

(12) Ausschließungspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 269 148 A5

4(51) C 07 C 101/30
C 07 C 103/183

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) AP C 07 C / 305 909 2
(31) 3248/86-0(22) 11.08.87
(32) 13.08.86(44) 21.06.89
(33) CH

(71) siehe (73)

(72) Herold, Peter, Dr.; Angst, Christof, Dr., CH

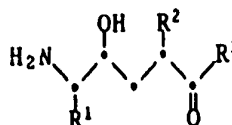
(73) CIBA GEIGY AG, 4002 Basel, CH

(74) Internationales Patentbüro Berlin, Wallstraße 23/24, Berlin, 1020, DD

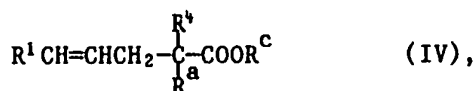
(54) Verfahren zur Herstellung von 5-Amino-4-hydroxy-valeriansäure-Derivaten

(55) 5-Amino-4-hydroxyvaleriansäure-Derivate, Zwischenprodukte, sigmatrope Umlagerung, Allylester, Halolactonisierung, γ,δ -ungesättigte Säure, Halogen-Austausch, Lactonringöffnung, Antihypertensiva, Reninhemmer

(57) Die Erfindung betrifft neue Verfahren und Zwischenprodukte zur Herstellung von 5-Amino-4-hydroxyvaleriansäure-Derivaten der Formel (I), worin R^1 Wasserstoff, gegebenenfalls substituiertes Alkyl, Cycloalkyl, Cycloalkylniederalkyl, Aryl, Arylniederalkyl oder den Rest einer natürlichen Aminosäure, R^2 Wasserstoff, gegebenenfalls substituiertes Alkyl, Cycloalkyl, Cycloalkylniederalkyl, Aryl, Arylniederalkyl, Amino, Hydroxy, Mercapto, Sulfinyl, Sulfonyl oder den Rest einer natürlichen Aminosäure und R^3 gegebenenfalls substituiertes Hydroxy oder Amino darstellen, durch sigmatrope Umlagerung eines geeigneten Allylesters, Halolactonisierung der erhältlichen γ,δ -ungesättigten Säure oder eines geeigneten Derivats davon, Austausch von Halogen durch ein stickstoffhaltiges Nukleophil, Lactonringöffnung und Freisetzung der Aminogruppe. Verbindungen der Formel I sind Ausgangsstoffe zur Herstellung von anti-hypertensiv wirksamen Reninhemmern. Formel (I)

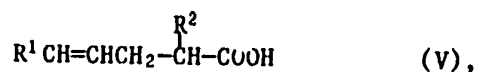


(I)



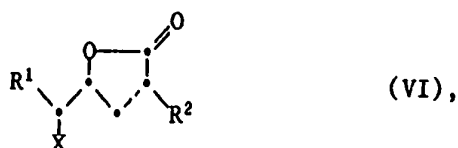
worin R^C Wasserstoff, einen Kohlenwasserstoffrest oder einen Silylrest bedeutet, falls R^C verschieden von Wasserstoff ist und/oder R^a eine Gruppe COOR^b bedeutet und R^b verschieden von Wasserstoff ist, hydrolysiert und, falls R^a eine Gruppe COOR^b bedeutet, decarboxyliert und, falls R^h Halogen bedeutet, Halogen durch Amino, Hydroxy oder Mercapto austauscht,

eine erhältliche Verbindung der Formel



gewünschtenfalls nach Trennung der Enantiomeren und/oder Umwandlung der Carboxygruppe in eine Carboxamidfunktion oder in eine Hydroxamsäureestergruppe, mit einem Halogenierungsmittel halolactonisiert,

in einer erhältlichen Verbindung der Formel



worin X Halogen bedeutet, Halogen durch einen über Stickstoff gebundenen Rest austauscht und in beliebiger Reihenfolge den Lactonring mit einer den Rest R^3 einführenden Verbindung öffnet und den stickstoffhaltigen Rest X in eine Aminogruppe umwandelt und diese gegebenenfalls schützt,

und in einer erhältlichen Verbindung gegebenenfalls vorhandene Schutzgruppen abspaltet und/oder gewünschtenfalls eine erhältliche Verbindung der Formel I in ihr Salz überführt oder ein erhältliches Salz in die freie Verbindung überführt und/oder gewünschtenfalls erhältliche Isomerengemische auftrennt.

2. Verfahren gemäss Anspruch 1 zur Herstellung von Verbindungen der Formel I, worin R^1 Niederalkyl, Hydroxyniederalkyl, Cycloalkyl, Cycloalkylniederalkyl, Aryl oder Arylniederalkyl, R^2 Niederalkyl, Hydroxyniederalkyl, Cycloalkyl, Cycloalkylniederalkyl, Aryl,

Arylniederalkyl, gegebenenfalls substituiertes Amino, gegebenenfalls substituiertes Hydroxy, gegebenenfalls substituiertes Mercapto, substituiertes Sulfinyl oder substituiertes Sulfonyl und R^3 gegebenenfalls substituiertes Amino darstellen, ferner von Salzen dieser Verbindungen.

3. Verfahren gemäss Anspruch 1 zur Herstellung von Verbindungen der Formel I, worin R^1 Niederalkyl, Cycloalkyl, Cycloalkylniederalkyl, Phenyl oder Phenylniederalkyl, R^2 Niederalkyl, Hydroxyniederalkyl, Cycloalkyl, Cycloalkylniederalkyl, Phenyl, Phenylniederalkyl, Amino, Niederalkylamino, Diniederalkylamino, Niederalkanoylamino, substituiertes Amino als Teil eines Ringes, Hydroxy, Niederalkoxy, Niederalkanoyloxy, Mercapto, Niederalkylthio oder Niederalkylsulfonyl und R^3 substituiertes Amino, worin der Substituent gegebenenfalls substituiertes Alkyl mit bis zu 12 C-Atomen, Hydroxyniederalkyl, Carboxyniederalkyl, gegebenenfalls substituiertes Carboxylniederalkyl, Cycloalkyl, Cycloalkylniederalkyl, Niederalkenyl, Niederalkinyl, Aryl, Arylniederalkyl, Heteroaryl oder Heteroarylniederalkyl enthaltend einen mono- oder bicyclischen Heterocyclus mit einem oder zwei Stickstoffatomen bedeutet, ferner Diniederalkylamino oder substituiertes Amino als Teil eines Ringes darstellen, ferner von Salzen von solchen Verbindungen.

