



Ausschliessungspatent

ISSN 0433-6461

(11)

0153 357

Erteilt gemäß § 5 Absatz 1 des Änderungsgesetzes zum Patentgesetz

Int.Cl.³

3(51) C 01 D 7/00

C 01 B 7/01

MT FUER ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(1) AP C 01 D/ 224 297
 (1) P2940614.2-41;P3031252.8

(22) 02.10.80
 (32) 06.10.79;19.08.80

(44) 06.01.82
 (33) DE;DE

- (1) CHEMISCHE WERKE HUELS AKTIENGESELLSCHAFT;DE;
 (2) COENEN, ALFRED,DR.;KOSSWIG, KURT,DR.;VON PRAUN, FERDINAND,DR.;REGNER, HANS,DR.;DE;
 (3) CHEMISCHE WERKE HUELS AKTIENGESELLSCHAFT;DE;
 (4) INTERNATIONALES PATENTBUERO BERLIN, 1020 BERLIN, WALLSTR. 23/24

14) VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON NATRIUMHYDROGENCARBONAT UND CHLORWASSERSTOFF

17) Verfahren zur Herstellung von Natriumhydrogencarbonat und Chlorwasserstoff durch Umsetzung einer waessrigen Natriumchloridloesung mit Kohlendioxid in Gegenwart eines Amins sowie eines organischen Loesemittels, wobei man in eine Mischung, die im wesentlichen eine waessrige Natriumchloridloesung, ein tertiaeres Amin und ein polares organisches Loesemittel enthaelt, Kohlendioxid einleitet, die anfallenden Phasen trennt, die vom ausgefallenen Natriumhydrogencarbonat befreite waessrige Phase nach Aufkonzentration mit Natriumchlorid wieder der Carbonisierung uefuehrt, die organische (n) Phase (n) vom polaren organischen Loesemittel und gegebenenfalls vom Wasser soweit wie moeglich und/oder erforderlich befreit, den ein unpolares Loesemittel enthaltenden Rueckstand erhitzt und den Chlorwasserstoff abzieht. Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, ein wirtschaftliches und umweltfreundliches Verfahren zur Herstellung von Natriumhydrogencarbonat und Chlorwasserstoff aus Natriumchlorid und Kohlensaure zu entwickeln, das es zudem gestattet, den Chlorwasserstoff unter milderen und technisch einfacheren Bedingungen als nach einem bekannten Verfahren und darueber hinaus gegebenenfalls in wasserfreier Form zu gewinnen.

224 297 -1-

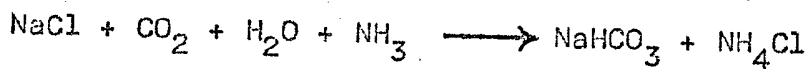
Verfahren zur Herstellung von Natriumhydrogencarbonat
und Chlorwasserstoff

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Natriumhydrogencarbonat und Chlorwasserstoff durch Umsetzung einer wäßrigen Natriumchloridlösung mit Kohlendioxid in Gegenwart eines Amins sowie eines organischen Lösemittels.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Ein Großteil der Weltsodaerzeugung erfolgt durch Calcinieren von Natriumhydrogencarbonat, das beim Ammoniaksoda-Verfahren als Zwischenprodukt nach der Gleichung



neben Ammoniumchlorid anfällt. Aus der letztgenannten Verbindung wird das Ammoniak im allgemeinen durch Behandlung mit gebranntem Kalk zurückgenommen. Hierbei fallen dann große Mengen von Calciumchlorid an, die gemeinsam mit dem nichtumgesetzten Natriumchlorid als Ablauge in die Vorfluter gegeben werden. Der Nachteil des Ammoniaksoda-Verfahrens besteht somit im wesentlichen darin, daß das gesamte Chlor des umgesetzten Natriumchlorids in Form des wertlosen Calciumchlorids ebenso wie das nichtumgesetzte Natriumchlorid verlorenght.

Ähnlich wie beim Ammoniaksoda-Verfahren geht auch bei dem

224 297

22. 9. 1980

57 967 13

- 2 -

Verfahren der GB-PS 1 082436, nach dem u. a. Alkalicarbonat aus Alkalichloriden und Kohlensäure in Gegenwart eines in einem organischen Lösemittel gelösten stark basischenamins hergestellt werden können, das eingesetzte Chlor verloren. Aus dem jeweils gebildeten Aminhydrochlorid wird nämlich nur das Amin durch eine Behandlung der organischen Phase mit einem alkalisch wirkenden Reagens zwecks Rückführung in den Prozeß gewonnen.

Aus der IL-PS 33 552 ist es bekannt, Natriumhydrogencarbonat und Chlorwasserstoff in Abänderung des Ammoniak-soda-Verfahrens dadurch herzustellen, daß man zunächst eine heterogene Mischung aus einem in einem polaren organischen Lösemittel gelösten Amin und einer Natriumchloridsole mit Kohlendioxid begast. Aus der wäßrigen Phase fällt das Natriumhydrogencarbonat aus, das entstehende Aminhydrochlorid bleibt in der organischen Phase gelöst und wird abgetrennt. Das Amin wird sodann aus seinem Hydrochlorid durch Behandeln mit wäßrigem Magnesiumhydroxid regeneriert, das erhaltene wäßrige Magnesiumchlorid bei Temperaturen bis ca. 500 °C unter Bildung von Magnesiumoxid, Magnesiumoxichlorid und Chlorwasserstoff zerlegt. Der Chlorwasserstoff fällt hierbei allerdings verfahrensbedingt nicht ausschließlich wasserfrei an, so daß er nur einer begrenzten technischen Verwertung zugeführt werden kann. Ein weiterer Nachteil dieses Verfahrens sind die bei der Chlorwasserstoffgewinnung erforderlichen Temperaturen und die damit verbundene verstärkte Korrosionsgefahr sowie der Einsatz von Magnesiumsalzen als zusätzliche Hilfsstoffe.

Ziel der Erfindung

Ziel der vorliegenden Erfindung war es daher, ein wirt-

- 2 -

schaftliches und umweltfreundliches Verfahren zur Herstellung von Natriumhydrogencarbonat und Chlorwasserstoff aus Natriumchlorid und Kohlensäure zu entwickeln, das es zudem gestattet, den Chlorwasserstoff unter mildereren und technisch einfacheren Bedingungen als nach dem Verfahren der IL-PS 33 552 und darüber hinaus gegebenenfalls in wasserfreier Form zu gewinnen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung von Natriumhydrogencarbonat und Chlorwasserstoff zur Verfügung zu stellen.

