

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 0 590 433 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Patenterteilung:  
**25.08.1999 Patentblatt 1999/34**

(51) Int Cl.<sup>6</sup>: **D21C 7/12, D21C 3/22,**  
**G05B 13/02**

(21) Anmeldenummer: **93114964.5**

(22) Anmeldetag: **16.09.1993**

(54) **Steuerverfahren für die Herstellung von Zellstoff durch Druck- und Temperatursteuerung**

Control process for the production of pulp by control of pressure and temperature

Procédé de commande pour diriger la production de pâte à papier à travers le contrôle de pression  
et température

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT DE ES GB PT SE**

(30) Priorität: **02.10.1992 DE 4233264**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**06.04.1994 Patentblatt 1994/14**

(73) Patentinhaber: **SIEMENS**  
**AKTIENGESELLSCHAFT**  
**80333 München (DE)**

(72) Erfinder: **Furumoto, Herbert, Dr.**  
**D-91052 Erlangen (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A- 0 492 364**

- **DATABASE WPI Section Ch, Week 8810 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class F09, AN 88-069207 XP002009674 & SU-A-1 325 110 (MARII PAPER IND RES) , 23.Juli 1987**
- **DATABASE WPI Section Ch, Week 9207 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class F09, AN 92-054343 XP002009675 & JP-A-04 002 896 (YOKOGAWA DENKI KK) , 7.Januar 1992**

**EP 0 590 433 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Steuerung der Kochung einer Suspension aus Holzstoff und Kochflüssigkeit in einer Anlage zur Herstellung von Zellstoff, bei der in einer ersten Phase ein Aufheizen, bei einem vorgegebenen Druck als Imprägnierdruck und in einer zweiten Phase die eigentliche Kochung bei vorgegebener Temperatur und abgesenktem Druck als Kochdruck erfolgt. Eine solche Vorgehensweise bei der Herstellung von Zellstoff ist im Prinzip aus der SU-A-1 325 110 A vorbekannt. Die Erfindung bezieht sich über das Verfahren hinaus auch auf die zugehörige Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

**[0002]** Der Vorgang des Aufschlusses von Holzstoff im Zellstoff wird allgemein "Kochung" genannt. Grundsätzlich besteht das Ziel der Kochung darin, zur Bildung von Zellstoff durch Einwirkung einer chemische Reaktionsstoffe enthaltenden Kochflüssigkeit aus Holzfasern das sogenannte "Lignin" vollständig herauszulösen, darüber hinaus aber die Faserstruktur möglichst unangetastet zu lassen. Nach Herauslösung des Lignins werden nämlich die Kohlenhydrate in den Zellstoffasern angegriffen. Dies ist unerwünscht, da hierdurch eine Versprödung der Fasern eintritt. Durch diese "Überkochung" des Holzstoffes sinkt die Qualität des nutzbaren Zellstoffes, da dessen Reißfestigkeit und Faserlänge abnimmt ("Zerkochung"). Theoretisch müßte somit die Kochung z.B. einer Charge an Zellstoff in einer diskontinuierlich betriebenen Anlage zur Zellstoffherstellung in dem Moment abgebrochen werden, in dem das Lignin nahezu vollständig herausgelöst ist, aber darüber hinausgehend noch kein Abbau der Kohlenhydrate eingesetzt hat. Praktisch ist dies natürlich nicht möglich, da aufgrund der hohen Temperaturen und Drücke im Inneren der Anlage zur Zellstoffherstellung der Prozeßablauf nicht schlagartig zum Stillstand gebracht werden kann.

**[0003]** Gemäß der EP 0 492 364 A1 erfolgt die Prozeßführung für die Herstellung von Zellstoff in einem diskontinuierlich arbeitenden Kocher im wesentlichen durch geeignete Maßnahmen zur chemischen Prozeßsteuerung, wie insbesondere das Nachführen mindestens eines Bestandteiles der Kochflüssigkeit. Damit ist es möglich, unter Einhaltung des für die Kochung einer Charge im Hinblick auf eine ausreichende Produktivität zur Verfügung stehenden Zeit die gewünschte Zellstoffqualität bei geringstmöglichem Chemikalien- und Energieeinsatz herzustellen.

**[0004]** Davon ausgehend liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, mit dem die Steuerbarkeit des verfahrenstechnischen Prozesses der Kochung einer Suspension aus Holzstoff und Kochflüssigkeit zu Zellstoff verbessert wird, und somit der oben beschriebene optimale Abbruchzeitpunkt der Kochung im Hinblick auf die genaue Erreichung vorgegebener Werte an Ausbeute und gegebenenfalls an Reißfestigkeit des Fertigzellstoffes genauer eingehal-

ten werden kann.

**[0005]** Die Aufgabe ist bei einem Verfahren der eingangs genannten Art erfindungsgemäß durch die Verwendung von Fuzzy-Logik entsprechend dem Kennzeichen des Patentanspruches 1 gelöst. In vorteilhafter Weise erfolgt die Regelung mit unscharfen Eingangsgrößen, wozu auch die Istwerte einer früheren Charge herangezogen werden können. Es werden solche Ausgangsgrößen für die Regelung erzeugt, mit denen die Prozeßführung verbessert wird, wodurch der Imprägnierdruck in der ersten Phase der Kochung beim Aufheizen der Suspension und der Kochdruck in der zweiten Phase beim Fertigmachen der Suspension durchgehend optimierte Werte erhalten.

**[0006]** Eine zugehörige Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens hat einen programmgesteuerten Rechner, insbesondere einer speicherprogrammierbaren Steuerung, ein Automatisierungssystem oder einen Prozeßrechner, welcher ein Programm zur Steuerung der Kochung enthält mit einem Fuzzy-Regler zur Führung des Druckes und der Fertigmachtemperatur in der Anlage zur Zellstoffherstellung.

**[0007]** Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Figurenbeschreibung anhand der Zeichnung in Verbindung mit den Unteransprüchen. Es zeigen

FIG 1 den Zeitverlauf des Druckes und der Temperatur im Verlauf einer Kochung,

FIG 2 die Verläufe von Ausbeute und Reißfestigkeit des Zellstoffes für zwei unterschiedliche Fertigmachtemperaturen in der zweiten Phase der Kochung, und

FIG 3 ein "neuronales Netz", welches zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens besonders geeignet ist.

**[0008]** Der Mechanismus und Verlauf einer Holzstoffkochung werden anhand der Figuren 1 und 2 verdeutlicht. Der Ablauf dieses verfahrenstechnischen Prozesses läßt sich im wesentlichen in zwei Phasen gliedern. In der ersten Phase der Kochung wird die Suspension z.B. beginnend bei Umgebungstemperatur allmählich aufgeheizt. Mit Erreichen der sogenannten "Fertigmachtemperatur" beginnt die zweite Phase der Kochung. Beide Phasen sind in FIG 1 beispielhaft mit den Zeiträumen T1, T2 annähernd markiert.

**[0009]** Gemäß FIG 1 wird die Suspension aus Holzstoff und Kochflüssigkeit in der ersten Phase T1 der Kochung während der Aufheizung einem Druck mit einem möglichst hohen Wert ausgesetzt. Dieser Druck wird des weiteren "Imprägnierdruck" genannt. Für die zweite Phase T2 der Kochung der Suspension mit Fertigmachtemperatur wird der Wert des Druckes abgesenkt. Dieser wird desweiteren "Kochdruck" genannt.

