



AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP C 07 D / 293 173 2

(22) 31.07.86

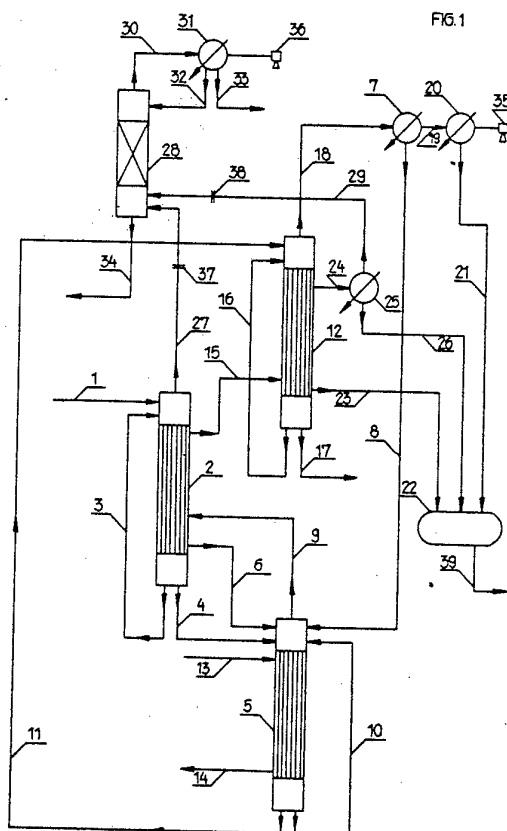
(44) 18.11.87

(71) VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“, Leuna 3, 4220, DD

(72) Winzer, Werner; Güsewell, Manfred, Dr. Dipl.-Ing.; Herbing, Jürgen, Dipl.-Ing.; Kranz, Georg, Dipl.-Chem.; Bernsen, Wolf-Dieter; Kuhn, Manfred, Dipl.-Ing.; Hager, Werner, Dr. Dipl.-Chem.; Roese, Hans-Eberhard; Müller, Jürgen; Bühnemann, Helmut, DD

(54) Verfahren zur Reinigung von Caprolactam

(57) Verfahren zur Reinigung von Caprolactam durch kontinuierliche Destillation und Rektifikation von entwässertem Roh-Caprolactam unter vermindertem Druck mit dem Ziel, den Energiebedarf bei geringem apparativen Aufwand weiter zu senken, dabei jedoch die Variabilität des Verfahrens hinsichtlich der Qualität zu erhöhen. Die Aufgabe, den Wärmeenergiebedarf für die Verdampfung und Kondensation des Caprolactams durch Mehrfachnutzung der Wärmeenergie weiter zu senken und Caprolactam gleichzeitig in hoher und mittlerer Qualität zu erzeugen, wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß man die Verdampfung des Sumpfproduktes der 1. Stufe in der 2. Stufe in zwei Schritten vornimmt, dabei im 1. Schritt Heizdampf und im zweiten Schritt Kondensationswärme der 4. Stufe verwendet, die dabei erzeugten Caprolactamdämpfe in einer 5. Stufe einer Teilkondensation unterwirft und die nicht kondensierten Dämpfe in einer 6. Stufe zu reinem Caprolactam kondensiert. Fig. 1



Erfindungsanspruch:

1. Verfahren zur Reinigung von Caprolactam durch Destillation und Rektifikation des entwässerten Rohcaprolactams unter vermindertem Druck und unter Zusatz alkalisch reagierender Substanzen, vorzugsweise von Alkalisalzen der Epsilon-Aminocaprönsäure, zur Trennung in eine mit leichtflüchtigen Verunreinigungen angereicherte Fraktion, in den mit hochsiedenden Verunreinigungen angereicherten Destillationsrückstand und in reines Caprolactam durch rektifizierende Teilverdampfung des entwässerten Rohcaprolactams in einer 1. Stufe unter Gegenstromführung von Flüssigkeit und Dampf im Rohrraum von Fallfilmverdampfern, weitestgehende Verdampfung des Sumpfproduktes der 1. Stufe bis auf einen geringen Anteil die hochsiedenden Verunreinigungen enthaltenden Destillationsrückstand in einer 2. Stufe unter Gleich- oder Gegenstromführung von Dampf und Flüssigkeit und bei Kreislaufführung des Sumpfproduktes im Rohrraum von Fallfilmverdampfern, Teilkondensation der in der 2. Stufe erzeugten Caprolactamdämpfe unter Rektifikationsbedingungen in einer 3. Stufe unter Gegenstromführung von Kondensat und Dampf im Mantelraum von Fallfilmverdampfern, weitestgehende Kondensation der in der 3. Stufe nicht kondensierten Caprolactamdämpfe in einer 4. Stufe unter Gegenstromführung von Kondensat und Dampf im Mantelraum von Fallfilmverdampfern und Gewinnung des dabei erhaltenen Caprolactamkondensates als reines Caprolactam, Verwendung der bei der Teilkondensation in der 3. Stufe abzuführenden Kondensationswärme als Wärmeenergiequelle für die Teilverdampfung in der 1. Stufe unter Einstellung der notwendigen Temperaturdifferenzen durch Einhaltung entsprechender Druckdifferenzen, Rektifikation der in der 1. Stufe erzeugten und in der 4. Stufe nicht kondensierten, die leichtflüchtigen Verunreinigungen enthaltenden Caprolactamdämpfe und Ausschleusung der im Destillat der Rektifikation angereicherten leichtflüchtigen Verunreinigungen mit diesem Stoffstrom, Rückführung des in der 3. Stufe erzeugten Teilkondensates in der Weise, daß die darin enthaltenen hochsiedenden Verunreinigungen mit dem Destillationsrückstand ausgeschleust werden, **gekennzeichnet dadurch**, daß man die weitestgehende Verdampfung des Sumpfproduktes der 1. Stufe in der 2. Stufe in 2 Schritten vornimmt, wobei man in einem 1. Verdampfungsschritt unter Verwendung von Heizdampf als Wärmeenergiequelle nur einen Teil des in die 2. Stufe eingesetzten Caprolactams verdampft, das dabei anfallende Sumpfprodukt in einem 2. Verdampfungsschritt unter Verwendung der in der 4. Stufe abzuführenden Kondensationswärme als Wärmeenergiequelle bei Einstellung der notwendigen Temperaturdifferenzen durch Einhaltung entsprechender Druckdifferenzen bis auf einen geringen Anteil die hochsiedenden Verunreinigungen enthaltenden Destillationsrückstand im Rohrraum von Fallfilmverdampfern unter Kreislaufführung des Sumpfproduktes verdampft und den dabei erhaltenen Destillationsrückstand ausschleust, die im 2. Verdampfungsschritt der 2. Stufe erzeugten Caprolactamdämpfe in einer 5. Stufe einer Teilkondensation unterwirft und die in der 5. Stufe nicht kondensierten Caprolactamdämpfe in einer 6. Stufe schließlich vollständig zu reinem Caprolactam erster Qualität kondensiert.
2. Verfahren nach Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß man zur Teilverdampfung in der 1. Stufe 15 bis 20 Ma.-% und zur weitestgehenden Verdampfung in der 2. Stufe 90 bis 98 Ma.-% des in diese Stufen eingesetzten Caprolactams verdampft.
3. Verfahren nach Punkt 1 und 2, **gekennzeichnet dadurch**, daß man im 1. Verdampfungsschritt der 2. Stufe 50 bis 70 Ma.-% und im 2. Verdampfungsschritt der 2. Stufe 25 bis 45 Ma.-% des in die 2. Stufe eingesetzten Caprolactams verdampft.
4. Verfahren nach Punkt 1 bis 3, **gekennzeichnet dadurch**, daß man bei der Teilkondensation in der 3. Stufe und in der 5. Stufe 20 bis 40 Ma.-% der in jeder dieser Stufen eingesetzten Caprolactamdämpfe kondensiert.