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß

1. in eine Mischung, die im wesentlichen 1.1 eine wäßrige Natriumchloridlösung, 1.2 ein tertiäres Amin und 1.3 ein polares organisches Lösemittel enthält, Kohlendioxid eingeleitet wird,
2. die anfallenden Phasen getrennt werden,
3. die vom ausgefällten Natriumhydrogencarbonat befreite wäßrige Phase nach Aufkonzentrierung mit Natriumchlorid wieder der Verfahrensstufe 1. (Carbonisierung) zugeführt wird,
4. die organische(n) Phase(n) vom polaren organischen Lösemittel und gegebenenfalls vom Wasser soweit wie möglich und/oder erforderlich befreit wird(werden),
5. der ein unpolares Lösemittel enthaltende Rückstand erhitzt und den Chlorwasserstoff abgezogen wird.

- 4 -

Das Verfahren ist weiter dadurch gekennzeichnet, daß man als tertiäres Amin (1.2) ein N-Alkyl-azacycloalkan mit insgesamt mindestens 14 Kohlenstoffatomen der allgemeinen Formel



einsetzt, in der n eine ganze Zahl von 4 bis 12 sein kann, R für eine Alkylgruppe mit maximal 18 Kohlenstoffatomen steht und die Methylengruppen ggf. durch Alkylgruppen mit maximal 6 Kohlenstoffatomen in der Summe der Alkylgruppen substituiert sind.

Man geht dabei in der Verfahrensstufe 1, die im nachfolgenden auch als Carbonisierungsstufe bezeichnet wird, von einer Mischung aus, die im wesentlichen eine wäßrige Natriumchloridlösung, ein tertiäres Amin, ein polares organisches Lösemittel und gegebenenfalls ein unpolares Lösemittel enthält. Weitere Bestandteile können z. B. gewisse Mengen gelöstes und ungelöstes Natriumhydrogencarbonat, ungelöstes Natriumchlorid und aktive (die Zersetzung von tertiärem Amin bewirkende) sowie inaktive Abbauprodukte der Amine sein.

Als Amine werden einzeln oder im Gemisch solche verwendet, bei denen sich die Basizität so einstellen läßt, daß sie sowohl in der Carbonisierungsstufe Hydrochloride bilden, als auch in der Thermolysestufe (Verfahrensstufe 5) mit ausreichender Geschwindigkeit möglichst vollständig Chlorwasserstoff abspalten, wobei zur Vermeidung von Aminzerersetzung keine zu hohe Temperatur ($> 300^\circ\text{C}$) erforderlich sein darf. Es zeigte sich, daß diese Voraussetzungen im

- 5 -

allgemeinen einmal von tertiären nichtaromatischen Aminen, die in der Summe der stickstoffgebundenen Liganden 14 bis 39 Kohlenstoffatome enthalten, wobei alle Seitenketten unverzweigte primär sein können, davon jedoch höchstens eine Methylgruppe vorhanden sein darf, oder wobei die unverzweigten primären Seitenketten ganz oder teilweise durch verzweigte primäre ersetzt sein können unter der Voraussetzung, daß die Verzweigungsstelle mindestens 3 Kohlenstoffatome vom zentralen Stickstoffatom entfernt liegt, oder wobei zwei der Seitenketten verzweigt primär mit der Verzweigung in 2-Stellung sein können und die dritte Seitenkette unverzweigt primär ist, oder wobei eine Seitenkette verzweigt primär mit der Verzweigung in 2-Stellung sein kann, während die anderen Seitenketten entweder beide unverzweigt primär oder nur eine unverzweigt primär und die andere unverzweigt sekundär oder alicyclisch sein können, oder wobei zwei der unverzweigt primären Seitenketten durch Cyclohexylgruppen ersetzt sein können, und zum anderen von Gemischen anderer tertiärer nichtaromatischer Amine mit 14 bis 39 Kohlenstoffatomen, in denen die oben definierten Amine gewichtsmäßig überwiegen, erfüllt werden.

Geeignete Amine sind beispielsweise Trihexylamin, Trioctylamin, Trilaurylamin, Tri-(3,5,5-trimethylhexyl)-amin, Tri-(3,5,5-trimethyloctyl)-amin, Tri-(3,5,5-trimethyldecyl)-amin, N-Octyl-di-(2-ethylhexyl)-amin, N,N-Dioctyl-(2-ethylhexyl)-amin, N-Octyl-N-(4-heptyl)-2-ethylhexylamin, N-Octyl-N-(4-heptyl)-cyclohexylamin, N-Octyl-N-(2-ethylhexyl)-cyclohexylamin, N-Octyl-dicyclohexylamin und N-Hexadecyldicyclohexylamin.

- 6 -

- 6 -

In Weiterbildung dieses Verfahrens wurde nun gefunden, daß man als tertiäre Amine auch N-Alkyl-azacycloalkane mit insgesamt mindestens 14 Kohlenstoffatomen verwenden kann. Die allgemeine Formel für solche Amine lautet



wobei n eine ganze Zahl von 4 bis 12 bedeutet, R für eine Alkylgruppe mit maximal 18 Kohlenstoffatomen steht und die Methylengruppen ggf. durch Alkylgruppen mit maximal 6 Kohlenstoffatomen in der Summe der Alkylgruppen substituiert sind.

Geeignete N-Alkyl-azacycloalkane sind beispielsweise N-Dodecyl-pyrrolidin, N-Hexadecyl-pyrrolidin, N-Octadecyl-pyrrolidin, N-Dodecyl-piperidin, N-Tetradecyl-piperidin, N-Hexadecyl-piperidin, N-Octadecyl-piperidin, N-Octyl-azacycloheptan, N-Dodecyl-azacycloheptan, N-Octadecyl-azacycloheptan, N-Octyl-3,3,5-trimethyl-azacycloheptan, N-Octyl-3,5,5-trimethylazacycloheptan, N-Dodecyl-3,3,5-trimethylazacycloheptan, N-Dodecyl-3,5,5-trimethylazacycloheptan, N-Octadecyl-3,3,5-trimethylazacycloheptan, N-Octadecyl-3,5,5-trimethylazacycloheptan, N-Octyl-azacyclononan, N-Dodecyl-azacyclononan, N-Octadecyl-azacyclononan, N-Hexyl-azacyclotridecan, N-Octyl-azacyclotridecan, N-Dodecyl-azacyclotridecan und N-Octadecyl-azacyclotridecan.