**[0010]** Das Diagramm in FIG 2 zeigt den Zeitverlauf der Ausbeute A und der Reißfestigkeit R des Zellstoffes im wesentlichen in der zweiten Phase der Kochung T2

und dem anschließenden Bereich der Überkochung beispielhaft für einen kleineren Wert  $TM_1$  in durchgezogener Linie und für einen größeren Wert  $TM_2$  der Fertigkochtemperatur  $TM$  in strichliertem Linie. Man erkennt, daß die Zeitverläufe der Ausbeute  $A(t)$  an Zellstoff in der Art einer e-Funktion im Verlauf der zweiten Phase  $T_2$  der Kochung abnehmen. Die "Ausbeute" ist dabei die Masse des erzeugten Fertigzellstoffes bezogen auf die Masse des eingebrachten Holzes. Demgegenüber weist aber die Reißfestigkeit  $R(t)$  des Zellstoffes z.B. für den kleineren Wert  $TM_1$  erst beginnend ab dem Zeitpunkt  $t_0$  zunehmende Werte auf. So weist der Zeitverlauf der Reißfestigkeit  $R(t)$  des Zellstoffes im Zeitpunkt  $t_2$  ein Maximum auf, und nimmt mit Zunahme der Kochzeit mit der Ausbeute wieder ab.

**[0011]** Aus dem Diagramm lassen sich somit Bereiche optimaler Kochung bzw. unerwünschte Bereiche der "Überkochung" entnehmen. Aus der SU 85-994701 A1 ist bereits ein derartiges Verfahren bekannt, bei dem speziell bei der Aufheizung die Temperatur bei  $140^\circ\text{C}$  für 30 min gehalten wird und anschließend die Temperatur auf die Kochtemperatur gebracht und speziell während der Zwischentemperatur der Druck abgesenkt wird. Damit soll die Überkochung ebenfalls verhindert werden.

**[0012]** Von letztem abgesehen ergibt sich aus der Figur 2, daß im Zeitpunkt  $t_1$  die Kochung in einer Phase, bei der eine hohe Ausbeute  $A(t_1)$  an Zellstoff mit kleiner bzw. mittlerer Reißfestigkeit  $R(t_1)$  vorliegt. Erfordern die momentanen Produktionsbedingungen die Erzeugung einer großen Ausbeute an Zellstoff, so sollte die Kochung möglichst im Zeitpunkt  $t_1$  abgebrochen werden. Wird dagegen die Kochung nicht gestoppt, so nimmt die Reißfestigkeit des Zellstoffes auf Kosten des erreichbaren Wertes an Reißfestigkeit zu. So befindet sich z.B. im Zeitpunkt  $t_2$  die Kochung in einer Phase, bei der die erzielbare Ausbeute  $A(t_2)$  an Fertigzellstoff zwar abgenommen hat, dieser aber über einen sehr hohen Wert an Reißfestigkeit  $R(t_2)$  verfügt, d.h. eine hohe "Qualität" aufweist. Fordern die aktuellen Produktionsbedingungen die Erzeugung von hochreißfestem Zellstoff, so sollte die zweite Phase  $T_2$  der Kochung möglichst im Zeitpunkt  $t_2$  abgebrochen werden. Läuft aber die Kochung dennoch weiter, so gerät der Prozeß zunehmend in den unerwünschten Bereich der "Überkochung", bei dem sowohl die Ausbeute  $A(t)$  als auch die Reißfestigkeit  $R(t)$  abnehmen. So weist z.B. im Zeitpunkt  $t_3$  der Zellstoff einen Wert  $R(t_3)$  an Reißfestigkeit auf, welche der Reißfestigkeit  $R(t_1)$  im Zeitpunkt  $t_1$  entspricht, doch hat die Ausbeute  $A(t_3)$  an Fertigzellstoff im Vergleich zum vorangegangenen Zeitpunkt  $t_1$  im optimalen Kochbereich und dem dortigen hohen Wert an Ausbeute  $A(t_1)$  erheblich abgenommen.

**[0013]** Wie bereits oben ausgeführt, müßte theoretisch die Kochung abhängig vom jeweils vorliegenden Produktionsziel in dem zugehörigen Zeitpunkt abrupt abgebrochen werden, z.B. in FIG 2 in Zeitpunkt  $t_1$  bei der Anforderung einer hohen Zellstoffausbeute bzw. im

Zeitpunkt  $t_2$  bei der Anforderung einer hohen Reißfestigkeit des Fertigzellstoffes. Praktisch kann aber die Anlage zur Zellstoffherstellung ab einem Endzeitpunkt durch Abbau der hohen Kochtemperatur und des Innendruckes nur allmählich heruntergefahren werden. In dieser "Bremsphase" wirkt aber die Kochflüssigkeit weiter auf die Zellstoffasern ein und verschiebt die anhand von FIG 2 prinzipiell erläuterten Arbeitspunkte in Richtung auf den Bereich der "Überkochung". So kann im Zeitraum zwischen einem Stop-Befehl für die Kochung und der endgültigen Öffnung eines z.B. diskontinuierlich betriebenen Kochers ein merklicher Verlust von Ausbeute an Fertigzellstoff und gegebenenfalls zusätzlich an Reißfestigkeit des Fertigzellstoffes auftreten.

**[0014]** Um diesen Zustand zu vermeiden, ist man bestrebt, den Endzeitpunkt der zweiten Phase  $T_2$  der Kochung so zu bestimmen, daß unter Berücksichtigung der noch erfolgenden Einwirkung der Kochflüssigkeit auf den Zellstoff im Zeitraum der Anlagenstillsetzung trotzdem die gewünschte Ausbeute an Zellstoff und gegebenenfalls ein gewünschter Reißfestigkeitswert erreicht wird. Aufgrund der extremen Randbedingungen des Prozesses insbesondere im Bezug auf Temperaturen und Drücke, und aufgrund der unter Umständen bei jeder Charge schwankenden Qualität der Eintragsstoffe, insbesondere des eingebrachten Holzstoffes und der chemischen Reaktionsstoffe in der Kochflüssigkeit, ist es bislang nur sehr ungenau möglich, diesen optimalen Endzeitpunkt für die zweite Phase  $T_2$  der Kochung bei Fertigkochtemperatur zu extrapolieren. Es hat sich somit häufig nach Begutachtung des Fertigzellstoffes eine "Unterkochung" mit der Folge eines noch zu kleinen Reißfestigkeitswertes bzw. eine "Überkochung" mit der Folge eingeschränkter Werte an Ausbeute und gegebenenfalls Reißfestigkeit herausgestellt.

**[0015]** In FIG 1 ist im einzelnen der Druckverlauf  $p(t)$  dargestellt. So weist der Imprägnierdruck  $p(T_1)$  in der ersten Phase  $T_1$  der Kochung einen sehr hohen Wert von beispielhaft 10 bar auf. Mit Beginn der zweiten Phase  $T_2$  der Kochung, d.h. mit Erreichen der Fertigkochtemperatur  $TM(T_2)$  mit dem Wert von beispielhaft  $130^\circ\text{C}$  im Zeitpunkt von ca. 4,5 Stunden wird im Beispiel der FIG 1 der Wert des Druckes auf den sogenannten "Kochdruck"  $p(T_2)$  von beispielhaft 6 bar abgesenkt.