5. Verfahren nach Punkt 1 bis 4, **gekennzeichnet dadurch**, daß man die in der 1. Stufe erzeugten und die in der 4. Stufe nicht kondensierten, die leichtflüchtigen Verunreinigungen enthaltenden Caprolactamdämpfe in einer Verstärkersäule unter Anwendung eines Rücklaufverhältnisses zwischen 2 und 5 ohne Zuführung zusätzlicher Wärmeenergie rektifiziert und das Sumpfprodukt der Verstärkersäule vollständig oder teilweise entsprechend den Einsatzmöglichkeiten als reines Caprolactam zweiter Qualität gewinnt oder vollständig oder teilweise in die 1. Stufe zurückführt.
6. Verfahren nach Punkt 1 bis 5, **gekennzeichnet dadurch**, daß man das in der 5. Stufe erzeugte Teilkondensat vollständig oder teilweise entsprechend den Einsatzmöglichkeiten als reines Caprolactam zweiter Qualität gewinnt oder vollständig oder teilweise in den 1. Verdampfungsschritt der 2. Stufe zurückführt.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Reinigung von Caprolactam durch kontinuierliche Destillation und Rektifikation von entwässertem Rohcaprolactam unter vermindertem Druck.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Zur Erreichung einer Caprolactamqualität, die den Anforderungen für die Polyamid-Faser- und -Feinseiden-Herstellung entspricht, ist es erforderlich, die in dem als Zwischenprodukt in den Vorreinigungs- oder Zwischenreinigungsstufen gewonnenen Rohcaprolactam enthaltenen Verunreinigungen sehr unterschiedlicher Struktur mit voneinander abweichenden Eigenschaften weitestgehend abzutrennen. Das erfolgt üblicherweise durch Destillation und Rektifikation des entwässerten Rohcaprolactams unter vermindertem Druck und unter Zusatz von alkalisch reagierenden Substanzen.

Es ist allgemein bekannt, das entwässerte Rohcaprolactam unter vermindertem Druck und unter Verwendung von Rotationsdünnschichtverdampfern und -rektifikatoren drei- oder fünfstufig unter teilweiser Kreislaufführung teilgereinigten Caprolactams destillativ in eine mit leichtflüchtigen Verunreinigungen angereicherte Fraktion, in den Destillationsrückstand und in reines Caprolactam aufzutrennen. Dazu ist es notwendig, das Caprolactam einer zweimaligen Verdampfung und einer zweimaligen Rektifikation mit Rücklaufverhältnissen zwischen 4 und 15 zu unterwerfen. Auf Grund dessen besitzen diese Verfahren den entscheidenden Nachteil, daß der spezifische Energieeinsatz, bezogen auf die hergestellte Menge reinen Caprolactams, das 3- bis 4fache der für eine einmalige Caprolactamverdampfung notwendigen Wärmeenergie beträgt, wobei diese Angabe zum Energiebedarf aus Vergleichbarkeitsgründen nur die für die Caprolactamverdampfung und -rektifikation erforderliche Wärmeenergie beinhaltet. Weitere wesentliche Nachteile der allgemein bekannten Verfahren sind der hohe apparative Aufwand infolge des erforderlichen ausschließlichen Einsatzes von kostenintensiven und instandhaltungsaufwendigen Rotationsdünnschichtapparaten und die hohe thermische Belastung des Caprolactams auf Grund der Vielzahl der Stufen durch Addition der Verweilzeiten, insbesondere in den zwischen die Stufen geschalteten Kondensatoren, Abscheider und Vorlagen.

In den DD-PS 81 846 und 152 914 werden Modifikationen der allgemein bekannten Verfahren vorgeschlagen, indem man die Anzahl der Verdampferstufen reduziert und die Anzahl der Rektifikationsstufen erhöht und durch die Verweilzeit verringert (DD-PS 81 846), oder einen Caprolactamteilstrom nicht kondensiert, sondern dampfförmig innerhalb des Destillationsprozesses zurückführt und dabei den Energiebedarf geringfügig senkt (DD-PS 152 914). Eine wesentliche Verbesserung der Wirtschaftlichkeit tritt weder hinsichtlich des Energiebedarfes noch bezüglich des apparativen Aufwandes ein.

Eine andere Modifikation der bekannten Verfahren wird in der DE-OS 3 007 338 beansprucht, wobei man in 3 Verdampfungs- und einer Rektifikationsstufe reines Caprolactam mit 60% Ausbeute gewinnt. Dieses Verfahren besitzt ebenfalls die entscheidenden Nachteile des hohen Energiebedarfes infolge der erforderlichen mindestens vierfachen Caprolactamverdampfung und eines hohen apparativen Aufwandes.

Darüber hinaus besteht noch der Nachteil der gegenüber den bekannten Verfahren deutlich geringeren Ausbeute an reinem Caprolactam. In der DE-OS 3 106 350 wird ein dreistufiges Destillationsverfahren vorgeschlagen, bei dem man in zwei Verdampfer- und einer Rektifikationsstufe reines Caprolactam gewinnt. Mit diesem Verfahren wird zwar der apparative Aufwand verringert und der Energiebedarf infolge einer nur dreifachen Caprolactamverdampfung etwas gesenkt, jedoch können mit diesem Verfahren nur hochsiedende und nichtflüchtige Verunreinigungen vom Caprolactam abgetrennt werden. Leichtflüchtige Verunreinigungen sind nicht abtrennbar. Damit ist die Anwendung dieses Verfahrens eingeschränkt auf den Einsatz von Rohcaprolactam, das ausschließlich hochsiedende und nichtflüchtige Verunreinigungen enthält.