Es ist durchaus möglich, daß auch noch andere, nicht unter die Abgrenzung fallende Amine in Kombination mit ausgewählten polaren organischen Lösemitteln beim erfindungs-

gemäßen Verfahren eingesetzt werden können. Zum Beispiel gelingt die Carbonisierungsreaktion auch mit Tri-2-ethylhexylamin und Tricyclohexylamin unter anderem mit Phenol, 2,2,2-Trichlorethanol und 2,2,2-Trifluorethanol als polare organische Lösemittel. Die genannten Amine sind daher zwar als typisch, aber weder als optimal noch als begrenzend aufzufassen.

Die polaren organischen Lösemittel, die beim erfindungsgemäßen Verfahren allein oder im Gemisch eingesetzt werden, sind im allgemeinen durch ein Dipolmoment $\mu > 0$ (vgl. Landolt-Börnstein, Physikalisch-chemische Tabellen, 5. Auflage, 2. Ergänzungsband (1931), S. 74 bis 76) charakterisiert. Besonders bevorzugt sind polare organische Lösemittel mit einem Dipolmoment $\mu > 0,7$ debeyer. Daneben sollen sie die Fähigkeit besitzen, einen positiven Effekt auf die Aminhydrochloridbildung ausüben zu können. D. h., das polare organische Lösemittel muß in erster Linie so mit dem eingesetzten Amin und der gesamten Verfahrensführung abgestimmt sein, daß in der Verfahrensstufe 1 das Aminhydrochlorid in genügend großer Ausbeute gebildet wird. Weiterhin ist das polare organische Lösemittel so zu wählen, daß es im weiteren Verlauf des Verfahrens, d. h. vor der Spaltung des Aminhydrochlorids auf möglichst einfache und wirtschaftliche Weise aus der(n) organischen Phase(n) entfernt werden kann.

Geeignete polare organische Verbindungen aus den verschiedensten Verbindungsklassen (Alkohole, Ester, Ether, Amide, Aldehyde, Ketone, substituierte Alkane, substituierte Aromaten u. a.) sind beispielsweise Methanol, Ethanol, Propanole, Butanole, Pentanole, 2-Ethylhexanol, Decanol, Cyclohexanol, 1,4-Bis-(hydroximethyl)-cyclohexan, 2,2,2-

Trichlorethanol, 2,2,2-Trifluorethanol, Ethylenchlorhydrin, Propylenchlorhydrin, Furfurylalkohol, Glykole, wie z. B. Neopentylglykol, Ethylacetat, Diisobutylether, Dioxan, Tetrahydrofuran, Ethylenglykolmonobutylether, Diethylenglykolmonobutylether, N,N-Dimethylformamid, N,N-Dimethylacetamid, Aceton, Acetylaceton, Heptanon-(4), Cyclohexanon, 1,2-Dichlorethyn, Nitromethan, Nitrobenzol, Benzotrinitril, Phenol, Kresole und Xylenole. Vor allem bei der Anwendung der bevorzugten Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die aliphatischen Alkohole mit 3 oder 4 Kohlenstoffatomen, wie z. B. n-Propanol, Isopropanol, n-Butanol, Isobutanol, sek.-Butanol, tert.-Butanol, Buten-(1)-ol-(3) und Buten-(2)-ol(1), cycloaliphatische Alkohole, wie z. B. Cyclopentanol und Cyclohexanol, 1,4-Bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan, Chloralkohole, wie z. B. Ethylenchlorhydrin und Propylenchlorhydrin, araliphatische Alkohole, wie z. B. Furfurylalkohol, Glykole, wie z. B. Ethylenglykol, Neopentylglykol, Ester, wie z. B. Propylencarbonat, Ether, wie z. B. Ethylenglykolmonomethylether, Ethylenglykolmonobutylether, Diethylenglykolmonobutylether, Dioxan, und Tetrahydrofuran, Amide, wie z. B. Formamid, N,N-Dimethylacetamid und Hexamethylphosphorsäuretriamid, Aldehyde, wie z. B. Furfurol, Ketone, wie z. B. Aceton, Acetylaceton und Cyclohexanon, Phenol und Dimethylsulfoxid, als polare organische Lösemittel besonders bevorzugt.

Neben dem in der Verfahrensstufe 1 verfahrenskritischen polaren organischen Lösemittel kann in der Carbonisierungsstufe des erfindungsgemäßen Verfahrens auch bereits ein solches unpolares Lösemittel oder Lösemittelgemisch eingesetzt werden, das im späteren Verlauf des Verfahrens auf jeden Fall vor der Aminhydrochloridspaltung zugegeben werden müßte. Geeignete unpolare Lösemittel aus der Gruppe

der aromatischen, araliphatischen und aliphatischen Kohlenwasserstoffe, die im allgemeinen einen Siedepunkt über 140°C , vorzugsweise über 170°C , haben sollen und die unter den gegebenen Reaktionsbedingungen gegen Wasser, Chlorwasserstoff, Amine und Temperaturbelastung inert bzw. weitgehend inert sind, sind beispielsweise Cymole, 1,2,3-Trimethylbenzol, 1,2,4-Trimethylbenzol, 1,2,4-Triethylbenzol, 1,3,5-Triethylbenzol, 1,2,3,4-Tetramethylbenzol, 1,2,3,5-Tetramethylbenzol, 5-tert.-Butyl-m-xylol, 3-Phenylpentan, Dodecylbenzol, Decan, Undecan, Dodecan, Tetradecan, Decalin und Tetralin. Es können auch polare organische Lösemittel anstelle der unpolaren Lösemittel eingesetzt werden, wenn sie ebenfalls über 140°C sieden und unter den Thermolysebedingungen gegen Wasser, Chlorwasserstoff, Amine und Temperaturbelastung inert bzw. weitgehend inert sind. Beispielhaft seien genannt: Diphenylether, Dinaphthylether, Phenyl-naphthylether, o-,m-Dichlorbenzol. Der Begriff "unpolares Lösemittel" umfaßt demnach stets auch die Gruppe dieser speziellen polaren Lösemittel.