**[0016]** Im Gegensatz zur bisherigen Konstanzhaltung des Kochdruckes über den gesamten Zeitraum der Kochung, d.h. für die Summe der beiden Phasen  $p_1$  und  $p_2$ , lehrt die Erfindung die Vorgabe eines "Druckprofils". Hiermit kann besonders vorteilhaft eine Vergleichmäßigung der erzielbaren Produktqualität und somit eine Verbesserung der Steuerbarkeit des Prozesses erreicht werden. Dies hat seine Ursache darin, daß durch den hohen Wert des Druckes in der ersten Phase der Hochheizung der Suspension besser reproduzierbare Startbedingungen für den Beginn der zweiten Phase  $T_2$  der Kochung, d.h. der sogenannten Hauptkochphase, erreicht werden können. Die Genauigkeit in der Voraussage der am Ende der Kochung erreichbaren Eigen-

schaften des Fertigzellstoffes wird größer, so daß der ideale Zeitpunkt des Abbruches der Kochung genauer extrapoliert werden kann, und nach Abbau der Kochtemperatur und des Druckes auf Umgebungsbedingungen die vorliegende Qualität des Fertigzellstoffes und gegebenenfalls auch die Reißfestigkeit weniger von vorgegebenen Zielwerten abweichen.

**[0017]** Die erfindungsgemäße Vorgabe des "Druckprofils" kommt im wesentlichen der Verbesserung einer genauen Erreichung eines gewünschten Zielwertes für die Reißfestigkeit des Fertigzellstoffes zugute. Es kann somit bei gleich hoher Gesamtausbeute an Fertigzellstoff eine Erhöhung des Reißfestigkeitswertes des Fertigzellstoffes erreicht werden.

**[0018]** Da der Wert des Druckes in der ersten Phase T1 der Kochung keiner technologischen Begrenzung beim verfahrenstechnischen Prozeß der Zellstoffkochung unterliegt, kann er möglichst hoch gewählt werden. Dieser "Imprägnierdruckwert" wird somit ausschließlich durch die maschinenbautechnische Anlegung der Produktionsanlage begrenzt. Der Druck in der ersten Phase der Kochung kann bevorzugt auf den maximal zulässigen Betriebsdruck der Anlage erhöht werden. Der Betriebsdruck ist derart ausgelegt, daß im Rohrleitungssystem der Anlage und insbesondere bei Dichtungen in Rohrleitungsflanschen als schwächste Elemente der Anlage keine Schäden auftreten. Gegebenenfalls kann der abgesenkte Wert des "Kochdruckes" in der zweiten Phase der Kochung in Abhängigkeit von einem vorgegebenen Zielwert der Reißfestigkeit des Fertigzellstoffes vorgegeben werden.

**[0019]** Die erfindungsgemäße Vorgabe eines "Druckprofils" hat somit zur Folge, daß in der ersten Phase der Kochung der Druck als dominierende Prozeßgröße wirkt. Demgegenüber hat die erst im Anstieg befindliche Kochtemperatur als Prozeßgröße eine untergeordnete Bedeutung. Auf diese Weise werden am Ende der ersten Phase der Kochung aufgrund der ausgeprägten Imprägnierung des Holzstoffes, d.h. dessen Aufweichung und Durchdringung mit Kochflüssigkeit, optimale Startbedingungen für die eigentliche Hauptkochung bei Fertiggkochtemperatur bereitgestellt. In dieser Phase tritt aufgrund der erfindungsgemäßen Absenkung auf den niedrigen Wert des "Kochdruckes" der Druck als Prozeßhaupteingangsgröße zurück. Stattdessen übernimmt die Temperatur der Suspension die Funktion der Haupteingangsgröße.

**[0020]** Am Beispiel der Herstellung von Zellstoff nach dem sogenannten "Sulfitverfahren" wird ein möglicher optimaler Druckverlauf  $p(t)$  angegeben. Während bisher der Kochdruck über den gesamten Ablauf des Prozesses annähernd konstant bei Werten von ca. 6 bis 8 bar gehalten wurde, hat nun erfindungsgemäß der Druck in der ersten Phase der Kochung einen darüberliegenden und in der zweiten Phase der Kochung einen darunterliegenden Wert. Beispielfhaft liegt der "Imprägnierdruck" in der ersten Phase T1 der Kochung im Bereich von 9 bis 12 bar. und der "Kochdruck" in der zweiten Phase

T2 der Kochung im Bereich von 5 bis 7 bar. Die Druckreduzierung vom hohen Wert  $p(T1)$  in der ersten Phase auf den abgesenkten Wert  $p(T2)$  in der zweiten Phase sollte mindesten 2 bar betragen. Im Beispiel der FIG weist der "Imprägnierdruck" einen Wert von 10 bar und der abgesenkte "Kochdruck" einen Wert von 6 bar auf.

**[0021]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden bei Auftreten von Werteveränderungen bei den Konzentrationen der chemischen Reaktionsstoffe in der Kochflüssigkeit die Werte des Druckes  $p(T1)$ ,  $p(T2)$  in der ersten und/oder zweiten Phase der Kochung T1, T2 der Suspension mit umgekehrter Wirkungsrichtung verändert. Bei Konzentrationszu- bzw. -abnahmen werden fraglich die Druckwerte reduziert bzw. erhöht.

**[0022]** Sind z.B. die Konzentrationen der chemischen Reaktionsstoffe in der Kochflüssigkeit hoch, so kann in der ersten Phase der Kochung ein unterhalb des maximal zulässigen Betriebsdruckes der Zellstoffkochanlage liegender "Imprägnierdruckwert" ausreichend sein. Bevorzugt ist in diesem Fall der Druck um 20 bis 30 % kleiner als der maximal zulässige Betriebsdruck.

**[0023]** Bevorzugt wird ferner in diesem Fall in der zweiten Phase der Kochung der Wert des "Kochdruckes" auf einen im Bereich der unteren Grenze des zulässigen Druckbereiches liegenden Wert abgesenkt. Diese Maßnahmen bewirken neben einer Energieeinsparung und einer mechanischen Schonung insbesondere der Rohrleitungen der Anlage, daß die Gefahr einer "Überkochung" in der zweiten Phase aufgrund einer zu intensiven Imprägnierung in der ersten Phase der Kochung verringert wird.

**[0024]** Im Vergleich dazu liegen umgekehrte Prozeßzustände vor, wenn z.B. die Konzentrationen der chemischen Reaktionsstoffe in der Kochflüssigkeit niedrig sind, bzw. wenn z.B. der in die Anlage eingeführte Holzstoff von minderer Qualität ist, bzw. wenn z.B. aufgrund anderer Randbedingungen die Gefahr groß ist, daß am Ende der Kochung ein hoher Ausschuß auftritt, d.h. der Zellstoff aufgrund von "Unterkochung" nicht genügend aufgeschlossen ist und einen zu hohen Restgehalt an Lignin aufweist. In diesen Fällen werden die Druckwerte in beiden Phasen der Kochung möglichst hoch gewählt. Dabei kann der "Imprägnierdruck" unter Umständen den maximal zulässigen Betriebsdruck der Anlage geringfügig überschreiten, und der "Kochdruck" weist eine an der oberen Grenze des abgesenkten Wertebereiches liegende Größe auf.