In den DD-PS 226 560, 226 561, 226 562 und 226 879 werden Verfahren zur destillativen und rektifikativen Caprolactamreinigung beansprucht, nach denen vier-, fünf-, sechs- oder siebenstufig unter Einsatz von Fallfilmverdampfern als Verdampfer und Rektifikatoren, von Rohrbündelkondensatoren und einer Rektifikationssäule sehr reines, den Anforderungen der Chemiefaserindustrie entsprechendes Caprolactam hergestellt wird. Die Reinigung des Caprolactams erfolgt durch wiederholte Verdampfung und Kondensation unter Mehrfachnutzung der Wärmeenergie bei Einhaltung der notwendigen Temperaturdifferenzen für den Wärmeaustausch. Der ausschließliche Einsatz von Rohrbündelapparaten in diesen Verfahren anstelle von Rotationsdünnschichtapparaten führt zu einer wesentlichen Senkung des apparativen Aufwandes. Die Mehrfachnutzung der Wärmeenergie hat eine Senkung des spezifischen Energiebedarfes auf das 1,2- bis 1,4fache der für eine einmalige Caprolactamverdampfung notwendigen Wärmeenergie zum Ergebnis.

In der DD-PS 226561 wird aus entwässertem Rohcaprolactam in einem vierstufigen Verfahren durch Teilverdampfung, weitestgehende Verdampfung, Teilkondensation und weitestgehende Kondensation unter Einsatz von Fallfilmverdampfern, Rohrbündelkondensatoren und einer Verstärkersäule unter Abtrennung einer mit leichtflüchtigen Verunreinigungen angereicherten Fraktion und des mit hochsiedenden Verunreinigungen angereicherten Destillationsrückstandes reines Caprolactam gewonnen. Der spezifische Energieeinsatz, bezogen auf die hergestellte Menge reinen Caprolactams beträgt bei diesem Verfahren das 1,2fache der für eine einmalige Caprolactamverdampfung notwendigen Wärmeenergie. Wenn auch der spezifische Energieeinsatz dieses Verfahrens deutlich geringer ist als der bei den allgemein bekannten Verfahren und den bekannten Verfahrensmodifikationen, so ist auch dieser Energieeinsatz noch zu hoch. Außerdem ist auch dieses Verfahren ausgerichtet auf die Herstellung einer Caprolactamqualität. Zwar kann die Qualität in gewissen Grenzen variiert werden, die parallele Erzeugung von unterschiedlichen Qualitätsstufen ist nicht möglich, obgleich oft wünschenswert.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, den Energiebedarf bei geringem apparativen Aufwand weiter zu senken, dabei jedoch die Variabilität des Verfahrens hinsichtlich der Qualität zu erhöhen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Es bestand die Aufgabe, ein Verfahren zu entwickeln, das es gestattet, bei geringem apparativen Aufwand den Wärmeenergiebedarf für die Verdampfung und Kondensation des Caprolactams durch Mehrfachnutzung der Wärmeenergie innerhalb des Destillationsprozesses weiter zu senken und Caprolactam in hoher Qualität und parallel dazu in mittlerer Qualität, oder nur in hoher Qualität zu erzeugen.

Die Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Reinigung von Caprolactam durch Destillation und Rektifikation des entwässerten Rohcaprolactams unter vermindertem Druck und unter Zusatz alkalisch reagierender Substanzen, vorzugsweise von Alkalisalzen der Epsilon-Aminocaprinsäure, zur Trennung in eine mit leichtflüchtigen Verunreinigungen angereicherte Fraktion, in den mit hochsiedenden Verunreinigungen angereicherten Destillationsrückstand und in reines Caprolactam durch rektifizierende Teilverdampfung des entwässerten Rohcaprolactams in einer 1. Stufe unter Gegenstromführung von Flüssigkeit und Dampf im Rohrraum von Fallfilmverdampfern, weitestgehende Verdampfung des Sumpfproduktes der 1. Stufe bis auf einen geringen Anteil die hochsiedenden Verunreinigungen enthaltenden Destillationsrückstand in einer 2. Stufe unter Gleich- oder Gegenstromführung von Dampf und Flüssigkeit und bei Kreislaufführung des Sumpfproduktes im Rohrraum von Fallfilmverdampfern, Teilkondensation der in der 2. Stufe erzeugten Caprolactamdämpfe unter Rektifikationsbedingungen in einer 3. Stufe unter Gegenstromführung von Kondensat und Dampf im Mantelraum von Fallfilmverdampfern, weitestgehende Kondensation der in der 3. Stufe nicht kondensierten Caprolactamdämpfe in einer 4. Stufe unter Gegenstromführung von Kondensat und Dampf im Mantelraum von Fallfilmverdampfern und Gewinnung des dabei erhaltenen Caprolactamkondensates als reines Caprolactam, Verwendung der bei der Teilkondensation in der 3. Stufe abzuführenden Kondensationswärme als Wärmeenergiequelle für die Teilverdampfung in der 1. Stufe unter Einstellung der notwendigen Temperaturdifferenzen durch Einhaltung entsprechender Druckdifferenzen, Rektifikation der in der 1. Stufe erzeugten und in der 4. Stufe nicht kondensierten, die leichtflüchtigen Verunreinigungen enthaltenden Caprolactamdämpfe und Ausschleusung der im Destillat der Rektifikation angereicherten leichtflüchtigen Verunreinigungen mit diesem Stoffstrom, Rückführung des in der 3. Stufe erzeugten Teilkondensates in der Weise, daß die darin enthaltenen hochsiedenden Verunreinigungen mit dem Destillationsrückstand ausgeschleust werden, erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß man die weitestgehende Verdampfung des Sumpfproduktes der 1. Stufe in der 2. Stufe in 2 Schritten vornimmt, wobei man in einem 1. Verdampfungsschritt unter Verwendung von Heizdampf als Wärmeenergiequelle nur einen Teil des in die 2. Stufe eingesetzten Caprolactams verdampft, das dabei anfallende Sumpfprodukt in einem 2. Verdampfungsschritt unter Verwendung der in der 4. Stufe abzuführenden Kondensationswärme als Wärmeenergiequelle bei Einstellung der notwendigen Temperaturdifferenzen durch Einhaltung entsprechender Druckdifferenzen bis auf einen geringen Anteil der hochsiedenden Verunreinigungen enthaltenden Destillationsrückstand im Rohrraum von Fallfilmverdampfern unter Kreislaufführung des Sumpfproduktes verdampft und den dabei erhaltenen Destillationsrückstand ausschleust, die im 2. Verdampfungsschritt der 2. Stufe erzeugten Caprolactamdämpfe in einer 5. Stufe einer Teilkondensation unterwirft und die in der 5. Stufe nicht kondensierten Caprolactamdämpfe in einer 6. Stufe schließlich vollständig zu reinem Caprolactam erster Qualität kondensiert. Zweckmäßigerweise werden zur Teilverdampfung in der 1. Stufe 15 bis 20 Ma.-% und zur weitestgehenden Verdampfung in der 2. Stufe 90 bis 98 Ma.-% des in diese Stufen eingesetzten Caprolactams verdampft. Es ist weiterhin zweckmäßig, im 1. Verdampfungsschritt der 2. Stufe 50 bis 70 Ma.-% und im 2. Verdampfungsschritt der 2. Stufe 25 bis 45 Ma.-% des in die 2. Stufe eingesetzten Caprolactams zu verdampfen. Darüber hinaus ist es zweckmäßig, bei der Teilkondensation in der 3. Stufe und in der 5. Stufe 20 bis 40 Ma.-% der in jede dieser Stufen eingesetzten Caprolactamdämpfe zu kondensieren. Es ist ein Vorteil, die in der 1. Stufe erzeugten und die in der 4. Stufe nicht kondensierten, die leichtflüchtigen Verunreinigungen enthaltenden Caprolactamdämpfe in einer Verstärkersäule unter Anwendung eines Rücklaufverhältnisses zwischen 2 und 5 ohne Zuführung zusätzlicher Wärmeenergie zu rektifizieren und das Sumpfprodukt der Verstärkersäule vollständig oder teilweise entsprechend den Einsatzmöglichkeiten als reines Caprolactam zweiter Qualität zu gewinnen oder vollständig oder teilweise in die 1. Stufe zurückzuführen.