Zur Erzielung optimaler Umsätze in der Verfahrensstufe 1 ist es zweckmäßig, die Natriumchloridlösung möglichst in gesättigter Form einzusetzen und während der Reaktion eine merkliche Abnahme der Konzentration zu verhindern. Das Mengenverhältnis (Verhältnis der Gewichtsmengen) der eingesetzten organischen Phase(n), bestehend aus Amin, polarem und unpolarem organischem Lösemittel zur wäßrigen Natriumchloridlösung wird auf der einen Seite beschränkt durch die Ausbeuteminderung infolge der Abnahme der Natriumchloridkonzentration durch die Reaktion und auf der anderen Seite durch den vorhandenen, wenn auch sehr geringen Austrag von Amin durch die Sole. Ersteres läßt sich z. B. durch Zugabe von festem Natriumchlorid zum Reak-

224 297

22. 9. 1980

57 967 13

- 10 -

tionsgefäß vermeiden, während ein Aminverlust durch eine Kreisfahrweise der Sole über einen NaCl-Sättiger verhindert wird. Im allgemeinen liegt ein günstiges Mengenverhältnis der organischen Phase(n) zur Sole bei 6 : 1 bis 0,5 : 1, vorzugsweise 4 : 1 bis 1 : 1 .

Das gewichtsmäßige Verhältnis zwischen dem polaren organischen Lösemittel bzw. der Mischung aus polarem und unpolarem organischem Lösemittel und dem Amin kann bei dem vorliegenden Verfahren in den Grenzen von 10 : 1 bis 0,2 : 1, vorzugsweise von 5 : 1 bis 0,5 : 1, variiert werden. Die Zusammensetzung einer gegebenenfalls eingesetzten Lösemittelmischung, bestehend aus polarem und unpolarem organischem Lösemittel, richtet sich einmal nach der erwünschten Höhe des Umsatzes in der Carbonisierungsstufe, zum anderen danach, wieviel unpolares Lösemittel am Ausgang der Verfahrensstufe 5 (Thermolysestufe vorliegen soll. So kannes beispielsweise zweckmäßig sein, im Sumpf der Spaltkolonne eine gewisse Konzentration an unpolarem Lösemittel einzustellen, um eine zu hohe thermische Belastung des Amins zu vermeiden. Dasselbe Ziel erreicht man jedoch auch durch Hydrochloridspaltung im Vakuum, wobei keine nennenswerten Lösemittelmengen im Sumpf der Spaltkolonne zugegen sein müssen. Durch einige orientierende Versuche kann vom Fachmann leicht ermittelt werden, welche Zusammensetzung der Lösemittelmischung im speziellen Fall am besten geeignet ist. Es ist allerdings zweckmäßig, wenn das unpolare das polare organische Lösemittel mengenmäßig nicht übersteigt. Verwendet man beispielsweise Trioctylamin als Amin in einer Lösemittelmischung aus Isopropanol und Dodecan, so lassen sich gute Umsätze erzielen, wenn man in der genannten Reihenfolge ein gewichtsmäßiges Verhältnis von 1 : 1 : 1, besser noch

- 11 -

- 11 -

von 1 : 1 : 0,5 oder 1 : 2 : 0,5, einstellt.

Bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geht man im allgemeinen so vor, daß man in die Mischung, die im wesentlichen eine wäßrige Natriumchloridlösung, ein wasserunlösliches Amin, ein polares organisches Lösemittel und gegebenenfalls ein unpolares Lösemittel enthält, eine gewisse Zeit lang Kohlendioxid einleitet.

Art und Menge der Bestandteile der organischen Phase(n) werden dabei in einem oder mehreren orientierenden Vorversuchen festgelegt. Während und gegebenenfalls auch noch eine Zeit lang nach der Einleitung von Kohlendioxid ist dafür zu sorgen, daß eine gute gegenseitige Durchmischung der einzelnen Phasen, z. B. mit Hilfe eines Rührwerks oder eines intensiven Gasstroms, stattfindet. Zur Verbesserung der Ausbeute ist es zweckmäßig, in der Carbonisierungsstufe bei Temperaturen unter 25 °C zu arbeiten, wobei die untere Temperaturgrenze durch den Taupunkt des Kohlendioxids, durch das Auskristallisieren von Lösemittel, Amin oder Aminhydrochlorid gegeben ist.

Im allgemeinen wird das erfindungsgemäße Verfahren in der Verfahrensstufe 1 drucklos betrieben; es ist jedoch auch möglich, unter Druck, vorzugsweise unter CO₂-Druck zu arbeiten. Dabei sollte der Druck so gewählt werden, daß der Taupunkt des Kohlendioxids nicht erreicht wird.

Beim Einsatz eines unpolaren Lösemittels kann es je nach Art des polaren organischen Lösemittels und nach der Höhe des Umsatzes vorkommen, daß sich auch zwei organische Phasen ausbilden, die dann in der Verfahrensstufe 2 gemeinsam von den übrigen Phasen (wäßrige Phase, festes

Natriumhydrogencarbonat und Gasphase) abgetrennt werden.

Im allgemeinen erfolgt die Phasentrennung so, daß man die Reaktionsmischung in eine geeignete Vorrichtung einführt, das gegebenenfalls Inertgase (Stickstoff, Argon) enthaltende Kohlendioxid am Kopf und die Aufschlämmung von Natriumhydrogencarbonat in der sogenannten Armsole im unteren Teil der Trennvorrichtung abzieht. Zurück bleibt die organische Phase, die im wesentlichen aus Aminhydrochlorid, Amin, polarem organischem Lösemittel und gegebenenfalls unpolarem Lösemittel besteht.

Während das abgezogene Kohlendioxid direkt in die Verfahrensstufe 1 zurückgeführt wird, geschieht dies mit der nach bekannten Trennverfahren (Filtrieren, Zentrifugieren) vom festen Natriumhydrogencarbonat befreiten wäßrigen Phase erst nach einer Aufkonzentrierung mit Natriumchlorid (Verfahrensstufe 3). Das zunächst noch feuchte Natriumhydrogencarbonat wird gegebenenfalls nach gewissen Reinigungsoperationen entweder durch eine schonende Trocknung von anhaftendem Wasser befreit oder calciniert, wobei das Wasser zusammen mit der abgespalteten Kohlensäure entfernt und im allgemeinen der Carbonisierungsstufe zugeführt wird.