4. Verfahren gemäss Anspruch 1 zur Herstellung von Verbindungen der Formel I, worin R^1 Niederalkyl, Cycloalkylniederalkyl oder Phenylniederalkyl, R^2 Niederalkyl, Cycloalkyl, Phenyl, Diniederalkylamino, substituiertes Amino als Teil eines fünf- oder sechsgliedrigen Ringes, Niederalkoxy, Niederalkylthio oder Niederalkylsulfonyl und R^3 Niederalkylamino, Hydroxyniederalkylamino, Carboxyniederalkylamino, Carbamoylniederalkylamino, Cycloalkylniederalkylamino, Arylniederalkylamino, Heteroarylniederalkylamino enthaltend einen mono- oder bicyclischen Heterocyclus mit einem oder zwei Stickstoffatomen, Diniederalkylamino oder substituiertes Amino als Teil eines fünf- oder sechsgliedrigen Ringes bedeuten und die die Reste R^1 und OH tragenden C-Atome beide die R-Konfiguration oder beide die S-Konfiguration und das den Rest R^2 tragende C-Atom die R- oder

S-Konfiguration aufweisen, ferner von Salzen von solchen Verbindungen.

5. Verfahren gemäss Anspruch 1 zur Herstellung von Verbindungen der Formel I, worin R^1 Niederalkyl oder Cycloalkylniederalkyl, R^2 Niederalkyl, Diniederalkylamino oder Niederalkoxy und R^3 Niederalkylamino darstellen und die die Reste R^1 und OH tragenden C-Atome die S-Konfiguration und das den Rest R^2 tragende C-Atom die R- oder S-Konfiguration aufweist, ferner von Salzen von solchen Verbindungen.

6. Verfahren gemäss Anspruch 1 zur Herstellung der Verbindung der Formel I, worin R^1 Cyclohexylmethyl, R^2 Isopropyl und R^3 n-Butylamino darstellen und die die Reste R^1 , R^2 und OH tragenden C-Atome die S-Konfiguration aufweisen.

Verfahren zur Herstellung von 5-Amino-4-hydroxy-
valeriansäure-Derivaten

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft neue Verfahren zur Herstellung von 5-Amino-4-hydroxyvaleriansäure-Derivaten, die als Ausgangsstoffe zur Herstellung von anti-hypertensiv wirksamen Reninhemmern und anderer Pharmazeutika verwendet werden können. Verfahren zur Herstellung von neuen Zwischenprodukten sind ebenfalls Gegenstand der Erfindung.

Die nach den erfindungsgemässen Verfahren herstellbaren 5-Amino-4-hydroxyvaleriansäure-Derivate sind Mimetika für eine Dipeptid-Einheit. Anstelle der zentralen Amidfunktion enthalten die Mimetika eine Hydroxyethylengruppe. Diese Mimetika können in Polypeptide oder Polypeptid-ähnliche Verbindungen eingebaut werden. Solchermassen abgewandelte Polypeptide oder Polypeptid-ähnliche Verbindungen weisen meist physiologische Eigenschaften auf, die denen von entsprechenden nicht abgewandelten Polypeptiden gleichen. Da aber eine zentrale Amidbindung durch eine Hydroxyethylengruppe ersetzt ist, sind sie gegen hydrolytische Spaltung an dieser zentralen Bindung stabil und erwerben damit zusätzliche, gegebenenfalls vorteilhafte Eigenschaften, wie längere Wirksamkeit in natürlicher physiologischer Umgebung dank Stabilität gegenüber Proteasen und/oder irreversible Bindung an Enzyme, die die zentrale Amidbindung spalten würden.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Die Herstellung von 5-Amino-4-hydroxyvaleriansäure-Derivaten ist bereits in den Europäischen Patentanmeldungen 143 746 und 184 560 beschrieben. In diesen Patentanmeldungen wird vorgeschlagen, einen α -Aminoaldehyd in ein Epoxypropylamin umzuwandeln, den Epoxidring mit einem nukleofuge Abgangsgruppe einführenden Reagens zu öffnen, Amino- und freigesetzte Hydroxygruppe als Ring zu schützen, die nukleofuge Gruppe durch ein Esterenolat auszutauschen und dann das gewünschte 5-Amino-4-hydroxyvaleriansäure-Derivat freizusetzen.

Ein ähnliches Verfahren beschreiben B.E. Evans et al., J. Org. Chem. 50, 4615 (1985), die den Epoxidring im an der Aminogruppe geschützten Epoxypropylamin gleich mit einem Malonester-Natriumsalz öffnen, das Produkt hydrolysieren, decarboxylieren und ins gewünschte 5-Amino-4-hydroxyvaleriansäure-Derivat umwandeln.

M.W. Holladay und D.H. Rich, Tetrahedron Letters 24, 4401 (1983), beschreiben ein Verfahren zur Herstellung eines speziellen 5-Amino-4-hydroxyvaleriansäure-Derivats durch Grignard-Reaktion von 3-Benzyl-2-methyl-propylmagnesiumbromid mit einem geschützten α -Aminoaldehyd, Schutz der gebildeten Hydroxyfunktion, Abspaltung der Benzylgruppe, Oxidation der endständigen Hydroxygruppe zur Carbonsäuregruppe und Freisetzung des 5-Amino-4-hydroxyvaleriansäure-Derivats. Das gleiche Verfahren verwenden D.H. Rich, J. of Med. Chem. 28, 263 (1985) und V.J. Hruby und D.H. Rich, "Peptides, Structure and Function", 8th American Peptide Symposium, 1983, 511.