Es ist gleichermaßen von Vorteil, das in der 5. Stufe erzeugte Teilkondensat vollständig oder teilweise entsprechend den Einsatzmöglichkeiten als reines Caprolactam zweiter Qualität zu gewinnen oder vollständig oder teilweise in den 1. Verdampfungsschritt der 2. Stufe zurückzuführen. Die erfindungsgemäße Arbeitsweise gestattet es, bei geringem technologischen und apparativen Aufwand unter ausschließlicher Verwendung von Rohrbündelapparaten und einer Rektifikationskolonne Caprolactam in hoher Reinheit und erforderlichenfalls parallel dazu auch in mittlerer bzw. zweiter Qualität herzustellen. Dabei ist es möglich, das Mengenverhältnis zwischen erster und zweiter Qualität in gewissen Grenzen zu variieren bzw. auch ausschließlich Caprolactam erster Qualität zu erzeugen.

Der entscheidende Vorteil der erfindungsgemäßen Arbeitsweise ist der außerordentlich geringe spezifische Energieverbrauch. Er beträgt, bezogen auf die hergestellte Menge reinen Caprolactams in erster und zweiter Qualität, das 0,8- bis 1,05fache der für eine einmalige Caprolactam-Verdampfung notwendigen Wärmeenergie. Ein weiterer wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die sehr geringe thermische Belastung des Caprolactams auf Grund der geringen Temperaturdifferenzen in den Verdampferstufen, wobei besonders die geringe thermische Belastung im 2. Verdampfungsschritt der 2. Stufe — der Verdampfungsendstufe — wegen der dort vorliegenden geringen Temperaturdifferenz zwischen Heizmedium und verdampfenden Caprolactam von hoher Bedeutung für die Caprolactamqualität ist. Bemerkenswert ist auch die geringe Verweilzeit des Caprolactams in den einzelnen Stufen auf Grund nicht notwendiger Zwischenkondensationen und erneuter Verdampfung.

Ausführungsbeispiele

Beispiel 1

Eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Arbeitsweise zeigt Figur 1. Durch Rohrleitung 1 werden stündlich 7070 Gewichtsteile entwässertes Rohcaprolactam mit einem Gehalt von 0,12 Ma.-% Natriumaminocapronat in den Rohrraum des Fallfilmverdampfers 2 eingespeist und unter einem Druck von 0,9 kPa bei einer Temperatur von 128°C, gemessen im Rohrraumsumpf des Fallfilmverdampfers 2, einer Teilverdampfung unterworfen, wobei Dampf und Flüssigkeit im Gegenstrom geführt werden. Das nicht verdampfte Caprolactam wird in einer Menge von 43750 Gewichtsteilen pro Stunde über Rohrleitung 3 im Kreislauf geführt. Durch Rohrleitung 4 werden stündlich 5760 Gewichtsteile des im Fallfilmverdampfer 2 nicht verdampften Caprolactams dem Rohrraum des Fallfilmverdampfers 5 zugeführt. Außerdem werden in den Rohrraum des Fallfilmverdampfers 5 stündlich 1310 Gewichtsteile Caprolactamkondensat aus dem Mantelraum des Fallfilmverdampfers 2 über Rohrleitung 6 und 740 Gewichtsteile Caprolactamkondensat aus den Kondensator 7 über Rohrleitung 8 eingeleitet. Im Rohrraum des Fallfilmverdampfers 5 werden 4660 Gewichtsteile pro Stunde Caprolactam unter Gegenstromführung von Flüssigkeit und Dampf unter einem Druck von 1,7 kPa bei einer Temperatur von 140°C verdampft. Die erzeugten Caprolactamdämpfe werden über Rohrleitung 9 in den Mantelraum des Fallfilmverdampfers 2 geleitet. Von dem im Rohrraumsumpf des Fallfilmverdampfers 5 anfallenden Sumpfprodukt werden über Rohrleitung 10 45000 Gewichtsteile pro Stunde im Kreislauf geführt und 3150 Gewichtsteile pro Stunde über Rohrleitung 11 in den Rohrraum des Fallfilmverdampfers 12 eingespeist. Der Fallfilmverdampfer 5 wird beheizt mit Wasserdampf von 1,0 MPa Druck, wobei der Heizdampf über Rohrleitung 13 dem Mantelraum des Fallfilmverdampfers zugeführt und das anfallende Kondensat über Rohrleitung 14 abgeführt wird. Der Heizdampfverbrauch beträgt 1550 Gewichtsteile pro Stunde.