**[0025]** Bei einer weiteren Ausführung der Erfindung wird der Zeitpunkt der Absenkung des Druckes zwischen der ersten und der zweiten Phase der Kochung vorgezogen bzw. aufgeschoben, wenn die Reißfestigkeit R des Fertigzellstoffes am Ende der Kochung einen höheren bzw. niedrigeren Wert annehmen soll. So muß z.B. zur Erzeugung eines Zellstoffes mit höherer Reißfestigkeit der Umschaltzeitpunkt zwischen den beiden Druckniveaus, d.h. der Zeitpunkt der Druckabsenkung, vorverlegt werden. Dies kann aufgrund der aktuell

vorliegenden Produktionsrandbedingungen manchmal notwendig sein, obwohl diese Maßnahme zu Lasten der erzielbaren Ausbeute geht. Aufgrund der weniger intensiven Imprägnierung in der ersten Phase T1 kann somit nur weniger Zellstoff erzeugt werden, welcher den gewünschten hohen Wert an Reißfestigkeit aufweist.

**[0026]** Bevorzugt wird der Druck im Moment des Erreichens des gewünschten Wertes der Fertigmischtemperatur abgesenkt. Gegebenenfalls kann mit der Druckabsenkung auch gewartet werden, bis der Prozeß der Hauptkochung zu Beginn der zweiten Phase in Gang gekommen ist. In diesem Fall erfolgt die Druckabsenkung bevorzugt 30 % nach Ablauf des Zeitraumes zwischen dem voraussichtlichen Erreichen der Fertigmischtemperatur und dem Ende der Kochung.

**[0027]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Fertigmischtemperatur T(T2) in der zweiten Phase T2 der Kochung begrenzt, wenn aufgrund der vorliegenden Prozeßbedingungen die zu erwartende Ausbeute an Fertigmischstoff mit einem gewünschten Wert an Reißfestigkeit abnimmt. Durch diese Beeinflussung der Kochtemperatur als "Hauptprozeßgröße" in der zweiten Phase der Kochung werden Ausbeuteverluste durch versehentliche "Überkochung" der Suspension vermieden.

**[0028]** An dem in FIG 2 in strichlierter Linie eingetragenen Zeitverlauf der Ausbeute A(t) für den höheren Wert TM2 der Kochtemperatur ist zu erkennen, daß in diesem Fall die Ausbeute im Verlauf der zweiten Phase T2 der Kochung schneller abnimmt, da insgesamt der Kochprozeß schneller abläuft. Dementsprechend tritt auch der dazugehörige Zeitverlauf der Reißfestigkeit R(t) bei der höheren Fertigmischtemperatur TM2 früher auf, d.h. erreicht früher sein Maximum und fällt schneller wieder ab. So tritt im Beispiel der FIG 2 das Reißfestigkeitsmaximum annähernd im Zeitpunkt t0 auf, während die Reißfestigkeit in den Zeitpunkten t1 und t2 bereits einen negativen Gradienten hat.

**[0029]** Durch die erfindungsgemäße Maßnahme der Begrenzung des Kochdruckes in der zweiten Phase der Kochung wird somit die "Steuerbarkeit" des Prozesses mit dem Ziel der Aufrechterhaltung einer gewünschten hohen Ausbeute an Zellstoff mit einem vorgegebenen Wert an Reißfestigkeit weiter verbessert. Aufgrund des reduzierten Kochdruckes in der zweiten Phase wirken die chemischen Reaktionsstoffe in der Kochflüssigkeit ohnehin nur gebremst auf die Zellstoffasern ein. Wird darüber hinaus insbesondere bei der Gefahr einer "Überkochung" des Zellstoffes durch Zerkochung auch die Fertigmischtemperatur begrenzt, so ist es leichter möglich, einen Fertigmischstoff z.B. mit definierter Lignin-Restkonzentration bzw. Reißfestigkeit einzustellen.

**[0030]** Die Begrenzung der Kochtemperatur kann bevorzugt auf zwei unterschiedliche Arten erfolgen. So kann z.B. für die gesamte zweite Phase T2 der Kochung der maximal zulässige Wert T<sub>max</sub> der Fertigmischtemperatur T(T2) abgesenkt sein. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn der Wert des "Kochdruckes" zu

Beginn der zweiten Phase aufgrund der vorliegenden Prozeßrandbedingungen an der oberen Grenze des zulässigen Wertebereiches liegt. Die Begrenzung des maximal zulässigen Wertes der Kochtemperatur begünstigt die "Steuerbarkeit" des Systems und vermindert somit die Gefahr einer Verfehlung der gewünschten Ausbeute und gegebenenfalls Reißfestigkeit im Fertigmischstoff mit Ende der Kochung.

**[0031]** Andererseits kann die Begrenzung der Fertigmischtemperatur auch durch eine Absenkung des Sollwertes für die Fertigmischtemperatur in der zweiten Phase T2 erfolgen. In diesem Fall wird der Sollwert bevorzugt gegen Ende der Kochung bzw. im letzten Drittel der zweiten Phase T2 abgesenkt. Dies ist im Beispiel der FIG 1 dargestellt. Dabei erfolgt etwa im Zeitpunkt 7,7 Stunden eine in strichlierter Linie eingetragene Absenkung der Kochtemperatur von ca. 130° C auf ca. 120° C. Dementsprechend weist z.B. bei der Zellstoffherstellung nach dem "Sulfitverfahren" die Temperaturabsenkung bevorzugt einen Wert von 5 bis 10° C auf.

**[0032]** Die erfindungsgemäßen Maßnahmen der Druckabsenkung zu Beginn der zweiten Kochphase und einer eventuellen zusätzlichen Temperaturbegrenzung in der zweiten Kochphase erhöhen durch Harmonisierung des Prozeßablaufs dessen Steuerbarkeit. Es ist somit durch präzisere Vorgabe eines Abbruchzeitpunktes mit einer größeren Genauigkeit möglich, einen gewünschten Wert an Reißfestigkeit aufweisenden Fertigmischstoff mit möglichst großer Ausbeute zu erzeugen.

**[0033]** Eine besonders vorteilhafte Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens weist einen programmgesteuerten Rechner auf, insbesondere eine sogenannte speicherprogrammierbare Steuerung, ein Automatisierungssystem oder einen Prozeßrechner. Dieser enthält ein Programm zur Steuerung der Kochung, mit mindestens einem Fuzzy-Regler zur Führung des Druckes p(t) und gegebenenfalls der Fertigmischtemperatur. Insbesondere werden damit die jeweils optimalen Werte des "Imprägnierdruckes" p(T1), des "Kochdruckes" p(T2), des Umschaltzeitpunktes zwischen beiden Druckwerten, der optimalen Fertigmischtemperatur TM(T2), deren möglicher Begrenzung bzw. Absenkung gegen Ende der Kochung und der im Hinblick auf die Erzielung eines Zellstoffes mit gewünschter Reißfestigkeit optimale Abbruchzeitpunkt der Kochung bestimmt. Aufgrund der Tatsache, daß einem Fuzzy-Regler die Eingangsgrößen nicht in einer meßtechnisch exakten Weise zugeführt werden müssen, sondern daß es ausreichend ist, die Eingangsgrößen lediglich in "unscharfer Weise" groben Wertebereichen zuzuordnen, ist ein bevorzugt programmtechnisch realisierter Fuzzy-Regler zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Steuerung der Kochung einer Suspension aus Holzstoff und Kochflüssigkeit in einer Anlage zur Herstellung von Zellstoff besonders geeignet.