Nach Szelke et al., U.S. Patent 4,609,643, werden 5-Amino-4-hydroxyvaleriansäure-Derivate hergestellt, indem ein Malonester-Natriumsalz oder ein Dillithiumsalz einer aliphatischen Carbonsäure mit einem über mehrere Stufen erhältlichen, an der Hydroxy- und Aminogruppe geschützten 3-Amino-2-hydroxy-propylbromid alkyliert werden und im Produkt die funktionellen Gruppen freigesetzt werden.

Die Europäische Patentanmeldung 173 481 beschreibt ein Verfahren, worin ein γ,δ -ungesättigtes Carbonsäureamid in ein γ,δ -Dihydroxycarbonsäureamid übergeführt, daraus ein Hydroxymethyl- γ -Lacton gebildet und schliesslich die Hydroxygruppe über mehrere Stufen in eine Aminogruppe umgewandelt wird. Durch Spaltung des Lactonrings entsteht dann das gewünschte 5-Amino-4-hydroxyvaleriansäure-Derivat.

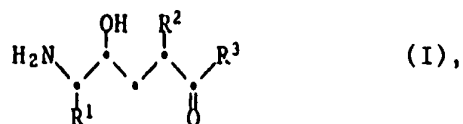
5-Amino-4-hydroxyvaleriansäure selbst kann gemäss Fish et al., U.S. Patent 4,372,974, durch Reduktion der bekannten δ -Aminolävulinsäure mit Natriumborhydrid erhalten werden.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist ein verbessertes Verfahren zur Herstellung von 5-Amino-4-hydroxyvaleriansäure-Derivaten, nach welchem die gewünschten Produkte mit höherer Gesamtausbeute, höherer Stereoselektivität und weniger aufwendigen Reinigungsmethoden hergestellt werden.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Die Erfindung betrifft Verfahren zur Herstellung von Verbindungen der Formel



worin R^1 Wasserstoff, gegebenenfalls substituiertes Alkyl, Cycloalkyl, Cycloalkylniederalkyl, Aryl, Arylniederalkyl oder den Rest einer natürlichen Aminosäure, R^2 Wasserstoff, gegebenenfalls substituiertes Alkyl, Cycloalkyl, Cycloalkylniederalkyl, Aryl, Arylniederalkyl, Amino, Hydroxy, Mercapto, Sulfinyl, Sulfonyl oder den Rest einer natürlichen Aminosäure und R^3 gegebenenfalls substituiertes Hydroxy oder Amino darstellen, und von Salzen dieser Verbindungen, dadurch gekennzeichnet, dass man

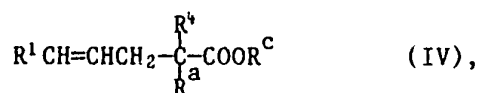
einen Allylalkohol der Formel



mit einer Säure oder Ester der Formel

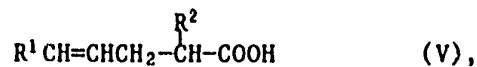


worin R^a Wasserstoff oder eine Gruppe COOR^b und R^b Wasserstoff, einen Kohlenwasserstoffrest oder einen Silylrest bedeuten und R^1 die Bedeutungen von R^2 hat oder Halogen ist, oder mit einem Derivat davon in Gegenwart eines Katalysators verestert, die erhaltliche Verbindung in situ und/oder nach Behandlung mit einer Base und einem Silylierungsmittel durch Erwärmen umlagert und gegebenenfalls decarboxyliert, die erhaltliche Verbindung der Formel



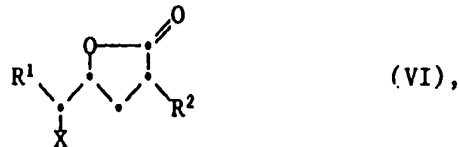
worin R^C Wasserstoff, einen Kohlenwasserstoffrest oder einen Silylrest bedeutet, falls R^C verschieden von Wasserstoff ist und/oder R^a eine Gruppe COOR^b bedeutet und R^b verschieden von Wasserstoff ist, hydrolysiert und, falls R^a eine Gruppe COOR^b bedeutet, decarboxyliert und, falls R^h Halogen bedeutet, Halogen durch Amino, Hydroxy oder Mercapto austauscht,

eine erhältliche Verbindung der Formel



gewünschtenfalls nach Trennung der Enantiomeren und/oder Umwandlung der Carboxygruppe in eine Carboxamidfunktion oder in eine Hydroxamsäureestergruppe, mit einem Halogenierungsmittel halolactonisiert,

in einer erhältlichen Verbindung der Formel



worin X Halogen bedeutet, Halogen durch einen über Stickstoff gebundenen Rest austauscht und in beliebiger Reihenfolge den Lactonring mit einer den Rest R^3 einführenden Verbindung öffnet und den stickstoffhaltigen Rest X in eine Aminogruppe umwandelt und diese gegebenenfalls schützt,

und in einer erhältlichen Verbindung gegebenenfalls vorhandene Schutzgruppen abspaltet und/oder gewünschtenfalls eine erhältliche Verbindung der Formel I in ihr Salz überführt oder ein erhältliches Salz in die freie Verbindung überführt und/oder gewünschtenfalls erhältliche Isomergemische auftrennt.

In der Beschreibung der vorliegenden Erfindung bedeutet der bei der Definition von Gruppen und Resten verwendete Ausdruck "Nieder", z.B. Niederalkyl, Niederalkoxy, Niederalkanoyl etc., dass die so bezeichneten Gruppen oder Reste, falls nicht ausdrücklich anders definiert, 1 bis 7 C-Atome und bevorzugt 1 bis 4 C-Atome enthalten.