Von den 4660 Gewichtsteilen pro Stunde Caprolactamdämpfen, die über Rohrleitung 9 vom Fallfilmverdampfer 5 in den Mantelraum des Fallfilmverdampfers 2 geleitet werden, kondensieren bei Gegenstromführung von Dampf und Kondensat stündlich 1310 Gewichtsteile unter einem Druck von 1,3 kPa und bei einer Temperatur von 135°C. Das anfallende Caprolactamkondensat wird über Rohrleitung 6 in den Rohrraum des Fallfilmverdampfers 5 zurückgeführt. Die nicht kondensierten Caprolactamdämpfe in einer Menge von 3350 Gewichtsteilen pro Stunde werden über Rohrleitung 15 in den Mantelraum des Fallfilmverdampfers 12 eingeleitet und in diesem bei Gegenstromführung von Dampf und Kondensat unter einem Druck von 1,0 kPa bei einer Temperatur von 129°C kondensiert. Die Kondensationswärme wird abgeführt durch Verdampfung des über Rohrleitung 11 dem Rohrraum des Fallfilmverdampfers 12 zugeführten 3150 Gewichtsteilen pro Stunde Sumpfproduktes aus dem Fallfilmverdampfer 5. Die Verdampfung wird vorgenommen unter einem Druck von 0,7 kPa bei einer Temperatur von 120°C bei Gegenstromführung von Dampf und Flüssigkeit. Das im Rohrraumsumpf anfallende Sumpfprodukt wird über Rohrleitung 16 in einer Menge von 44550 Gewichtsteilen pro Stunde im Kreislauf geführt. Über Rohrleitung 17 werden stündlich 450 Gewichtsteile mit hochsiedenden Verunreinigungen angereicherter Destillationsrückstand aus dem Rohrraumsumpf des Fallfilmverdampfers 12 abgezogen und in eine vorgelagerte Synthese- oder Reinigungsstufe des Caprolactamprozesses zurückgeführt. Die im Rohrraum des Fallfilmverdampfers 12 erzeugten Caprolactamdämpfe in einer Menge von 2700 Gewichtsteilen pro Stunde werden durch Rohrleitung 18 dem Kondensator 7 zugeführt und in diesem unter einem Druck von 0,5 kPa bei einer Temperatur von 114°C einer Teilkondensation unterworfen, wobei stündlich 740 Gewichtsteile Caprolactamkondensat anfallen, die über Rohrleitung 8 dem Rohrraum des Fallfilmverdampfers 5 zugeführt werden. Die im Kondensator 7 nicht kondensierten Caprolactamdämpfe werden über Rohrleitung 19 dem Kondensator 20 zugeleitet und in diesem unter einem Druck von 0,4 kPa bei einer Temperatur von 108°C kondensiert, wobei 1950 Gewichtsteile pro Stunde reines Caprolactam erster Qualität erhalten werden, die über Rohrleitung 21 dem Sammelbehälter 22 für reines Caprolactam erster Qualität zugeführt werden.

Von den 3350 Gewichtsteilen pro Stunde Caprolactamdämpfe, die im Mantelraum des Fallfilmverdampfers 12 einer weitestgehenden Kondensation unterworfen werden, kondensieren stündlich 2700 Gewichtsteile als reines Caprolactam erster Qualität, das über Rohrleitung 23 dem Sammelbehälter 22 zugeführt wird. Die im Mantelraum des Fallfilmverdampfers 12 nicht kondensierten Caprolactamdämpfe werden über Rohrleitung 24 in einer Menge von 650 Gewichtsteilen pro Stunde in den Kondensator 25 eingeleitet und in diesem einer Kondensation unter einem Druck von 0,8 kPa bei einer Temperatur von 125°C unterworfen. Dabei kondensieren 550 Gewichtsteile pro Stunde reines Caprolactam erster Qualität, das über Rohrleitung 26 dem Sammelbehälter 22 zugeführt wird.

Die im Rohrraum des Fallfilmverdampfers 2 erzeugten Caprolactamdämpfe in einer Menge von 1310 Gewichtsteilen pro Stunde werden über Rohrleitung 27 in die Verstärkersäule 28 eingeleitet. Außerdem werden der Verstärkersäule 28 über Rohrleitung 29 stündlich 100 Gewichtsteile Caprolactamdämpfe aus dem Kondensator 25 zugeführt. In der Verstärkersäule 28 erfolgt unter einem Druck von 0,5 kPa bei einer Temperatur von 114°C, gemessen im Sumpf der Verstärkersäule, die Anreicherung der leichtflüchtigen Verunreinigungen. Die die Verstärkersäule verlassenden Caprolactamdämpfe in einer Menge von 1410 Gewichtsteilen pro Stunde werden über Rohrleitung 30 in den Kondensator 31 geleitet, in diesem niedergeschlagen und das Caprolactamkondensat in einer Menge von 1000 Gewichtsteilen pro Stunde über Rohrleitung 32 als Rücklauf in die Verstärkersäule 28 zurückgeführt; die restlichen 400 Gewichtsteile pro Stunde werden über Rohrleitung 33 als mit leichtflüchtigen Verunreinigungen angereicherte Fraktion abgezogen und in eine vorgelagerte Synthese- oder Reinigungsstufe des Caprolactamprozesses zugeführt. Das Sumpfprodukt der Verstärkersäule 28 wird in einer Menge von 1000 Gewichtsteilen

pro Stunde als reines Caprolactam zweiter Qualität über Rohrleitung 34 abgezogen. Die Dampfstrahler 35 und 36 dienen der Vakuumherzeugung. Mit den Drosselorganen 37 und 38 werden die für den Wärmeaustausch in den Fallfilmverdampfern 2 und 12 erforderlichen Druckdifferenzen eingestellt. Der Reinigungseffekt wird durch die im folgenden aufgeführten Qualitätskennziffern (gemessen gemäß TGL 7430) der Einsatz- und Endprodukte verdeutlicht.

Stoffstrom	Permanganat-extinktionszahl	Gehalt an flüchtigen Basen	Extinktion bei 290 nm
Entwässertes Rohcaprolactam 7070 Gewichtsteile/Stunde (Rohrleitung 1)	37,5	0,48 mVal/kg	0,61
Reines Caprolactam erster Qualität 5 200 Gewichtsteile pro Stunde (Rohrleitung 39)	90,7	0,134 mVal/kg	0,014
Reines Caprolactam zweiter Qualität 1 000 Gewichtsteile pro Stunde (Rohrleitung 34)	78,8	0,33 mVal/kg	0,057
Mit leichtflüchtigen Verun- reinigungen angereicherte Fraktion 400 Gewichtsteile pro Stunde (Rohrleitung 33)	11,2	0,88 mVal/kg	0,34
Destillationsrückstand 450 Gewichtsteile/Stunde (Rohrleitung 17)	0	8,8 mVal/kg	7,2

Die Ausbeute an reinem Caprolactam beträgt 6200 Gewichtsteile pro Stunde (Rohrleitungen 39 und 34), das sind 87,7 Ma.-%, bezogen auf den Einsatz an entwässertem Rohcaprolactam (Rohrleitung 1). Der Heizdampfverbrauch bezogen auf das erzeugte reine Caprolactam beträgt 0,25 Gewichtsteile pro Gewichtsteil reines Caprolactam, das ist das 0,833fache der für eine einmalige Caprolactamverdampfung notwendigen Wärmeenergie.