In der Verfahrensstufe 4 wird sodann die organische Phase von dem polaren organischen Lösemittel und gegebenenfalls auch von dem vorhandenen Wasser durch z. B. Extraktion und/oder Destillation soweit wie möglich und/oder erforderlich befreit. Die Entfernung des Wassers ist nur dann erforderlich, wenn bei der folgenden Aminhydrochloridsplaltung ausschließlich gasförmiger Chlorwasserstoff erhalten werden soll.

Bevor der aus der Verfahrensstufe 4 kommende Rückstand zwecks Abspaltung von Chlorwasserstoff aus dem Aminhydrochlorid erhitzt wird (Verfahrensstufe 5), ist dafür Sorge zu tragen, daß ihm die erforderliche Menge eines geeigneten unpolaren Lösemittels zugesetzt wird, sofern diese nicht schon in der Verfahrensstufe 1 oder einer späteren Verfahrensstufe zugegeben wurde. Im allgemeinen werden 5 bis 0,1 Gewichtsteile, vorzugsweise 3 bis 0,2 Gewichtsteile, unpolares Lösemittel pro Gewichtsteil Amin (Summe aus freiem und als Hydrochlorid gebundenem Amin) eingesetzt. Bei der Durchführung der thermischen Zerlegung des Aminhydrochlorids kann man z. B. so vorgehen, wie es in der DE-PS 26 33 640 oder in der DE-OS 28 05 933 beschrieben ist. Gemäß dem Verfahren der DE-PS 26 33 640 wird dabei die gegebenenfalls noch freies Amin enthaltende Lösung des Aminhydrochlorids in einem mit einer Kolonne versehenen Behälter zum Sieden gebracht, wobei es erforderlich ist, daß das Lösemittel 20 oder mehr °C niedriger als das Amin siedet. Am Kopf der Kolonne werden die vornehmlich aus dem Lösemittel bestehenden Brüden auf übliche Weise kondensiert und der Kolonne als Rückfluß wieder zugeführt, wobei der in den Brüden enthaltene und vom kondensierten Lösemittel nichtgelöste Chlorwasserstoff zugleich aus der Kondensationszone entweicht. Zur Beschleunigung der Chlorwasserstoff-Bildung kann der abgespaltene Chlorwasserstoff hinter dem Kondensator auf minderen Druck entspannt oder mit Hilfe eines Inertgasstroms ausgetragen werden. Als Inertgase kommen Stickstoff, ferner unter den vorherrschenden Bedingungen gasförmige Stoffe, wie z. B. Ethylen, in Frage, die in einer nachfolgenden Stufe mit Chlorwasserstoff umgesetzt werden sollen.

Nach dem Verfahren der DE-OS 28 05 933 wird der Chlorwas-

- 14 -

serstoff aus dem Aminhydrochlorid dadurch gewonnen, daß man dieses in dem unpolaren Lösemittel auf 100 bis 250 °C unter Durchleiten eines inerten Gasstroms auf 100 bis 250 °C erhitzt. Die innerhalb dieses Temperaturbereiches günstige Temperatur ist von der Art und Menge sowohl desamins wie des unpolaren Lösemittels abhängig. Es ist vorteilhaft, wenn das unpolare Lösemittel bei der Spalttemperatur einen relativ niedrigen Dampfdruck hat, d. h., sein Siedepunkt soll mindestens 20 °C über der Spalttemperatur liegen, um den Austrag als Dampf im Inertgasstrom möglichst niedrig zu halten.

Aus dem Chlorwasserstoff-Inertgas-Gemisch kann der Chlorwasserstoff leicht auf bekannte Art, z. B. Adsorption, rein hergestellt werden, jedoch ist dies je nach Verwendungszweck des Chlorwasserstoffs nicht in allen Fällen erforderlich. Verwendet man z. B. als Trägergas Ethylen, dann kann das erhaltene Gasgemisch direkt zur Synthese von Chlorethanen eingesetzt werden.

Eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß man bereits kleine Mengen von Verunreinigungen, wie z. B. primäre und sekundäre Amine, die vor allem durch die thermische Beanspruchung der Mischung aus tertiärem Amin und unpolarem Lösemittel entstehen, aus dem Sumpf der Verfahrensstufe 5 entfernt, bevor man ihn wieder an geeigneter Stelle in das Verfahren einbringt.

Die Abtrennung der unerwünschten Verunreinigungen kann z. B. so erfolgen, wie es in den deutschen Patentanmeldungen P 28 34 252.1 und P 29 21 916.7 beschrieben wird.

- 15 -

Im Falle des Verfahrens der deutschen Patentanmeldung P 28 34 252.1 wird dabei das Gemisch aus Amin, Lösemittel und gegebenenfalls Verunreinigungen ganz oder teilweise über ein Adsorptionsmittel, z. B. Aluminiumoxid, Kieselgel oder silanisieretes Kieselgel, geleitet. Bei dem Verfahren der deutschen Patentanmeldung P 29 21 916.7 inaktiviert man dagegen die gebildeten primären und sekundären Amine durch Reaktion mit Carbonsäurechloriden.

Eine weitere bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, daß man die organische(n) Phase(n) in der Verfahrensstufe 4 durch Extraktion mit Wasser oder einer wäßrigen Salzlösung weitgehend von dem polaren organischen Lösemittel befreit (Hinextraktion), aus dem Extrakt mit Hilfe des Sumpfproduktes aus der Verfahrensstufe 5 das polare organische Lösemittel rückextrahiert (Rückextraktion), die Mischung aus Amin, unpolarem und polarem organischen Lösemittel wieder der Verfahrensstufe 1 zuführt und das Raffinat der Rückextraktion erneut bei der Hinextraktion einsetzt.