Die durch vier verschiedene Reste substituierten C-Atome, beispielsweise die die Reste R^1 , OH und R^2 tragenden C-Atome einer Verbindung der Formel I, das den Rest R^1 tragende C-Atom einer Verbindung der Formel II, die den Rest R^2 oder R^4 tragenden C-Atome von Verbindungen der Formel IV und V und die die Reste R^1 , -OCO und R^2 tragenden C-Atome einer Verbindung der Formel VI können die R-, S- oder R,S-Konfiguration aufweisen.

Die in der Definition von Substituenten verwendeten allgemeinen Ausdrücke und Bezeichnungen haben vorzugsweise die folgenden Bedeutungen:

Alkyl R^1 , R^2 oder R^4 hat vorzugsweise bis zu 12 C-Atome und bedeutet Niederalkyl mit 1 bis 7 C-Atomen oder z.B. n-Octyl, n-Nonyl, n-Decyl oder n-Dodecyl. Niederalkyl R^1 , R^2 oder R^4 ist z.B. Methyl, Ethyl, n-Propyl, Isopropyl, n-Butyl, sec-Butyl, Isobutyl, n-Pentyl, Isopentyl oder n-Hexyl. Alkyl R^1 , R^2 oder R^4 kann durch eine oder mehrere funktionelle Gruppen substituiert sein, beispielsweise durch Hydroxy, verethertes Hydroxy, z.B. Niederalkoxy, wie Methoxy oder Ethoxy, verestertes Hydroxy, z.B. Niederalkanoyloxy, wie Acetoxy, Halogen, z.B. Fluor oder Chlor, Carboxy, verestertes Carboxy, z.B. Niederalkoxycarbonyl, wie Methoxy- oder Ethoxycarbonyl, amidiertes Carboxy, z.B. Carbamoyl oder Mono- oder Diniederalkylcarbamoyl, wie Mono- oder Dimethylcarbamoyl, Cyano, Amino, Mono- oder Diniederalkylamino, z.B. Methylamino oder Dimethylamino, cyclisches substituiertes Amino, z.B. Pyrrolidino, Piperidino oder Morpholino, oder Oxo.

Cycloalkyl R^1 , R^2 oder R^3 ist mono-, bi- oder tricyclisch und ist gegebenenfalls durch eine oder mehrere der unter Alkyl R^1 genannten funktionellen Gruppen substituiert. Monocyclisches Cycloalkyl enthält z.B. 3 bis 8, insbesondere 5 bis 7, C-Atome und ist z.B. Cyclopropyl, Cyclopentyl, Cyclohexyl oder Cycloheptyl. Bicyclisches Cycloalkyl enthält z.B. 6 bis 10 C-Atome und ist z.B. endo- oder exo-Norbornyl oder α - oder β -Decahydronaphthyl. Tricyclisches Cycloalkyl enthält z.B. 8 bis 10 C-Atome und ist z.B. 1-Adamantyl.

Cycloalkylniederalkyl R^1 , R^2 oder R^3 bedeutet einen wie oben unter Alkyl R^1 definierten Niederalkylrest, der eine oder mehrere mono-, bi- oder tricyclische Cycloalkylgruppen trägt und gegebenenfalls durch weitere der oben genannten Reste substituiert ist. Insbesondere enthält Cycloalkylniederalkyl 6 bis 10 C-Atome und ist beispielsweise Niederalkyl mit 1 bis 4 C-Atomen, das eine Cyclopentyl-, Cyclohexyl- oder Cycloheptylgruppe trägt, z.B. Cyclopentylmethyl, Cyclohexylmethyl, 2-Cyclohexylethyl oder Cycloheptylmethyl.

Aryl R^1 , R^2 oder R^3 enthält vorzugsweise 6 bis 14 C-Atome und ist beispielsweise Phenyl oder 1- oder 2-Naphthyl, unsubstituiert oder substituiert durch eine oder mehrere funktionelle Gruppen, beispielsweise durch Niederalkyl, z.B. Methyl, Hydroxy, verethertes Hydroxy, z.B. Niederalkoxy, wie Methoxy, verestertes Hydroxy, z.B. Niederalkanoyloxy, wie Acetoxy, Amino, Niederalkylamino, z.B. Methylamino, Diniederalkylamino, z.B. Dimethylamino, Acylamino, z.B. tert-Butoxycarbonylamino, oder Halo, z.B. Fluor, Chlor, Brom oder Iod, wobei der oder die Substituenten in irgendeiner Stellung des Arylrestes, z.B. in o-, m- oder p-Stellung des Phenylrestes, stehen können.

Arylniederalkyl R^1 , R^2 oder R^3 enthält z.B. 7 bis 20 C-Atome und bedeutet z.B. einen wie oben unter Alkyl R^1 definierten Niederalkylrest, der einen oder mehrere der oben definierten Arylreste trägt und gegebenenfalls durch weitere der oben genannten funktionellen Gruppen substituiert ist. Beispielsweise enthält Arylniederalkyl 7 bis 11 C-Atome und ist z.B. Niederalkyl mit 1 bis

4 C-Atomen, das eine unsubstituierte oder durch Niederalkyl, Hydroxy, Niederalkoxy oder Halo substituierte Phenylgruppe oder eine α - oder β -Naphthylgruppe trägt, z.B. Benzyl, 4-Methylbenzyl, 4-Hydroxybenzyl, 2-Phenylethyl oder α - oder β -Naphthylmethyl.