Beispiel 2

Eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Arbeitsweise zeigt Figur 2. Durch Rohrleitung 1 werden 5640 Gewichtsteile pro Stunde entwässertes Rohcaprolactam mit einem Gehalt von 0,13 Ma.-% Natriumaminocapronat in den Rohrraum des Fallfilmverdampfers 2 eingespeist. Außerdem werden in den Rohrraum des Fallfilmverdampfers 2 stündlich 1260 Gewichtsteile Sumpfpunkt aus der Verstärkersäule 28 über Rohrleitung 34 zurückgeführt. Im Rohrraum des Fallfilmverdampfers 2 erfolgt eine Teilverdampfung des Caprolactams unter einem Druck von 0,8 kPa bei einer Temperatur von 125°C, gemessen im Rohrraumsumpf des Fallfilmverdampfers 2, wobei Dampf und Flüssigkeit im Gegenstrom geführt werden. Das nicht verdampfte Caprolactam wird in einer Menge von 42500 Gewichtsteilen pro Stunde über Rohrleitung 3 im Kreislauf geführt. Über Rohrleitung 4 werden 5300 Gewichtsteile pro Stunde des im Fallfilmverdampfer 2 nicht verdampften Caprolactams dem Rohrraum des Fallfilmverdampfers 5 zugeführt. Außerdem werden 1600 Gewichtsteile pro Stunde Caprolactamkondensat aus dem Mantelraum des Fallfilmverdampfers 2 über Rohrleitung 6 und 600 Gewichtsteile pro Stunde Caprolactamkondensat aus dem Kondensator 7 über Rohrleitung 8 in den Rohrraum des Fallfilmverdampfers 5 eingeleitet. Im Rohrraum des Fallfilmverdampfers 5 werden stündlich 4445 Gewichtsteile Caprolactam unter Gegenstromführung von Dampf und Flüssigkeit unter einem Druck von 1,7 kPa bei einer Temperatur von 140°C verdampft. Die erzeugten Caprolactamdämpfe werden über Rohrleitung 9 in den Mantelraum des Fallfilmverdampfers 2 geleitet. Von dem im Rohrraumsumpf des Fallfilmverdampfers 5 anfallenden Sumpfpunkt werden über Rohrleitung 10 stündlich 48000 Gewichtsteile im Kreislauf geführt und 3055 Gewichtsteile pro Stunde über Rohrleitung 11 in den Rohrraum des Fallfilmverdampfers 12 eingespeist. Der Fallfilmverdampfer 5 wird beheizt mit Wasserdampf von 1,0 MPa Druck, wobei die Heizdampfzuführung über Rohrleitung 13 und die Kondensatabführung über Rohrleitung 14 erfolgt. Der Heizdampfverbrauch beträgt 1480 Gewichtsteile pro Stunde. Von den 4445 Gewichtsteilen pro Stunde Caprolactamdämpfen, die über Rohrleitung 9 vom Fallfilmverdampfer 5 in den Mantelraum des Fallfilmverdampfers 2 eingeleitet werden, kondensieren bei Gegenstromführung von Dampf und Kondensat unter einem Druck von 1,25 kPa bei einer Temperatur von 133°C stündlich 1600 Gewichtsteile. Das anfallende Caprolactamkondensat wird über Rohrleitung 6 in den Rohrraum des Fallfilmverdampfers 5 zurückgeführt. Die nicht kondensierten Caprolactamdämpfe in einer Menge von 2845 Gewichtsteilen pro Stunde werden über Rohrleitung 15 in den Mantelraum des Fallfilmverdampfers 12 eingeleitet und in diesem bei Gegenstromführung von Dampf und Kondensat unter einem Druck von 1,0 kPa bei einer Temperatur von 129°C kondensiert. Die Kondensationswärme wird abgeführt durch Verdampfung des über Rohrleitung 11 dem Rohrraum des Fallfilmverdampfers 12 zugeführten Sumpfpunktes aus dem Fallfilmverdampfer 5. Die Verdampfung erfolgt unter einem Druck von 0,7 kPa bei einer Temperatur von 120°C bei Gegenstromführung von Dampf und Flüssigkeit. Das im Rohrraumsumpf anfallende Sumpfpunkt wird über Rohrleitung 16 in einer Menge von 48000 Gewichtsteilen pro Stunde im Kreislauf geführt. Aus dem Rohrraumsumpf des Fallfilmverdampfers 12 werden 360 Gewichtsteile pro Stunde mit hochsiedenden Verunreinigungen angereicherter Destillationsrückstand über Rohrleitung 17 abgezogen und in eine vorgelagerte Synthese- oder Reinigungsstufe des Caprolactamprozesses zurückgeführt. Die im Rohrraum des Fallfilmverdampfers 12 erzeugten Caprolactamdämpfe in einer Menge von 2695 Gewichtsteilen pro Stunde werden durch Rohrleitung 18 dem Kondensator 7 zugeführt und in diesem unter einem Druck von 0,5 kPa bei einer Temperatur von 114°C einer Teilkondensation unterworfen, wobei stündlich 600 Gewichtsteile Caprolactamkondensat anfallen, die über Rohrleitung 8 dem Rohrraum des Fallfilmverdampfers 5 zugeführt werden. Die im Kondensator 7 nicht kondensierten

Caprolactamdämpfe werden über Rohrleitung 19 dem Kondensator 20 zugeleitet und in diesem unter einem Druck von 0,4 kPa bei einer Temperatur von 108°C kondensiert, wobei 2085 Gewichtsteile pro Stunde reines Caprolactam erster Qualität erhalten werden, die über Rohrleitung 21 dem Sammelbehälter 22 für reines Caprolactam erster Qualität zugeführt werden. Von den 2845 Gewichtsteilen pro Stunde Caprolactamdämpfen, die im Mantelraum des Fallfilmverdampfers 12 einer weitestgehenden Kondensation unterworfen werden, kondensieren stündlich 2745 Gewichtsteile als reines Caprolactam erster Qualität, das über Rohrleitung 23 dem Sammelbehälter 22 zugeleitet wird. Die im Mantelraum des Fallfilmverdampfers 12 nicht kondensierten Caprolactamdämpfe in einer Menge von 100 Gewichtsteilen pro Stunde werden über Rohrleitung 29 der Verstärkersäule 28 zugeführt. Außerdem werden in die Verstärkersäule 28 stündlich 1 600 Gewichtsteile im Rohrraum des Fallfilmverdampfers 2 erzeugte Caprolactamdämpfe durch Rohrleitung 27 eingeleitet.