**[0034]** Als Eingangsgrößen werden einem derartigen Fuzzy-Regler bevorzugt Sollwerte für die Reißfestigkeit

und Ausbeute des Fertigzellstoffes, und Istwerte für die aktuelle Holzqualität und die Konzentrationen der chemischen Reaktionsstoffe in der Kochflüssigkeit vorgegeben. Für den Fall, daß die Anlage zur Zellstoffherstellung nach dem Chargenprinzip betrieben wird, können dem Fuzzy-Regler als Eingangsgrößen zusätzlich die am Ende der vorangegangenen Charge an Zellstoff aufgetretenen Istwerte der Reißfestigkeit und Ausbeute als Eingangsgrößen zugeführt werden.

**[0035]** So ist im linken Teil der FIG 3 ein beispielhafter Satz von Eingangsgrößen bevorzugt für einen Fuzzy-Regler zur Führung einer im Chargenbetrieb diskontinuierliche betriebenen Anlage dargestellt. Dabei kennzeichnet die Ergänzung (n) Istwerte, welche zu Beginn der Bearbeitung der aktuellen Charge erfaßt wurden. Dies betrifft insbesondere die Holzqualität Q und die Konzentrationen 1,2 von beispielhaft zwei chemischen Reaktionsstoffen in der Kochflüssigkeit. Gegebenenfalls kann zusätzlich ein Änderungswert  $\Delta Q$  der Holzqualität als Eingangsgröße zusätzlich zugeführt werden. Darüber hinaus kennzeichnet die Ergänzung (n-1), daß es sich bei diesem Istwert um einen Ergebnswert der Kochung einer vorangegangenen Charge handelt. Dies betrifft insbesondere die Reißfestigkeit R, die erzielbare Ausbeute B bzw. den auftretenden Ausschuß A. Auch in diesen Fällen können zusätzlich Änderungswerte  $\Delta R$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta A$  zusätzlich als Eingangsgrößen zugeführt werden. Als Ausgangsgröße gibt der Fuzzy-Regler zumindest Stellgrößen für den "Imprägnierdruck"  $p(T1)$  in der ersten Phase der Kochung, für den "Kochdruck"  $p(T2)$  in der zweiten Phase der Kochung und bevorzugt für die maximal zulässige Fertigkochtemperatur  $TM(T2)$  vor.

**[0036]** Gemäß einer weiteren Ausführung der Erfindung enthält das Programm zur Steuerung der Kochung in der Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens zusätzlich ein "neuronales Netz" NZ zur Führung des Druckes und gegebenenfalls der Fertig; kochtemperatur in der Anlage zur Zellstoffherstellung. Nach Inbetriebsetzung wird die Anlage vom Fuzzy-Regler geführt. Das neuronale Netz wird dabei zwar mit den gleichen Eingangsgrößen versorgt, läuft aber für die Dauer von dessen Adaption ohne Verbindung mit der Anlage parallel mit. Erst nach Abschluß der Adaption des neuronalen Netzes übernimmt es anstelle des Fuzzy-Reglers die Führung der Anlage.

**[0037]** In FIG 3 ist bildlich ein neuronales Netz NZ dargestellt, dem der bereits oben beschriebene Satz an Eingangsgrößen zugeführt wird. Die Grobstruktur des neuronalen Netzes ist der Struktur des Fuzzy-Reglers adäquat. Dies äußert sich zumindest in einem übereinstimmenden Satz an Ein- und Ausgangsgrößen. Bekanntlich weist ein neuronales Netz eine Vielzahl von zu Gruppen zusammengefaßten sogenannten "Neuronen" auf.

**[0038]** So ist im Beispiel der Figur 3 jeder Eingangsgröße ein Neuron aus dem Satz der Eingangsneurode EN zugeordnet. Entsprechend weist der Satz aus Aus-

gangsneuronen AN je ein Neuron zur Abgabe einer Ausgangsgröße auf. Dazwischen sind im Beispiels der Figur 3 zwei weitere Sätze von Neuronen vorhanden, welche als "hidden-layers" HL1, HL2 bezeichnet werden. Die Neuronen des Netzes sind über eine Vielzahl von Verbindungen miteinander verschaltet, welche mit sogenannten "Gewichten" bewertet sind. Im Rahmen der "Adaption" des Netzes wird die Struktur dieser Verbindungen und die Werte der "Gewichte" pro Verbindung im Rahmen einer Regressionsrechnung in Abhängigkeit von den aktuellen Werten der jeweiligen Eingangsgrößen bestimmt. Erst nach Abschluß dieser Adaption kann das neuronale Netz den Satz der Eingangsgrößen in den Satz an Ausgangsgrößen abbilden. Zu diesem Zweck muß das neuronale Netz zumindest einmal nach Inbetriebsetzung der Anlage zur Zellstoffherstellung zum Durchlaufen der Adaption eine gewisse Zeit mit aktuellen Eingangsgrößen versorgt werden. Dabei läuft es parallel zum Fuzzy-Regler im sogenannten "off-line" Betrieb. Erst nach Abschluß der Adaption, d.h. nach Bestimmung der "Gewichte" für jede neue Neuronverbindung, kann das neuronale Netz den Fuzzy-Regler ablösen und die prozeßtechnische Führung der Anlage zur Zellstoffherstellung übernehmen. Bei einer anderen Ausführungsform der Erfindung ist die Adaption des neuronalen Netzes ständig in Betrieb und es werden hierzu zumindest die Istwerte der Reißfestigkeit und Ausbeute des Fertigzellstoffes ständig als Eingangsgrößen zurückgeführt.

**[0039]** Ein neuronales Netz ist besonders gut geeignet zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

## 35 Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung der Kochung einer Suspension aus Holzstoff und Kochflüssigkeit in einer Anlage zur Herstellung von Zellstoff, bei der in einer ersten Phase ein Aufheizen bei einem vorgegebenen Druck als Imprägnierdruck und in einer zweiten Phase die eigentliche Kochung bei vorgegebener Temperatur und abgesenktem Druck als Kochdruck erfolgt, **gekennzeichnet** durch die Verwendung von Fuzzy-Logik zur Prozeßführung, wobei als Eingänge für die Fuzzy-Logik zumindest die Sollwerte für die Qualität und die Ausbeute des Fertigzellstoffes sowie die Istwerte der verwendeten Betriebsstoffe verwendet werden und wobei als Ausgänge Stellgrößen zumindest für den Imprägnierdruck in der ersten Phase der Kochung sowie für den Kochdruck in der zweiten Phase der Kochung erhalten werden, wodurch

a) in der ersten Phase (T1) der Kochung die Suspension dem Imprägnierdruck mit einem möglichst hohen Wert ( $p(T1)$ ) aussetzbar ist, und

b) für die zweite Phase (T2) der Kochung der Suspension mit abgesenktem Kochdruck ( $p(T2)$  die Fertigkochtemperatur ( $TM(T2)$ ) auf einen geeigneten Wert ( $T_{min} \leq TM(T2) \leq T_{max}$ ) bringbar ist,

c) der Abbruchzeitpunkt mit einer großen Genauigkeit absehbar ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei Auftreten von Werteveränderungen bei den Konzentrationen der chemischen Reaktionsstoffe in der Kochflüssigkeit die Werte des Druckes ( $p(T1)$  bzw.  $p(T2)$ ) in der ersten und/oder zweiten Phase der Kochung (T1 bzw. T2) der Suspension in gegenläufiger Richtung der Werteveränderungen verändert werden.

3. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Zeitpunkt der Absenkung des Druckes zwischen der ersten und der zweiten Phase (T1, T2) der Kochung vorgezogen bzw. aufgeschoben wird, wenn die Reißfestigkeit (R) des Fertigzellstoffes am Ende der Kochung einen höheren bzw. niedrigeren Wert annehmen soll.

4. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Fertigkochtemperatur ( $T(T2)$ ) in der zweiten Phase (T2) der Kochung begrenzt wird, wenn aufgrund der vorliegenden Prozeßbedingungen die zu erwartende Ausbeute an Fertigzellstoff mit einem gewünschten Wert an Reißfestigkeit (R) am Ende der Kochung abnimmt.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß für die zweite Phase (T2) der Kochung die Fertigkochtemperatur ( $T(T2)$ ) gegenüber der maximal zulässigen Wert ( $T_{max}$ ) abgesenkt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Sollwert für die Fertigkochtemperatur ( $T(T2)$ ) als Eingangsgröße für die Fuzzy-Regelung gesenkt wird.

7. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder einem der Ansprüche 2 bis 6, mit einem programmgesteuerten Rechner, insbesondere einer speicherprogrammierbaren Steuerung, einem Automatisierungssystem oder einem Prozeßrechner, welcher ein Programm zur Steuerung der Kochung enthält mit einem Fuzzy-Regler zur Führung des Druckes ( $p(T1), p(T2)$ ) und der Fertigkochtemperatur ( $TM(T2)$ ) in der Anlage zur Zellstoffherstellung.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**,

**zeichnet, daß**

a) das Programm zur Steuerung der Kochung zusätzlich ein neuronales Netz (NZ) zur Führung des Druckes und/oder der Fertigkochtemperatur in der Anlage zur Zellstoffherstellung aufweist, und

b) nach Inbetriebsetzung wird die Anlage vom Fuzzy-Regler geführt und das neuronale Netz mit den gleichen Eingangsgrößen versorgt wird, das Netz für die Dauer der Adaption ohne Verbindung mit der Anlage parallel mitläuft, und nach Abschluß der Adaption anstelle des Fuzzy-Reglers die Führung der Anlage übernimmt.

## Claims

1. Method for the control of the cooking of a suspension of wood pulp and cooking fluid in a plant for the production of cellulose, wherein in a first phase heating is effected at a given pressure as an impregnating pressure and in a second phase the actual cooking is effected at a given temperature and at a reduced pressure as a cooking pressure, characterised by the use of fuzzy logic for the process control, wherein at least the set points for the quality and the yield of the final cellulose and also the actual values of the fuels used are used as inputs for the fuzzy logic and wherein manipulated variables at least for the impregnating pressure in the first phase of cooking and also for the cooking pressure in the second phase of cooking are obtained as outputs, whereby

a) in the first phase (T1) of cooking, the suspension can be subjected to the impregnating pressure at the highest possible value ( $p(T1)$ ), and

b) the final cooking temperature ( $TM(T2)$ ) can be brought up to a suitable value ( $T_{min} \leq TM(T2) \leq T_{max}$ ) for the second phase (T2) of the cooking of the suspension at a reduced cooking pressure ( $p(T2)$ ),

c) the termination time can be predicted with a large degree of accuracy.

2. Method according to claim 1, characterised in that when changes in the values in the concentrations of the chemical reaction substances in the cooking fluid occur, the values of the pressure ( $p(T1)$  and  $p(T2)$ ) in the first and/or second phase of cooking (T1 and T2 respectively) of the suspension are changed in the opposite direction to that of the value changes.

3. Method according to one of the preceding claims,

characterised in that the instant at which the pressure is reduced between the first and the second phase (T1, T2) of cooking is brought forward or deferred if the tear resistance (R) of the final cellulose at the end of cooking is to take on a higher or a lower value, as the case may be.

4. Method according to one of the preceding claims, characterised in that the final cooking temperature (T(T2)) is limited in the second phase (T2) of cooking if on account of the process conditions that exist the expected yield of final cellulose with a desired value of tear resistance (R) decreases at the end of cooking.

5. Method according to claim 4, characterised in that for the second phase (T2) of cooking the final cooking temperature (T(T2)) is reduced in respect of its maximum permissible value (Tmax).

6. Method according to claim 4 or 5, characterised in that the set point for the final cooking temperature (T(T2)) is lowered as an input variable for the fuzzy control.

7. Apparatus for carrying out the method according to claim 1 or one of the claims 2 to 6, having a program-controlled computer, in particular a programmable controller, an automation system or a process computer, which contains a program for the control of the cooking, with a fuzzy controller for controlling the pressure (p(T1), p(T2)) and the final cooking temperature (TM(T2)) in the plant for the production of cellulose.

8. Apparatus according to claim 7, characterised in that

a) the program for the control of the cooking has in addition a neural network (NZ) for the control of the pressure and/or the final cooking temperature in the plant for the production of cellulose, and

b) after being put into operation, the plant is controlled by the fuzzy controller and the neural network is supplied with the same input variables, the network runs in parallel for the duration of the adaptation without connection to the plant, and at the end of the adaptation it takes over the control of the plant in place of the fuzzy controller.

## Revendications

1. Procédé pour se rendre maître de la cuisson d'une suspension de pâte de bois et de liqueur de cuisson dans une installation de fabrication de pâte à papier,

dans lequel dans une première phase on effectue un chauffage sous une pression prescrite en tant que pression d'imprégnation et dans une seconde phase on effectue la cuisson proprement dite à une température prescrite et à une pression abaissée en tant que pression de cuisson, caractérisé par l'utilisation de la logique floue pour mener les opérations, en utilisant comme entrées pour la logique floue au moins les valeurs de consigne pour la qualité et le rendement de la pâte à papier finie ainsi que les valeurs réelles de la pâte en traitement utilisée, et on obtient comme sorties des valeurs réglantes au moins pour la pression d'imprégnation dans la première phase de la cuisson ainsi que de la pression de cuisson dans la seconde phase de la cuisson, de sorte que

a) on peut soumettre dans la première phase (T1) de la cuisson la suspension à la pression d'imprégnation ayant une valeur (p(T1)) aussi haute que possible, et

b) on peut amener pour la seconde phase (T2) de la cuisson de la suspension, sous une pression de cuisson (p(T2)) abaissée, la température de cuisson finale (TM(T2)) à une valeur appropriée ( $T_{min} \leq (TM(T2)) \leq (T_{max})$ ,

c) on peut prévoir l'instant d'interruption avec une grande précision.