Die Extraktion des polaren organischen Lösemittels aus der (den) organischen Phase(n) erfolgt mit Wasser als Extraktionsmittel. Diese sogenannte Hinextraktion sollte bei möglichst tiefer Temperatur erfolgen, um eine hohe Extraktionsrate zu erreichen. Im allgemeinen führt man die Hinextraktion bei Temperaturen von 0 bis +50 °C, vorzugsweise +5 bis +30 °C, durch. Die Temperaturgrenzen sind jedoch letztlich durch den Erstarrungspunkt der zu extrahierenden Mischung und des Extraktionsmittels sowie durch wirtschaftliche Gesichtspunkte gesetzt.

- 16 -

Die Rückgewinnung des polaren organischen Lösemittels aus dem Extrakt I der Hinextraktion geschieht durch Extraktion mit der HCl-freien Mischung von Amin und unpolarem Lösemittel, die nach der Hydrochloridspaltung die Thermolysestufe verläßt. Die Temperatur sollte bei dieser sogenannten Rückextraktion zur Erzielung eines optimalen Wirkungsgrades möglichst hoch eingestellt sein, wobei Grenzen durch den Druck des Systems, durch die Energiekosten sowie durch die Stabilität der Produkte gesetzt sind. Im allgemeinen führt man die Rückextraktion bei Temperaturen von +30 bis +250 °C, vorzugsweise +50 bis +150 °C, durch. Der beide organische Lösemittel sowie das Amin enthaltende Extrakt II wird wieder der Carbonisierung zugeführt. Das bei der Rückextraktion vom polaren organischen Lösemittel weitgehend befreite Raffinat (Wasser oder wäßrige Salzlösung) wird erneut für die Hinextraktion eingesetzt.

Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, bei der Hinextraktion nicht reines Wasser, sondern wäßrige Lösungen anorganischer Salze wie Natriumchlorid oder Calciumchlorid als Extraktionsmittel einzusetzen. Die Konzentration dieser Solen kann hierbei zwischen 0 und 30 %, vorzugsweise zwischen 5 und 20 %, liegen. Der Salzgehalt verschiebt die Gleichgewichtsverteilung des zu extrahierenden polaren organischen Lösemittels für die Rückextraktion in eine günstige und für die Hinextraktion in eine ungünstige Richtung. Es gibt eine optimale Salzkonzentration, bei der die Verbesserung der Rückextraktion sich stärker auswirkt als die entsprechende Verschlechterung der Hinextraktion. Dieses Optimum kann leicht durch einige orientierende Versuche herausgefunden werden. Weiterhin erweist sich ein gewisser Salzgehalt im Extraktionsmittel als nützlich zur Verbesserung des

- 17 -

Phasentrennverhaltens. Empfehlenswert ist die Verwendung eines Salzes, das bereits in Form einer konzentrierten Sole bei der Carbonisierungsreaktion zum Einsatz kommt; d. h., im Falle der Herstellung von Natriumhydrogencarbonat bietet sich Natriumchlorid an. Auf diese Weise vermeidet man die Verunreinigung der Sole durch Fremdsalze.

Der beschriebene extraktive Lösemittelaustausch kann z. B. in Form von Gegenstromextraktionen mit mehreren theoretischen Stufen betrieben werden, wobei 6 bis 10 Stufen technisch sinnvoll sind.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann sowohl diskontinuierlich als auch kontinuierlich durchgeführt werden.

Das bei dem erfindungsgemäßen Verfahren gewonnene Natriumhydrogencarbonat wird in erster Linie zur Herstellung von Soda, der daneben anfallende Chlorwasserstoff zur Herstellung von Salzsäure oder Chlorkohlenwasserstoffen, wie z. B. Vinylchlorid, verwendet.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann auch für die Herstellung von Kaliumhydrogencarbonat und Chlorwasserstoff aus Kaliumchlorid und Kohlensäure eingesetzt werden. Für diese Maßnahme wird jedoch im Rahmen der vorliegenden Erfindung kein Schutz begehrt.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung wird anhand eines Ausführungsbeispiels näher beschrieben. Alle Prozentangaben - auch in den nachfolgenden Beispielen, die das erfindungsgemäße Verfahren erläutern - sind, sofern nicht anders angegeben, Gewichtsprozent.

224 297

22. 9. 1980

57 967 13

18

- 17% -

Beispiel 1

In einem zylindrischen thermostatisierbaren Reaktionsgefäß wurden unter heftigem Rühren (Ultra-Turrax) bei 20 °C 125 g (0,35 Mol) Trioctylamin, 125 g Ethanol und 204 g gesättigte wäßrige Natriumchloridlösung (0,92 Mol NaCl) eine Stunde lang mit einem großen Überschuß an Kohlendioxid begast. Das gebildete Natriumhydrogencarbonat, das durch Filtration der Reaktionsmischung isoliert wurde, fiel in einer Menge von 28,4 g an, entsprechend einer auf Amin bezogenen Ausbeute von 96 %.

Die aus dem Filtrat abgetrennte organische Phase (199 g) enthält Amin, Aminhydrochlorid, Wasser und etwa die Hälfte des eingesetzten Ethanols. Die andere Hälfte des polaren organischen Lösemittels befand sich in der als wäßrige Phase abgetrennten Armsole.

Die organische Phase wurde nach Zugabe von 200 g Dodecan destillativ vom Wasser und Ethanol befreit und anschließend zur Thermolyse des Hydrochlorids auf eine Kolonne gegeben, in der bei Temperaturen von 214 bis 230 °C die Spaltung erfolgte. Über Kopf der Spaltkolonne wurden 12,3 g Chlorwasserstoff abgezogen, während als Sumpfprodukt das Trioctylamin im Gemisch mit Dodecan zurückgewonnen wurde.

Beispiel 2

In ein zylindrisches thermostatisierbares Reaktionsgefäß (Inhalt: 2 l) wurden unter heftigem Rühren bei 10 °C pro Stunde 162,5 g (0,46 Mol) Trioctylamin, 81,3 g Isopropanol, 81,3 g Dodecan, 245 g gesättigte wäßrige Natriumchloridlösung (1,1 Mol NaCl) und 56 l (2,5 Mol) Kohlendioxid einge-

fahren. Die Mischung durchlief zur Vervollständigung der Reaktion unter Rühren noch zwei weitere kaskadenartig hintereinandergeschaltete Gefäße, bevor sie in einem 5-l-Trenngefäß in vier Phasen zerfiel. Am Kopf wurde Kohlendioxid abgezogen und rezirkuliert. Im unteren konisch sich verengenden Teil des Trenngefäßes wurde eine Aufschlammung von Natriumhydrogencarbonat in Armsole mit Hilfe eines Schneckenförderers abgezogen. Die Abtrennung des Salzes durch Filtration lieferte stündlich 30,1 g Natriumhydrogencarbonat. Die Armsole wurde nach Aufkonzentrieren in einem NaCl-Sättiger wieder in die Rührkesselkaskade zurückgeführt.