In der Verstärkersäule 28 erfolgt unter einem Druck von 0,5 kPa bei einer Temperatur von 114°C, gemessen im Sumpf der Verstärkersäule, die Anreicherung der leichtflüchtigen Verunreinigungen. Die die Verstärkersäule verlassenden Caprolactamdämpfe in einer Menge von 1 700 Gewichtsteilen pro Stunde werden über Rohrleitung 30 in den Kondensator 31 geleitet, in diesem niedergeschlagen und das Caprolactamkondensat in einer Menge von 1 260 Gewichtsteilen pro Stunde über Rohrleitung 32 als Rücklauf in die Verstärkersäule 28 zurückgeführt; die restlichen 430 Gewichtsteile pro Stunde Caprolactamkondensat werden durch Rohrleitung 33 als mit leichtflüchtigen Verunreinigungen angereicherte Fraktion abgezogen und in eine vorgelagerte Synthese- oder Reinigungsstufe des Caprolactamprozesses zurückgeführt. Das Sumpfprodukt der Verstärkersäule 28 wird in einer Menge von 1 260 Gewichtsteilen pro Stunde über Rohrleitung 34 in den Rohrraum des Fallfilmverdampfers 2 zurückgeführt. Die Dampfstrahler 35 und 36 dienen der Vakuumherzeugung. Mit den Drosselorganen 37 und 38 werden die für den Wärmeaustausch in den Fallfilmverdampfern 2 und 12 erforderlichen Druckdifferenzen eingestellt.

Die Ausbeute an reinem Caprolactam beträgt 4 830 Gewichtsteile pro Stunde (Rohrleitung 39), das sind 85,6 Ma.-%, bezogen auf den Einsatz an entwässertem Roh-Caprolactam (Rohrleitung 1). Der Heizdampfverbrauch bezogen auf das erzeugte reine Caprolactam beträgt 0,306 Gewichtsteile pro Gewichtsteil reines Caprolactam, das ist das 1,02fache der für eine einmalige Caprolactamverdampfung notwendigen Wärmeenergie. Der Reinigungseffekt wird durch die im folgenden aufgeführten Qualitätskennziffern (gemessen gemäß TGL 7430) der Einsatz- und Endprodukte verdeutlicht.

Stoffstrom	Permanganat-extinktionszahl	Gehalt an flüchtigen Basen	Extinktion bei 290 nm
Entwässertes Roh-Caprolactam 5640 Gewichtsteile/Stunde (Rohrleitung 1)	40,2	0,52 mVal/kg	0,72
Reines Caprolactam erster Qualität 4830 Gewichtsteile/Stunde (Rohrleitung 39)	90,5	0,138 mVal/kg	0,016
Mit leichtflüchtigen Verunreinigungen angereicherte Fraktion 430 Gewichtsteile/Stunde (Rohrleitung 33)	17,2	0,84 mVal/kg	0,36
Destillationsrückstand 360 Gewichtsteile/Stunde (Rohrleitung 17)	0	9,5 mVal/kg	8,1

Beispiel 3

Eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zeigt Figur 3. Durch Rohrleitung 1 werden stündlich 6400 Gewichtsteile entwässertes Rohcaprolactam mit einem Gehalt von 0,12 Ma.-% Natriumaminocapronat in den Rohrraum des Fallfilmverdampfers 2 eingespeist. Außerdem werden dem Rohrraum des Fallfilmverdampfers 2 stündlich 1320 Gewichtsteile Sumpfprodukt aus der Verstärkersäule 28 über Rohrleitung 34 zugeführt. Im Rohrraum des Fallfilmverdampfers 2 erfolgt eine Teilverdampfung des Caprolactams unter einem Druck von 1,3 kPa bei einer Temperatur von 135°C, wobei Dampf und Flüssigkeit im Gegenstrom geführt werden. Das nicht verdampfte Caprolactam wird in einer Menge von 44 000 Gewichtsteilen pro Stunde über Rohrleitung 3 im Kreislauf geführt. Das Sumpfprodukt wird in einer Menge von 6 220 Gewichtsteilen pro Stunde über Rohrleitung 4 in den Fallfilmverdampfer 5 eingeleitet. Außerdem werden dem Fallfilmverdampfer 5 stündlich 1 500 Gewichtsteile Caprolactamkondensat aus dem Mantelraum des Fallfilmverdampfers 2 über Rohrleitung 6 zugeführt. Im Rohrraum des Fallfilmverdampfers 5 werden stündlich 4 485 Gewichtsteile Caprolactam unter Gegenstromführung von Dampf und Flüssigkeit unter einem Druck von 1,7 kPa bei einer Temperatur von 140°C verdampft und die Caprolactamdämpfe über Rohrleitung 9 dem Mantelraum des Fallfilmverdampfers 2 zugeführt. Das im Rohrraumsumpf des Fallfilmverdampfers 5 anfallende Sumpfprodukt wird in einer Menge von 45 000 Gewichtsteilen pro Stunde über Rohrleitung 10 im Kreislauf geführt. 3 235 Gewichtsteile pro Stunde des Sumpfproduktes werden über Rohrleitung 11 in den Fallfilmverdampfer 12 eingeleitet. Der Fallfilmverdampfer 5 wird beheizt mit Wasserdampf von 1,0 MPa Druck, wobei die Heizdampfzuführung über Rohrleitung 13 und die Kondensatabführung über Rohrleitung 14 erfolgt. Der Heizdampfverbrauch beträgt 1 490 Gewichtsteile pro Stunde. Von den 4 485 Gewichtsteilen pro Stunde Caprolactamdampf, die über Rohrleitung 9 in den Mantelraum des Fallfilmverdampfers 2 eingeleitet werden, kondensieren unter einem Druck von 0,9 kPa bei einer Temperatur von 128°C stündlich 1 500 Gewichtsteile. 2 985 Gewichtsteile pro Stunde Caprolactamdämpfe verlassen den Fallfilmverdampfer 2 und werden über Rohrleitung 15 dem Mantelraum des Fallfilmverdampfers 12 zugeführt. Das im Mantelraum des Fallfilmverdampfers 2 anfallende Teilkondensat wird dem Fallfilmverdampfer 5 zugeführt. Wie in den Mantelraum des Fallfilmverdampfers 12 eingeleiteten Caprolactamdämpfe werden unter einem Druck von 1,0 kPa bei einer Temperatur von 130°C unter Gegenstromführung von Kondensat und Dampf kondensiert. Die Kondensationswärme wird dabei abgeführt durch Verdampfung des über Rohrleitung 11 dem Rohrraum des Fallfilmverdampfers 12 zugeführten Sumpfproduktes aus dem Fallfilmverdampfer 5. Die Verdampfung erfolgt unter einem Druck von 0,7 kPa bei einer Temperatur von 120°C. Das anfallende Sumpfprodukt wird über Rohrleitung 16 in einer Menge von 44 500 Gewichtsteilen pro Stunde im Kreislauf geführt.