2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que, s'il survient des modifications de valeur des concentrations des substances chimiques de réaction dans la liqueur de cuisson, les valeurs de la pression (p(T1)) et (p(T2)) dans la première et/ou dans la seconde phase de la cuisson (T1) ou (T2) de la suspension sont modifiées en sens inverse des variations des valeurs.

3. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'instant de l'abaissement de la pression entre la première et la seconde phase (T1, T2) de la cuisson est avancé ou retardé si la résistance (R) à la rupture de la pâte à papier finie doit prendre à la fin de la cuisson une valeur plus grande ou plus petite.

4. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la température (T(T2)) de cuisson finale dans la seconde phase (T2) de la cuisson est limitée si, en raison des conditions opératoires qui règnent, le rendement en pâte à papier finie auquel on peut s'attendre, ayant une valeur souhaitée de résistance (R) à la rupture, diminue à la fin de la cuisson.

5. Procédé suivant la revendication 4, caractérisé en ce que l'on abaisse pour la seconde phase (T2) de la cuisson la température de la cuisson terminée (p



(T2)) par rapport à sa valeur (Tmax) maximum admissible.

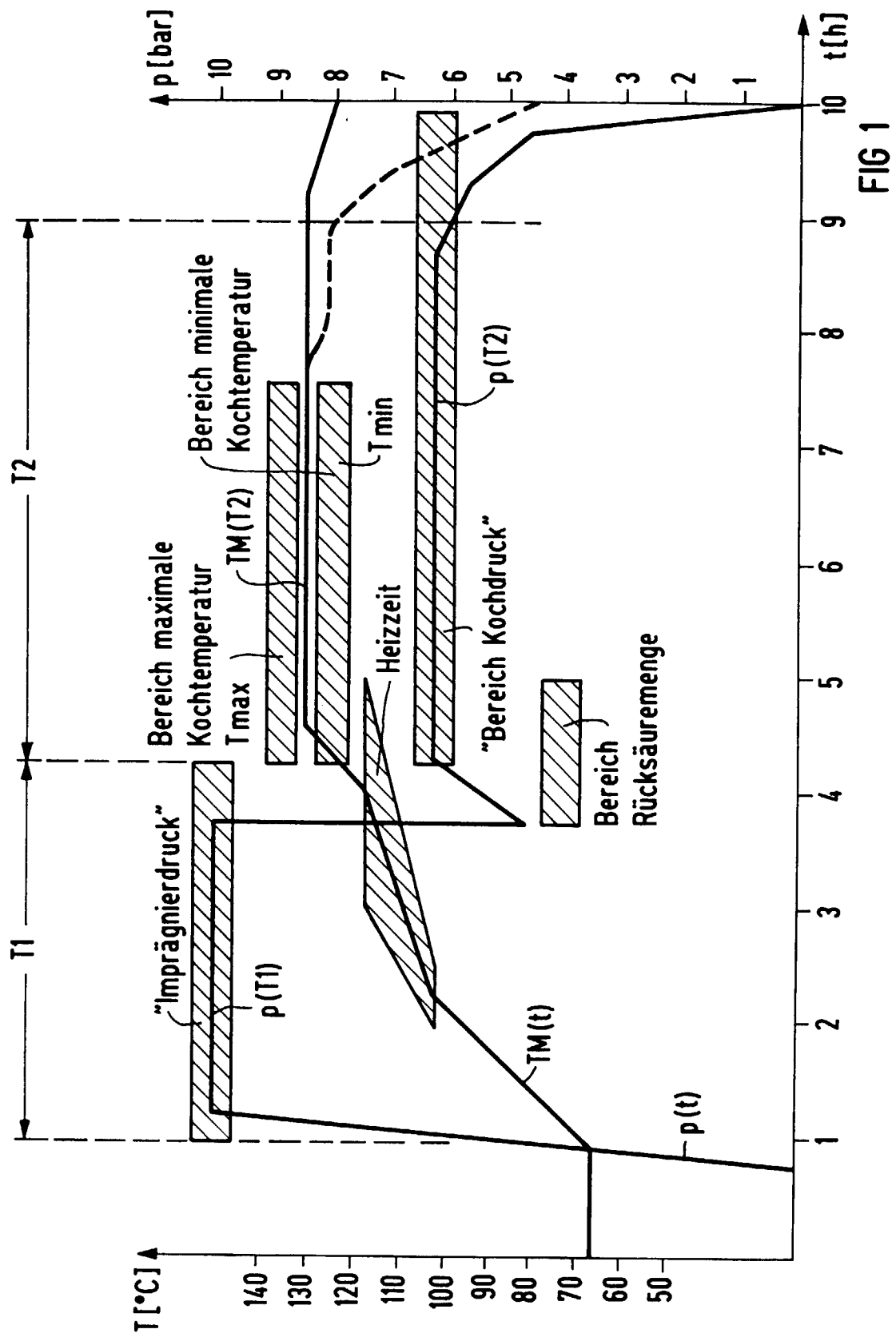
6. Procédé suivant la revendication 4 ou 5, caractérisé en ce que la valeur de consigne pour la température (T(T2) de cuisson finie est abaissée en tant que grandeur d'entrée pour la régulation en logique floue. 5
7. Installation pour la mise en oeuvre du procédé suivant la revendication 1 ou l'une des revendications 2 à 6, comprenant un ordinateur commandé par programme, notamment un automate programmable, un système d'automatisation ou un ordinateur de processus, qui comporte un programme pour se rendre maître de la cuisson avec un régulateur en logique floue pour commander la pression (p(T1), p(T2)) et la température de cuisson finie (TM(T2)) dans l'installation de fabrication de la pâte à papier. 10  
15  
20
8. Installation suivant la revendication 7, caractérisée en ce que
  - a) le programme pour se rendre maître de la cuisson comporte en plus un réseau (NZ) neuronal pour commander la pression et/ou la température de cuisson finie dans l'installation de fabrication de la pâte à papier. et 25
  - b) après la mise en fonctionnement, l'installation est guidée par le régulateur en logique floue et le réseau neuronal est alimenté par les mêmes grandeurs d'entrée. le réseau fonctionnant en parallèle pendant la durée de l'adaptation sans liaison avec l'installation de fabrication de pâte à papier et. après la fin de l'adaptation, prenant en charge le guidage de l'installation de fabrication de pâte à papier à la place du dispositif de régulation en logique floue. 30  
35