Ein Rest einer natürlichen Aminosäure R^1 , R^2 oder R^4 ist ein Rest, wie er in natürlichen α -Aminosäuren mit dem α -C-Atom verknüpft ist. Natürliche α -Aminosäuren sind solche, die üblicherweise in Proteinen vorkommen, beispielsweise Glycin, Alanin, Valin, Norvalin, Leucin, Isoleucin, Norleucin, Serin, Homoserin, Threonin, Methionin, Cystein, Phenylalanin, Tyrosin, Tryptophan, Asparaginsäure, Asparagin, Glutaminsäure, Glutamin, Histidin, Arginin, Lysin, Ornithin, α,γ -Diaminobuttersäure und α,β -Diaminopropionsäure. Reste solcher Aminosäuren sind teilweise schon durch eine der weiter oben stehenden Definitionen umfasst und sind insbesondere Wasserstoff, Methyl, Isopropyl, n-Propyl, Isobutyl, sec-Butyl, n-Butyl, Hydroxymethyl, 2-Hydroxyethyl, 1-Hydroxyethyl, 2-Methylthioethyl, Mercaptomethyl, Benzyl, 4-Hydroxybenzyl, 3-Indolylmethyl, Carboxymethyl, Carbamoylmethyl, 2-Carboxyethyl, 2-Carbamoyl-, Imidazolylmethyl, 3-Guanidinopropyl, 4-Aminobutyl, 2-Aminopropyl und Amino-methyl.

Amino R^2 oder R^4 ist gegebenenfalls substituiert, z.B. durch eine oder zwei Niederalkylgruppen, durch Arylniederalkyl, Niederalkanoyl, Niederalkoxycarbonyl oder durch Arylniederalkoxycarbonyl, oder ist Teil eines Ringes und ist beispielsweise Amino, Methylamino, Ethylamino, n-Butylamino, Dimethylamino, Benzylamino, Acetylamino, Pivaloylamino, Methoxy-, Ethoxy- oder tert-Butoxycarbonylamino, Benzyloxycarbonylamino, Pyrrolidino, Piperidino oder Morpholino.

Hydroxy R^2 oder R^4 ist gegebenenfalls substituiert, z.B. durch unsubstituiertes oder substituiertes Niederalkyl, z.B. Niederalkanoyloxyniederalkyl oder Niederalkoxycarbonyloxyniederalkyl, Aryl, Arylniederalkyl, Niederalkanoyl, Cycloalkylcarbonyl, Arylcarbonyl oder Silyl, z.B. Triniederalkylsilyl, und ist beispielsweise Hydroxy, Methoxy, Ethoxy, Acetoxymethoxy, tert-Butoxycar-

bonyloxymethoxy, Phenoxy, Benzyloxy, Acetoxy, Pivaloyloxy, Cyclohexylcarbonyloxy, Benzoyloxy, Trimethylsilyloxy oder tert-Butyldimethylsilyloxy.

Mercapto R^2 oder R^4 ist gegebenenfalls substituiert, z.B. durch unsubstituiertes oder substituiertes Niederalkyl, z.B. Hydroxyniederalkyl, Aryl, Arylniederalkyl oder Niederalkanoyl, und ist beispielsweise Mercapto, Methylthio, Ethylthio, Isopropylthio, tert-Butylthio, 2-Hydroxyethylthio, Phenylthio, Benzylthio oder Acetylthio.

- Sulfinyl R^2 oder R^4 ist z.B. durch unsubstituiertes oder substituiertes Niederalkyl, z.B. Hydroxyniederalkyl, Aryl oder Arylniederalkyl substituiert und ist z.B. Methylsulfinyl, Ethylsulfinyl, Isopropylsulfinyl, tert-Butylsulfinyl, 2-Hydroxyethylsulfinyl, Phenylsulfinyl oder Benzylsulfinyl. Das Schwefelatom in Sulfinyl kann in R-, S- oder R,S-Konfiguration vorliegen.

Sulfonyl R^2 oder R^4 ist z.B. durch unsubstituiertes oder substituiertes Niederalkyl, z.B. Hydroxyniederalkyl, Aryl oder Arylniederalkyl substituiert und ist z.B. Methylsulfonyl, Ethylsulfonyl, Isopropylsulfonyl, tert-Butylsulfonyl, 2-Hydroxyethylsulfonyl, Phenylsulfonyl oder Benzylsulfonyl.

Gegebenenfalls substituiertes Hydroxy R^3 ist unsubstituiert oder substituiert durch einen unsubstituierten oder substituierten, gesättigten oder ungesättigten aliphatischen, aromatischen, heteroaromatischen, aromatisch-aliphatischen oder heteroaromatisch-aliphatischen Kohlenwasserstoffrest mit bis zu 18, bevorzugt mit bis zu 10 C-Atomen.

Gegebenenfalls substituiertes Amino R^3 ist unsubstituiert oder substituiert durch einen oder zwei unsubstituierte oder substituierte, gesättigte oder ungesättigte aliphatische, aromatische,

heteroaromatische, aromatisch-aliphatische oder heteroaromatisch-aliphatische Kohlenwasserstoffreste mit bis zu 18, bevorzugt mit bis zu 10 C-Atomen, oder Teil eines stickstoffhaltigen Ringes.

Ein unsubstituierter oder substituierter, gesättigter oder ungesättigter aliphatischer Kohlenwasserstoffrest ist beispielsweise gegebenenfalls substituiertes Alkyl mit bis zu 12 C-Atomen, mono-, bi- oder tricyclisches Cycloalkyl oder Cycloalkylniederalkyl, wie oben für die Reste R^1 , R^2 und R^4 definiert, ferner Niederalkenyl mit 2 bis 7 C-Atomen oder Niederalkinyl mit 2 bis 7 C-Atomen, wobei diese Reste durch die unter Alkyl R^1 genannten funktionellen Gruppen substituiert sein können, beispielsweise Vinyl, Allyl, 2- oder 3-Butenyl, 3-Carboxy-2-propenyl oder 2-Propinyl.

Ein unsubstituierter oder substituierter aromatischer oder aromatisch-aliphatischer Kohlenwasserstoffrest ist beispielsweise gegebenenfalls substituiertes Aryl mit 6 bis 14 C-Atomen oder Arylniederalkyl mit 7 bis 20 C-Atomen, wie oben für die Reste R^1 , R^2 und R^4 definiert.