350 Gewichtsteile pro Stunde des Sumpfproduktes werden als Destillationsrückstand über Rohrleitung 17 abgezogen und in eine vorgelagerte Synthese- oder Reinigungsstufe des Caprolactamprozesses zurückgeführt. Die im Rohrraum des Fallfilmverdampfers 12 in einer Menge von 2885 Gewichtsteilen pro Stunde erzeugten Caprolactamdämpfe werden über Rohrleitung 18 dem Kondensator 7 zugeführt und in diesem unter einem Druck von 0,55 kPa bei einer Temperatur von 116°C einer Teilkondensation unterworfen, wobei stündlich 864 Gewichtsteile Caprolactamkondensat anfallen, die als reines Caprolactam zweiter Qualität über Rohrleitung 8 abgezogen werden. Die im Kondensator 7 nicht kondensierten Caprolactamdämpfe werden über Rohrleitung 19 in den Kondensator 20 eingeleitet und in diesem unter einem Druck von 0,4 kPa kondensiert, wobei 2010 Gewichtsteile pro Stunde reines Caprolactam erster Qualität erhalten werden, das über Rohrleitung 21 in den Sammelbehälter 22 für reines Caprolactam erster Qualität geleitet wird. Von den 2985 Gewichtsteilen pro Stunde Caprolactamdämpfen, die im Mantelraum des Fallfilmverdampfers 12 einer weitestgehenden Kondensation unterworfen werden, kondensieren stündlich 2885 Gewichtsteile als reines Caprolactam erster Qualität, das über Rohrleitung 23 dem Sammelbehälter 22 zugeleitet wird. Die im Mantelraum des Fallfilmverdampfers 12 nicht kondensierten Caprolactamdämpfe, in einer Menge von 100 Gewichtsteilen pro Stunde, werden über Rohrleitung 29 der Verstärkersäule 28 zugeführt. Außerdem werden der Verstärkersäule 28 stündlich 1500 Gewichtsteile im Rohrraum des Fallfilmverdampfers 2 erzeugte Caprolactamdämpfe durch Rohrleitung 27 zugeführt. In der Verstärkersäule 28 erfolgt unter einem Druck von 0,5 kPa bei einer Temperatur von 114°C die Anreicherung der leichtflüchtigen Verunreinigungen. Die die Verstärkersäule 28 verlassenden Caprolactamdämpfe in einer Menge von 1600 Gewichtsteilen pro Stunde werden über Rohrleitung 30 dem Kondensator 31 zugeleitet, in diesem kondensiert und das Caprolactamkondensat in einer Menge von 1320 Gewichtsteilen pro Stunde über Rohrleitung 32 als Rücklauf in die Verstärkersäule 28 zurückgeführt; die restlichen 270 Gewichtsteile pro Stunde Caprolactamkondensat werden durch Rohrleitung 33 als mit leichtflüchtigen Verunreinigungen angereicherte Fraktion abgezogen und in eine vorgelagerte Synthese- oder Reinigungsstufe des Caprolactamprozesses zurückgeführt. Das Sumpfprodukt der Verstärkersäule 28 wird in einer Menge von 1320 Gewichtsteilen pro Stunde über Rohrleitung 34 in den Rohrraum des Fallfilmverdampfers 2 eingeleitet.

Die Dämpfstrahler 35 und 36 dienen der Vakuumherzeugung. Mit den Drosselorganen 37 und 38 werden die für den Wärmeaustausch in den Fallfilmverdampfern 2 und 12 erforderlichen Druckdifferenzen eingestellt. Die Ausbeute an reinem Caprolactam beträgt 5759 Gewichtsteile pro Stunde (Rohrleitung 8 und 39), das sind 90,0 Ma.-% bezogen auf den Einsatz an entwässertem Rohcaprolactam (Rohrleitung 1). Der Heizdampfverbrauch beträgt 0,26 Gewichtsteile pro Gewichtsteil reines Caprolactam, das ist das 0,87fache der für eine einmalige Caprolactamverdampfung notwendigen Wärmeenergie. Der Reinigungseffekt wird durch die im folgenden aufgeführten Qualitätskennziffern (gemessen gemäß TGL 7430) der Einsatz- und Endprodukte demonstriert.

Stoffstrom	Permanganat-Extinktionszahl	Gehalt an flüchtigen Basen	Extinktion bei 290 nm
Entwässertes Roh-Caprolactam			
6400 Gewichtsteile/Stunde (Rohrleitung 1)	41,2	0,50 mVal/kg	0,79
Reines Caprolactam erster Qualität			
4895 Gewichtsteile/Stunde (Rohrleitung 39)	89,9	0,140 mVal/kg	0,014
Reines Caprolactam zweiter Qualität			
864 Gewichtsteile/Stunde (Rohrleitung 8)	78,4	0,35 mVal/kg	0,055
Mit leichtflüchtigen Verunreinigungen angereicherte Fraktion			
270 Gewichtsteile/Stunde (Rohrleitung 33)	13,6	0,92 mVal/kg	0,44
Destillationsrückstand			
350 Gewichtsteile/Stunde (Rohrleitung 17)	0	9,2 mVal/kg	8,7

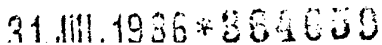


FIG. 2 is a schematic diagram of a process system. It features three vertical columns: column 1 (left), column 2 (middle), and column 3 (right). Column 1 has inlet 1 and outlet 34, with internal sections 2 and 3. Column 2 has inlet 15 and outlet 17, with internal sections 12 and 16. Column 3 has inlet 10 and outlet 14, with internal sections 5 and 13. Flow streams are labeled with numbers: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39. The system includes two pumps (7 and 20) and a storage tank (22). A complex network of pipes connects these components, with some lines featuring break symbols (double parallel lines). For example, stream 34 enters column 1, and stream 30 enters column 2. Stream 18 goes from column 2 to pump 7, and stream 19 goes from pump 7 to pump 20. Stream 21 goes from pump 20 to tank 22. Stream 39 exits tank 22. Stream 31 is a recirculation loop from column 2 back to column 1 via pump 31 and lines 32 and 33.

FIG.3

