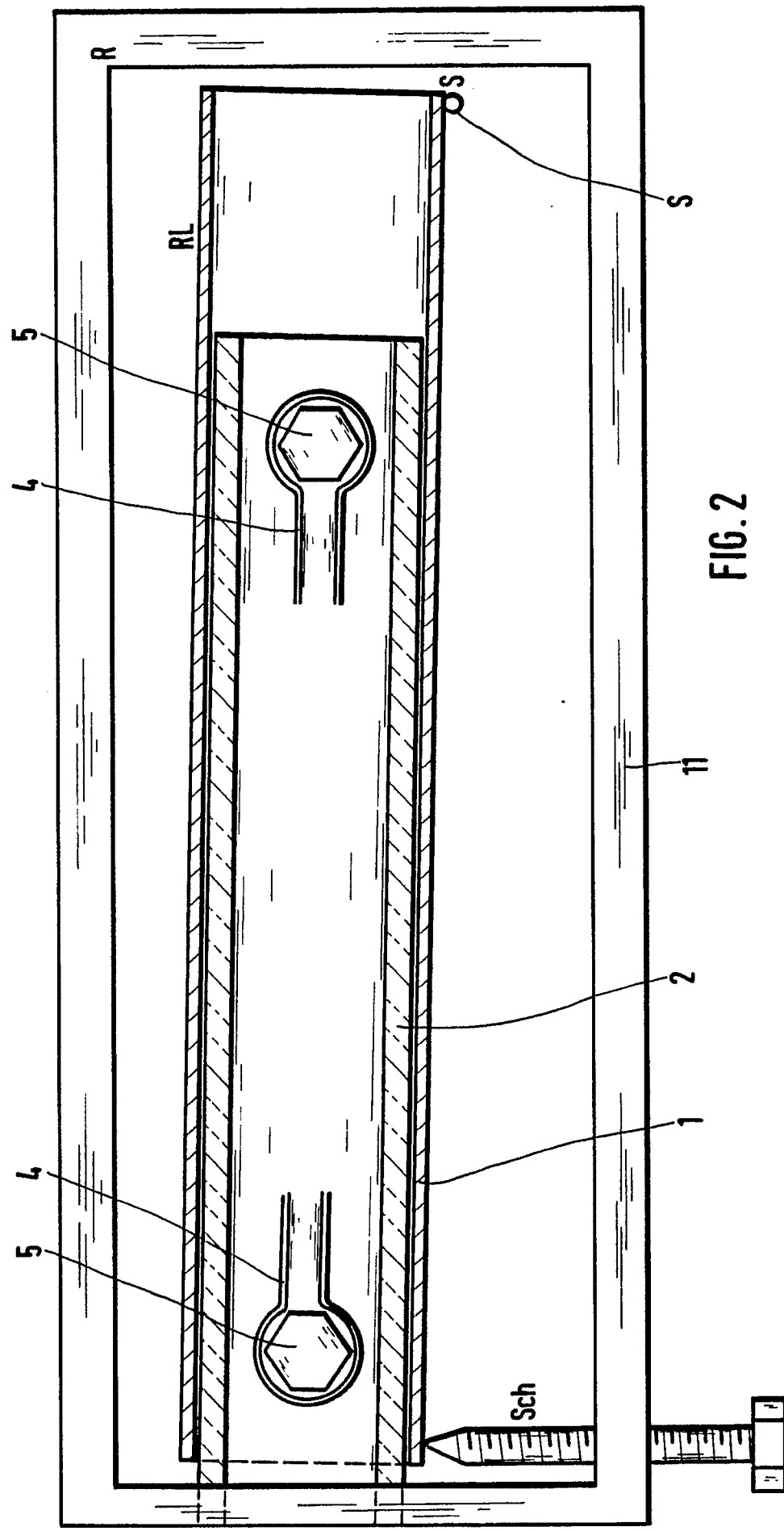
14. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Rollen wenigstens teilweise aus Metall oder dergleichen Materialien bestehen.

15. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß sowohl
50 bei einseitig als auch bei zweiseitig eingespannten Rollen unter Verzicht auf die optimale Einspannung die Lagereinstellung mit $\alpha_v \approx 0$ und $\Delta H \approx 0$ vorgebar ist.