Ein unsubstituierter oder substituierter heteroaromatischer Kohlenwasserstoffrest ist beispielsweise ein mono-, bi- oder tricyclischer Heterocyclus enthaltend ein bis zwei Stickstoffatome und/oder ein Sauerstoff- oder Schwefelatom, z.B. Pyrrolyl, Furyl, Thienyl, Imidazolyl, Pyrazolyl, Oxazolyl, Thiazolyl, Pyridyl, Pyrazinyl, Pyrimidinyl, Indolyl, Chinolyl, Isochinolyl, Chinoxalinylnyl oder β -Carbolinylnyl. Dieser Heterocyclus kann an einem Stickstoffatom durch Niederalkyl, z.B. Methyl, Phenyl, Phenylniederalkyl, z.B. Benzyl, und/oder an einem oder mehreren Kohlenstoffatomen durch Niederalkyl, z.B. Methyl, Phenyl, Halogen, z.B. Chlor, Hydroxy, Niederalkoxy, z.B. Methoxy, Phenylniederalkoxy, z.B. Benzyloxy, oder Oxo substituiert und teilweise gesättigt sein und ist beispielsweise 2- oder 3-Pyrrolyl, 5-Phenyl-2-pyrrolyl, 2-Furyl, 2-Thienyl, 4-Imidazolyl, 2-, 3- oder 4-Pyridyl, 2-, 3- oder 5-Indolyl, 1-Methyl-, 5-Methyl-,

5-Methoxy- oder 5-Chlor-2-indolyl, 1-Benzyl-2- oder 3-indolyl, 2-, 3- oder 4-Chinolyl, 4-Hydroxy-2-chinolyl, 1-Oxo-1,2-dihydro-3-iso-chinolyl oder 2-Chinoxalinyll.

Ein unsubstituierter oder substituierter heteroaromatisch-aliphatischer Kohlenwasserstoffrest enthält beispielsweise einen wie oben unter Alkyl R^1 definierten Niederalkylrest, der einen oder zwei der oben definierten Heterocyclen trägt und gegebenenfalls am Niederalkylrest durch weitere der oben genannten funktionellen Gruppen substituiert ist, beispielsweise Niederalkyl mit 1 bis 4 C-Atomen, das einen mono- oder bicyclischen Heterocyclus mit einem oder zwei Stickstoffatomen trägt, z.B. 2- oder 3-Pyrrolylmethyl, 2-, 3- oder 4-Pyridylmethyl, 2-(2-, 3- oder 4-Pyridyl)-ethyl, 4-Imidazolylmethyl, 2-(4-Imidazolyl)-ethyl, 2- oder 3-Indolylmethyl, 2-(3-Indolyl)-ethyl oder 2-Chinolylmethyl.

Substituiertes Amino R^3 als Teil eines stickstoffhaltigen Ringes ist beispielsweise Teil eines fünf-, sechs- oder siebengliedrigen Ringes, der neben C-Atomen gegebenenfalls ein weiteres unsubstituiertes oder substituiertes Stickstoffatom, ein Sauerstoffatom oder ein Schwefelatom enthält. Beispiele für Substituenten dieses weiteren Stickstoffatoms sind Niederalkyl, z.B. Methyl, Phenyl, Phenylniederalkyl, z.B. Benzyl, Acyl, z.B. Niederalkanoyl, wie Acetyl oder Pivaloyl, Niederalkoxycarbonyl, wie tert-Butyloxy-carbonyl, oder Phenylniederalkoxycarbonyl, wie Benzyloxy-carbonyl. Solchermassen substituiertes Amino R^3 ist beispielsweise Pyrrolidino, Piperidino, Hexamethylenamino, Morpholino, Thiomorpholino, 4-Methyl-1-piperazinyll oder 4-Acetyl-1-piperazinyll.

Halogen R^4 ist Fluor, Chlor, Brom oder Jod, vorzugsweise Chlor oder Brom.

Die in den Substituenten R^1 , R^2 , R^3 oder R^4 vorhandenen funktionellen Gruppen, beispielsweise Carboxy, Amino, Hydroxy oder Mercapto, können statt in freier auch in geschützter Form vorliegen. Geeignete Schutzgruppen und ihre Einführung und Abspaltung sind

beispielsweise in Standardwerken wie in J.F.W. McOmie, "Protective Groups in Organic Chemistry", Plenum Press, London und New York 1973, in Th. W. Greene, "Protective Groups in Organic Synthesis", Wiley, New York 1981, in "The Peptides"; Band 3 (Herausg. E. Gross und J. Meienhofer), Academic Press, London und New York 1981, sowie in "Methoden der organischen Chemie", Houben-Weyl, 4. Auflage, Bd. 15, I, Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1974, beschrieben.

Eine Carboxygruppe ist z.B. als eine Estergruppe geschützt, die unter schonenden Bedingungen selektiv spaltbar ist. Eine in veresteter Form geschützte Carboxygruppe ist in erster Linie durch eine Niederalkylgruppe verestert, welche in 1-Stellung der Niederalkylgruppe verzweigt oder in 1- oder 2-Stellung der Niederalkylgruppe durch geeignete Substituenten substituiert ist. Beispiele für eine geschützte Carboxygruppe sind tert-Niederalkoxycarbonyl, z.B. tert-Butoxycarbonyl, Arylmethoxycarbonyl mit einem oder zwei Arylresten, z.B. Benzyloxycarbonyl, 4-Nitrobenzyloxycarbonyl oder Diphenylmethoxycarbonyl, 1-Niederalkoxyniederalkoxycarbonyl, z.B. Methoxymethoxycarbonyl, 1-Methoxyethoxycarbonyl oder 1-Ethoxyethoxycarbonyl, Aroylmethoxycarbonyl, z.B. Phenacyloxycarbonyl, 2-Halogenniederalkoxycarbonyl, z.B. 2,2,2-Trichlorethoxycarbonyl, 2-Bromethoxycarbonyl oder 2-Iodethoxycarbonyl, sowie 2-Triniederalkylsilylniederalkoxycarbonyl, z.B. 2-Trimethylsilylethoxycarbonyl.