Über der wäßrigen feststoffhaltigen Phase schied sich im Trenngefäß eine organische Schicht ab, die zu 11,6% aus Trioctylamin, zu 45,3 % aus Trioctylaminhydrochlorid, zu 14,1 % aus Isopropanol, zu 26,3 % aus Dodecan und zu 2,7 % aus Wasser bestand. Die organische Phase wurde durch Vakuumdestillation weitestgehend von Isopropanol und Wasser befreit. Die Thermolyse des Hydrochlorids erfolgte anschließend in einer Spaltkolonne bei Temperaturen zwischen 214 und 260 °C. Über Kopf wurden stündlich 13 g gasförmiger Chlorwasserstoff abgezogen, während als Sumpfprodukt eine Mischung aus Trioctylamin und Dodecan anfiel. Diese Mischung durchlief anschließend eine mit Aluminiumoxid gefüllte Reinigungssäule, in der primäre und sekundäre Amine und deren Hydrochloride sowie sonstige Abbauprodukte adsorptiv gebunden wurden. Das solchermaßen gereinigte Amin wurde im Gemisch mit Dodecan zurück in die Carbonisierungsstufe gefahren.

Im Verlaufe von 1 005 Stunden wurden 13 065 g (358,2 Mol)

Chlorwasserstoff und 30 250,5 g (360,0 Mol) Natriumhydrogencarbonat, entsprechend einer Ausbeute von 78 %, bezogen auf durchgesetztes Amin, erzeugt.

Beispiel 3

In Analogie zu Beispiel 2 wurden pro Stunde 153,8 g (0,43 Mol) Trioctylamin, 153,8 g Isopropanol, 153,8 g Dodecan, 244 g gesättigte wäßrige Natriumchloridlösung (1,1 Mol NaCl) und 52,9 l (2,4 Mol) Kohlendioxid bei 12 °C in der Rührkesselkaskade der Carbonisierungsstufe umgesetzt. Nach Phasentrennung wurden ca. 27 g/h Natriumhydrogencarbonat erhalten.

Die abgetrennte organische Phase enthielt 8,3 % Trioctylamin, 26,2 % Trioctylaminhydrochlorid, 29,6 % Isopropanol, 32,0 % Dodecan, und 3,9 % Wasser. Stündlich wurden 479,8 g organische Phase mit 488 g einer 10%igen wäßrigen Natriumchloridlösung in einer mit 4 mm Berlsätteln gefüllten Säule (DN 50 x 3 000) im Gegenstrom bei 12 °C extrahiert (Hinextraktion). Das Isopropanol wurde aus der organischen Phase zu 65 % extrahiert; die restliche Menge sowie das Wasser wurden in einer Entwässerungskolonne destillativ entfernt.

Die Thermolyse des Hydrochlorids erfolgte anschließend in einer Spaltkolonne bei Temperaturen zwischen 214 und 240 °C. Ober Kopf wurden stündlich 11,8 g Chlorwasserstoff abgezogen, während als Sumpfprodukt 307 g einer Mischung aus 50 % Trioctylamin und 50 % Dodecan anfiel. Diese Mischung durchlief anschließend eine mit Aluminiumoxid gefüllte Adsorptionssäule zwecks Entfernung von Abbauprodukten.

Zur Rückgewinnung des Isopropanols wurden stündlich 580 g des Extraktes aus der Hinextraktion mit 307 g Trioctylamin-Dodecan-Mischung aus der Reinigungsstufe in einer mit 4 mm Berlsätteln gefüllten Säule (DN 50 x 3 000) im Gegenstrom bei 120 °C extrahiert (Rückextraktion). Die Extraktionsrate betrug hierbei 66 %. Der Extrakt bestehend aus Amin, Dodecan und Isopropanol wurde in die Carbonsierungsstufe zurückgeführt. Von dem in der organischen Phase der Carbonsierungsstufe enthaltenden Isopropanol konnten insgesamt 43 % in beschriebener Weise extraktiv entfernt werden.

Das Destillat der Entwässerungskolonne, welches neben dem Wasser auch den bei der Hinextraktion nichtabgetrennten Isopropanolanteil enthielt, wurde in die Carbonsierungsstufe zurückgefahren.

Im Verlaufe von 835 Stunden wurden 9 745 g (267,2 Mol) Chlorwasserstoff und 22 604,5 g (269,0 Mol) Natriumhydrogencarbonat, entsprechend einer Ausbeute von 74 %, bezogen auf durchgesetztes Amin, erzeugt.

Beispiele 4 bis 8

In ein zylindrisches thermostatisierbares Reaktionsgefäß (Inhalt: 2 l) wurden unter heftigem Rühren bei 12 °C pro Stunde 0,6 Mol tert. Amin gemäß Tabelle 1, 154 g Isopropanol, 154 g Dodecan, 244 g gesättigte wäßrige Natriumchloridlösung (1,1 Mol NaCl) und 56 l (2,5 Mol) Kohlendioxid eingefahren. Die Mischung durchlief zur Vervollständigung der Reaktion unter Rühren noch zwei weitere kaskadenartig hintereinandergeschaltete Gefäße, bevor sie in einem 5-l-Trenngefäß in vier Phasen zerfiel. Am Kopf

wurde Kohlendioxid abgezogen und rezirkuliert. Im unteren konisch sich verengenden Teil des Trenngefäßes wurde eine Aufschlammung von Natriumhydrogencarbonat in Armsole mit Hilfe eines Schneckenförderers abgezogen und der Feststoff durch Filtration abgetrennt. Die als Filtrat anfallende Armsole wurde nach Aufkonzentration in einem NaCl-Sättiger wieder in die Rührkesselkaskade zurückgeführt.