40

45

50

55



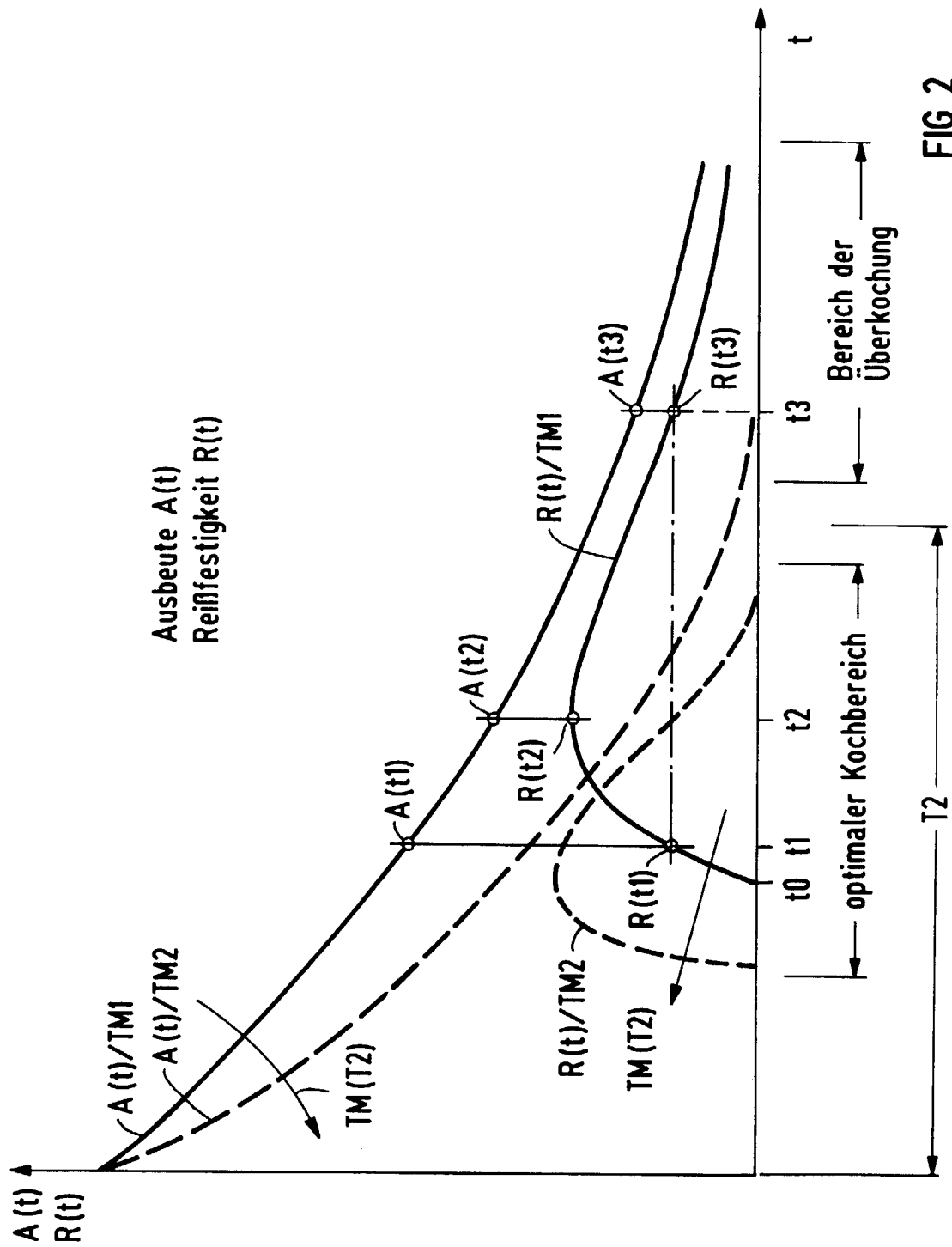


FIG 2

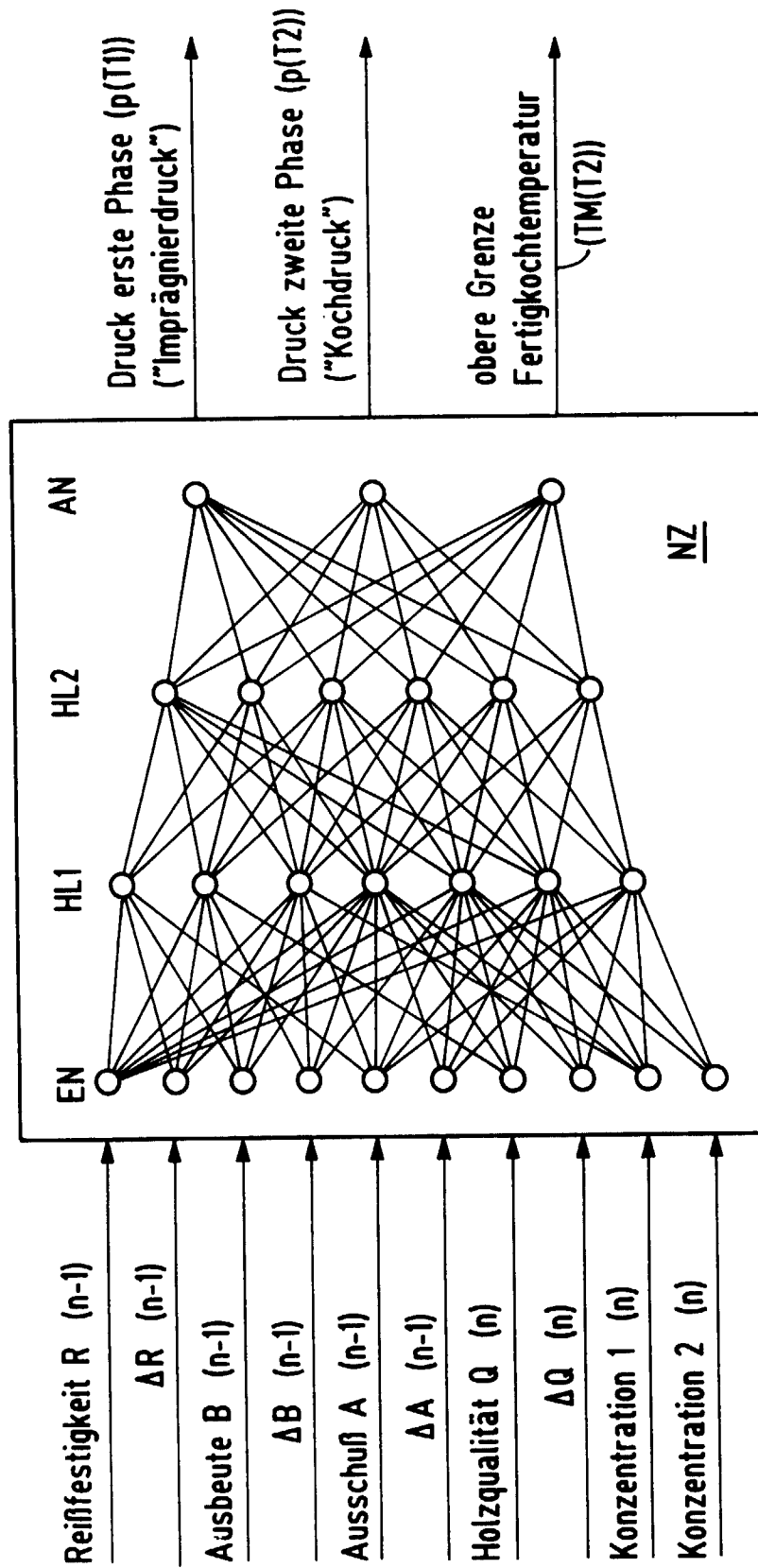


FIG 3