Eine Aminogruppe kann z.B. in Form einer Acylamino- oder Arylmethylaminogruppe geschützt sein. In einer entsprechenden Acylamino-Gruppe ist Acyl beispielsweise der Acylrest einer organischen Carbonsäure mit z.B. bis zu 18 Kohlenstoffatomen, insbesondere einer gegebenenfalls, z.B. durch Halogen oder Aryl, substituierten Niederalkancarbonsäure, einer gegebenenfalls, z.B. durch Halogen, Niederalkoxy oder Nitro, substituierten Benzoesäure, oder bevorzugt eines Kohlensäurehalbesters. Solche Acylgruppen sind beispielsweise Niederalkanoyl, wie Formyl, Acetyl, Propionyl oder Pivaloyl, Halogenniederalkanoyl, z.B. 2-Halogenacetyl, wie 2-Chlor-, 2-Brom-, 2-Iod-, 2,2,2-Trifluor- oder 2,2,2-Trichloracetyl, gegebenenfalls

z.B. durch Halogen, Niederalkoxy oder Nitro substituiertes Benzoyl, z.B. Benzoyl, 4-Chlorbenzoyl, 4-Methoxybenzoyl oder 4-Nitrobenzoyl, oder in 1-Stellung des Niederalkylrestes verzweigtes oder in 1- oder 2-Stellung geeignet substituiertes Niederalkoxycarbonyl, z.B. tert-Niederalkoxycarbonyl, wie tert-Butoxycarbonyl, Arylmethoxycarbonyl mit einem oder zwei Arylresten, die gegebenenfalls z.B. durch Niederalkyl, z.B. tert-Niederalkyl, wie tert-Butyl, Niederalkoxy, wie Methoxy, Hydroxy, Halogen, wie Chlor, und/oder Nitro mono- oder polysubstituiertes Phenyl darstellen, z.B. Benzyloxycarbonyl, 4-Nitrobenzyloxycarbonyl, Diphenylmethoxycarbonyl oder Di-(4-methoxyphenyl)-methoxycarbonyl, Arylmethoxycarbonyl, z.B. Phenacyloxy-carbonyl, 2-Halogen-niederalkoxycarbonyl, z.B. 2,2,2-Trichlorethoxycarbonyl, 2-Bromethoxycarbonyl oder 2-Iodethoxycarbonyl, 2-Triniederalkylsilylniederalkoxycarbonyl, z.B. 2-Trimethylsilylethoxycarbonyl, oder 2-Triarylsilylniederalkoxycarbonyl, z.B. 2-Triphenylsilylethoxycarbonyl. Eine Arylmethylaminogruppe ist z.B. Mono-, Di- oder insbesondere Triphenylmethylamino, z.B. Benzyl-, Diphenylmethyl- oder Tritylamino.

Eine Hydroxygruppe kann beispielsweise durch eine Acylgruppe, z.B. durch Halogen, z.B. Chlor, substituiertes Niederalkanoyl, z.B. 2,2-Dichloracetyl, oder insbesondere durch einen für geschützte Aminogruppen genannten Acylrest eines Kohlensäurehalbesters geschützt sein. Eine bevorzugte Hydroxyschutzgruppe ist beispielsweise 2,2,2-Trichlorethoxycarbonyl, 4-Nitrobenzyloxycarbonyl, Diphenylmethoxycarbonyl oder Trityl. Eine Hydroxygruppe kann ferner durch Triniederalkylsilyl, z.B. Trimethylsilyl oder Dimethyl-tert-butylsilyl, eine leicht abspaltbare Alkylgruppe, wie tert-Niederalkyl, z.B. tert-Butyl, einen oxa- oder einen thiaaliphatischen oder -cycloaliphatischen Kohlenwasserstoffrest, beispielsweise 1-Niederalkoxyniederalkyl oder 1-Niederalkylthioniederalkyl, z.B. Methoxymethyl, 1-Methoxyethyl, 1-Ethoxyethyl, Methylthiomethyl, 1-Methylthioethyl oder 1-Ethylthioethyl, oder 2-Oxa- oder 2-Thiacycloalkyl mit 5-7 Ringatomen, z.B. 2-Tetrahydrofuryl oder 2-Tetrahydropyranyl oder ein entsprechendes Thiaanalogen, sowie durch 1-Phenylniederalkyl, z.B. Benzyl, Diphenylmethyl oder Trityl, wobei die Phenyl-

reste beispielsweise durch Halogen, z.B. Chlor, Niederalkoxy, z.B. Methoxy, und/oder Nitro substituiert sein können, geschützt sein.

Eine Mercaptogruppe kann beispielsweise durch eine gegebenenfalls substituierte Alkylgruppe, eine Acylgruppe, eine Silylgruppe, als Thioacetal oder als Disulfid geschützt sein. Bevorzugte Schutzgruppen für Mercapto sind gegebenenfalls im Phenylrest, z.B. durch Methoxy oder Nitro, substituiertes 1-Phenylniederalkyl, beispielsweise Benzyl, 4-Methoxybenzyl, 2-Nitrobenzyl, Bis(4-methoxyphenyl)methyl oder Trityl, die für Aminogruppen genannten Acylreste eines Kohlensäurehalbesters, z.B. Benzyloxycarbonyl, ferner Niederalkylaminocarbonyl, z.B. Ethylaminocarbonyl, Triniederalkylsilyl, z.B. Trimethylsilyl, Benzylthiomethyl, Tetrahydropyranyl oder Niederalkylthio, z.B. Methylthio, Ethylthio oder Benzylthio.

Ein Kohlenwasserstoffrest R^b oder R^c ist beispielsweise ein unter Substituenten von Hydroxy oder Amino R^3 genannter Kohlenwasserstoffrest, insbesondere ein Niederalkylrest mit 1 bis 7 C-Atomen, z.B. Methyl, Ethyl oder tert-Butyl, oder ein Arylniederalkylrest mit 7 bis 15 C-Atomen, z.B. Benzyl.