Über der wäßrigen feststoffhaltigen Phase schied sich im Trenngefäß eine organische Schicht ab, die neben nichtumgesetztem Amin Aminhydrochlorid, Isopropanol, Dodecan und Wasser enthielt. Die organische Phase wurde mit etwa der gleichen Gewichtsmenge einer 10%igen wäßrigen Natriumchloridlösung in einer mit 4 mm Berlsätteln gefüllten Säule (DN 50 x 3 000) im Gegenstrom bei 12 °C extrahiert (Hinextraktion). Das Isopropanol wurde aus der organischen Phase zu 60 bis 70 % extrahiert; die restliche Menge sowie das Wasser wurden in einer Entwässerungskolonne destillativ entfernt.

Die Thermolyse des Hydrochlorids erfolgte anschließend in einer Spaltkolonne bei Temperaturen zwischen 214 und 240 °C. Über Kopf wurde der Chlorwasserstoff abgezogen, während als Sumpfprodukt eine Mischung aus 50 % Amin und 50 % Dodecan anfiel. Diese Mischung durchlief anschließend eine mit Aluminiumoxid gefüllte Adsorptionssäule zwecks Entfernung von Abbauprodukten.

Zur Rückgewinnung des Isopropanols wurde der Extrakt aus der Hinextraktion mit der Amin-Dodecan-Mischung aus der Reinigungsstufe in einer mit 4 mm Berlsätteln gefüllten

224 297

22. 9. 1980

57 967 13

23

- 22 -

Säule (DN 50 x 3 000) im Gegenstrom bei 120 °C extrahiert (Rückextraktion). Die Extraktionsrate lag hierbei zwischen 60 und 70 %. Der Extrakt bestehend aus Amin, Dodecan und Isopropanol wurde in die Carbonisierungsstufe zurückgeführt.

Das Destillat der Entwässerungskolonne, welches neben dem Wasser auch den bei der Minextraktion nichtabgetrennten Isopropanolanteil enthielt, wurde in die Carbonisierungsstufe zurückgefahren.

Die Ergebnisse der einzelnen Fahrperioden sind in Tabelle 1 aufgelistet.

- 23 -

Tabelle 1

Amin	Laufzeit (h)	Ausbeute HCl (Mol)	Ausbeute NaHCO ₃ (Mol)	NaHCO ₃ -Ausbeute bez. auf Amin (%)
N-Dodecylpiperidin	1003	320,8	321,3	53,4
N-Octyl-azacycloheptan	935	405,1	407,9	72,7
N-Dodecyl-azacycloheptan	610	243,1	244,1	66,7
N-Octyl-3,3,5(3,5,5)- trimethylazacycloheptan	890	371,9	373,4	69,9
N-Dodecyl-3,3,5(3,5,5)- trimethyl-azacycloheptan	739	221,7	222,9	50,3

Erfindungsanspruch

1. Verfahren zur Herstellung von Natriumhydrogencarbonat und Chlorwasserstoff durch Umsetzung einer wäßrigen Natriumchloridlösung mit Kohlendioxid in Gegenwart eines Amins sowie eines organischen Lösemittels, gekennzeichnet dadurch, daß man
 1. in eine Mischung, die im wesentlichen
 - 1.1 eine wäßrige Natriumchloridlösung,
 - 1.2 ein tertiäres Amin und
 - 1.3 ein polares organisches Lösemittel enthält, Kohlendioxid einleitet,
 2. die anfallenden Phasen trennt,
 3. die vom ausgefallten Natriumhydrogencarbonat befreite wäßrige Phase nach Aufkonzentrierung mit Natriumchlorid wieder der Verfahrensstufe 1 (Carbonisierung) zuführt,
 4. die organische(n) Phase(n) vom polaren organischen Lösemittel und gegebenenfalls vom Wasser soweit wie möglich und/oder erforderlich befreit,
 5. den ein unpolares Lösemittel enthaltenden Rückstand erhitzt und den Chlorwasserstoff abzieht.
2. Verfahren nach Punkt 1, gekennzeichnet dadurch, daß man als tertiäres Amin (1.2) ein N-Alkyl-azacycloalkan mit insgesamt mindestens 14 Kohlenstoffatomen der allgemeinen Formel



einsetzt, in der n eine ganze Zahl von 4 bis 12 sein kann, R für eine Alkylgruppe mit maximal 18 Kohlenstoffatomen steht und die Methylengruppen ggf. durch Alkylgruppen mit maximal 6 Kohlenstoffatomen in der Summe der Alkylgruppen substituiert sind.

3. Verfahren nach den Punkten 1 und 2, gekennzeichnet dadurch, daß man in der Verfahrensstufe 1 neben dem polaren organischen Lösemittel ein unpolares Lösemittel einsetzt.
4. Verfahren nach den Punkten 1 bis 3, gekennzeichnet dadurch, daß man aus dem bei der Verfahrensstufe 5 anfallenden Sumpf die entstandenen Abbauprodukte vor einer Rückführung in das Verfahren entfernt bzw. darin inaktiviert.
5. Verfahren nach den Punkten 1 bis 4, gekennzeichnet dadurch, daß man die organische(n) Phase(n) in der Verfahrensstufe 4 durch Extraktion mit Wasser oder einer wäßrigen Salzlösung soweit wie möglich und/oder erforderlichlich von dem polaren organischen Lösemittel befreit (Hinextraktion), aus dem Extrakt mit Hilfe des Sumpfproduktes aus der Verfahrensstufe 5 das polare organische Lösemittel rückextrahiert (Rückextraktion), die Mischung aus Amin, unpolarem und polarem organischem Lösemittel wieder der Verfahrensstufe 1 zuführt und das Raffinat der Rück-

224 297

22. 9. 1980

57 967 13

27
- 26 -

extraktion erneut bei der Hinextraktion einsetzt.

6. Verfahren nach Punkt 5, gekennzeichnet dadurch, daß man die Hinextraktion bei einer Temperatur von 0 bis +50 °C durchführt.
7. Verfahren nach Punkt 6, gekennzeichnet dadurch, daß man die Hinextraktion bei einer Temperatur von +5 bis +30 °C durchführt.
8. Verfahren nach den Punkten 5 bis 7, gekennzeichnet dadurch, daß man die Rückextraktion bei einer Temperatur von +30 bis +250 °C durchführt.
9. Verfahren nach Punkt 8, gekennzeichnet dadurch, daß man die Rückextraktion bei einer Temperatur von +50 bis +150 °C durchführt.