55

FIG.1





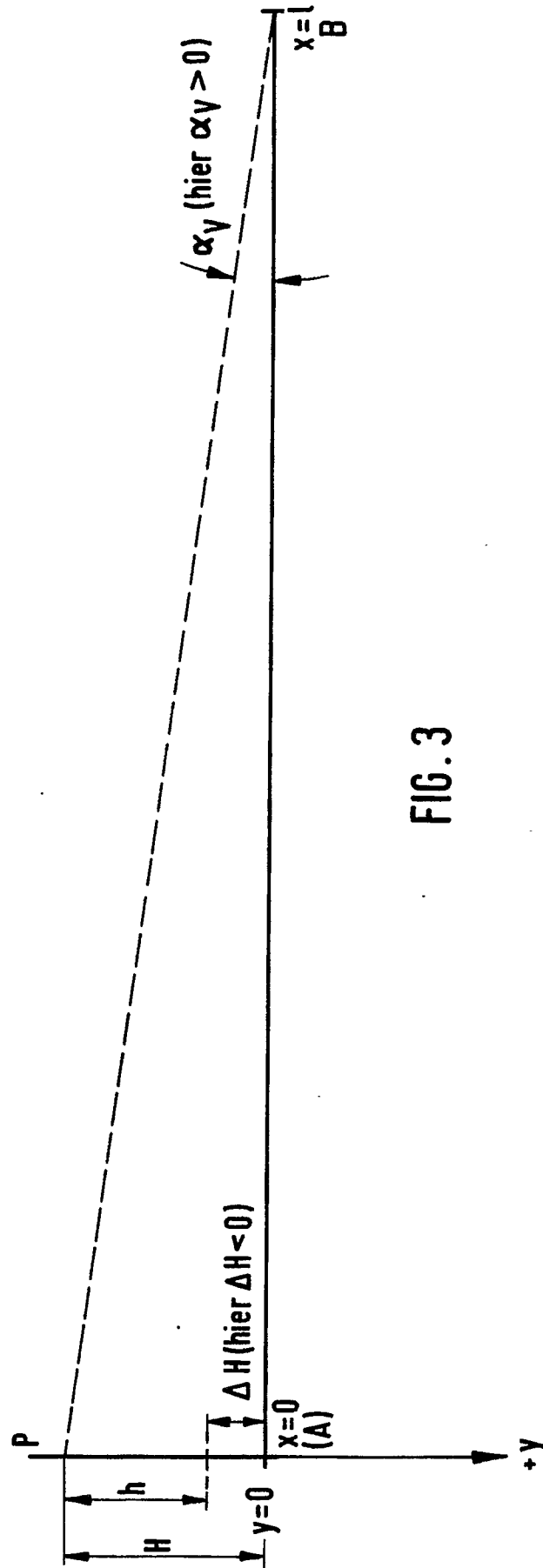


FIG. 3

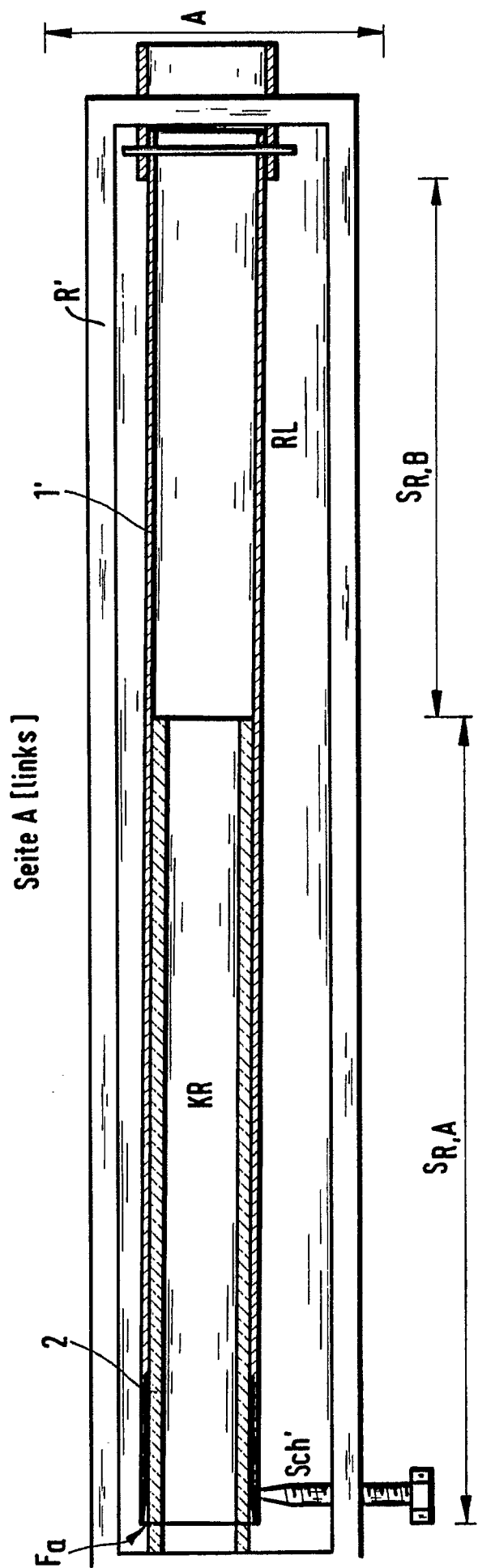


FIG. 4

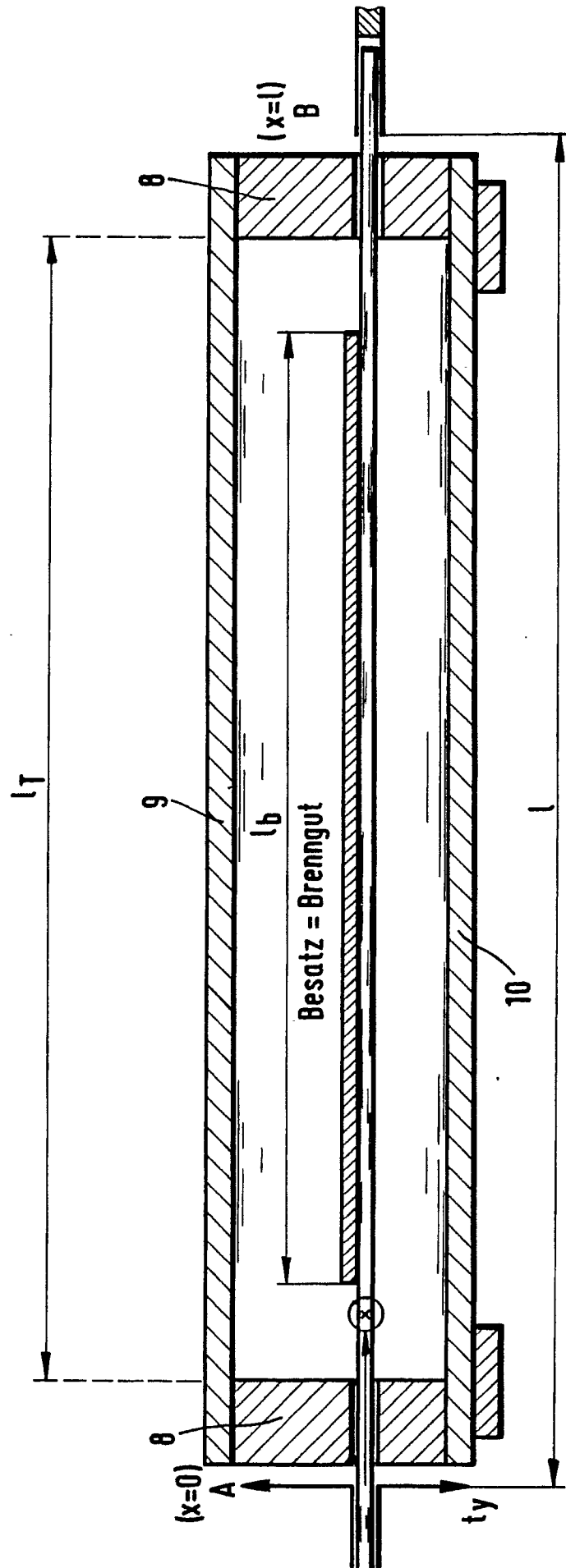


FIG. 5



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 89 73 0106

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
A	US-A-3 608 876 (LEAICH et al.) ---		F 27 B 9/24B
A	US-A-4 241 000 (MARRIOTT, Jr. et al.) ---		F 27 D 3/02B
A	US-A-4 242 782 (HANNEKEN et al.) ---		
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, Band 10. Nr. 23 (C-325)[2080], 29. Januar 1986; & JP-A-60 174 819 (KUROSAKI ROKOUGIYOU K.K.) 09-09-1985 * Zusammenfassung * -----		
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.5)
			F 27 B F 27 D B 65 G F 16 D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 03-01-1990	Prüfer WITTLAD U.A.
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patendokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			