Ein Silylrest R^b oder R^c ist durch drei gleiche oder verschiedene Kohlenwasserstoffreste substituiert, wie sie als Substituenten von Hydroxy oder Amino R^3 oben genannt sind. Ein solcher Kohlenwasserstoffrest ist beispielsweise Niederalkyl mit 1 bis 7 C-Atomen, z.B. Methyl, Ethyl, Isopropyl, tert-Butyl oder tert-Hexyl, monocyclisches Cycloalkyl mit 5 bis 7 C-Atomen, z.B. Cyclohexyl, Aryl mit 6 bis 14 C-Atomen, z.B. Phenyl, oder Arylniederalkyl mit 7 bis 20 C-Atomen, z.B. Benzyl oder Trityl. Ein Silylrest R^b oder R^c ist beispielsweise Trimethylsilyl, Triethylsilyl, Tripropylsilyl, Triisopropylsilyl, Tributylsilyl, Triphenylsilyl, Dimethyl-tert-butylsilyl, Dimethylisopropylsilyl, Dimethylphenylsilyl, Diphenylmethylsilyl, Diphenylisopropylsilyl, Diphenyl-tert-butylsilyl oder Dimethyltritylsilyl.

Salze von Verbindungen der Formel I sind beispielsweise Säureadditionssalze der Aminogruppe, z.B. mit anorganischen Säuren, z.B. Salzsäure, Schwefelsäure, Salpetersäure oder Phosphorsäure, oder mit organischen Carbon- oder Sulfonsäuren, z.B. mit Essigsäure, Chloressigsäure, Trichloressigsäure, Trifluoressigsäure, Propionsäure, Glykolsäure, Bernsteinsäure, Maleinsäure, Hydroxymaleinsäure, Methymaleinsäure, Fumarsäure, Äpfelsäure, Weinsäure, Zitronensäure, Benzoesäure, Zimtsäure, Mandelsäure, Salicylsäure, 4-Aminosalicylsäure, 2-Phenoxybenzoesäure, 2-Acetoxybenzoesäure, Embonsäure, Nicotinsäure oder Isonicotinsäure, mit Methansulfonsäure, Trifluormethansulfonsäure, Ethansulfonsäure, 2-Hydroxyethansulfonsäure, Ethan-1,2-disulfonsäure, Benzolsulfonsäure, 4-Methylbenzolsulfonsäure oder Naphthalin-2-sulfonsäure, oder mit anderen sauren organischen Verbindungen, wie Ascorbinsäure. Verbindungen der Formel I mit sauren Gruppen, z.B. Carboxy, können auch innere Salze bilden.

Verbindungen der Formel I, in denen R^3 Hydroxy bedeutet, können auch Alkalimetall-, z.B. Natrium- oder Kaliumsalze bilden, ferner: Erdalkalimetallsalze, z.B. Magnesium- oder Calciumsalze, Zinksalze, Ammoniumsalze, Salze mit organischen Aminen, z.B. mit gegebenenfalls substituierten Mono-, Di- oder Trialkylaminen, z.B. mit Cyclohexylamin, Diethylamin, Cyclohexylethylamin, Dibutylamin, Trimethylamin, Triethylamin oder Tri-(2-hydroxyethyl)-amin, oder mit tetrasubstituierten organischen Ammoniumionen, z.B. mit Tetramethylammonium, Tetraethylammonium oder Tetrabutylammonium.

Verbindungen der Formel I, in denen R^3 Hydroxy bedeutet, können auch innere Salze bilden.

Die Verbindungen der vorliegenden Erfindung können auf bekannte Art und Weise in Polypeptid-ähnliche Verbindungen mit nützlichen physiologischen Eigenschaften umgewandelt werden. Beispielsweise können sie in der in den Europäischen Patentanmeldungen 143 746 und

184 550 beschriebenen Art und Weise mit Carbonsäuren oder Carbonsäure-Derivaten kondensiert werden und dabei blutdrucksenkende Reninhemmer ergeben.

Renin gelangt aus den Nieren in das Blut und bewirkt dort die Spaltung von Angiotensinogen unter Bildung des Dekapeptids Angiotensin I, das dann in der Lunge, den Nieren und anderen Organen zum Octapeptid Angiotensin II gespalten wird. Letzteres erhöht den Blutdruck sowohl direkt durch arterielle Konstriktion, als auch indirekt durch die Freisetzung des Natriumionen zurückhaltenden Hormons Aldosteron aus den Nebennieren, womit ein Anstieg des extrazellulären Flüssigkeitsvolumens verbunden ist. Dieser Anstieg ist auf die Wirkung von Angiotensin II selber oder des daraus als Spaltprodukt gebildeten Heptapeptids Angiotensin III zurückzuführen. Hemmer der enzymatischen Aktivität von Renin bewirken eine Verringerung der Bildung von Angiotensin I. Als Folge davon entsteht eine geringere Menge Angiotensin II. Die verminderte Konzentration dieses aktiven Peptidhormons ist die unmittelbare Ursache für die blutdrucksenkende Wirkung von Renin-Hemmern.

Die Wirkung von Renin-Hemmern wird unter anderem experimentell mittels in vitro-Tests nachgewiesen, wobei die Verminderung der Bildung von Angiotensin I in verschiedenen Systemen (Humanplasma, gereinigtes humanes Renin zusammen mit synthetischem oder natürlichem Reninsubstrat) gemessen wird. Die aus den Verbindungen der vorliegenden Erfindung herstellbaren Reninhemmer zeigen in den in vitro-Systemen Hemmwirkungen schon bei Konzentrationen von etwa 10^{-6} bis etwa 10^{-9} Mol/l.

Die Verbindungen der vorliegenden Erfindung können auch auf bekannte Art und Weise in Polypeptid-ähnliche Verbindungen mit analgetischer Wirkung umgewandelt werden, beispielsweise in Verbindungen, die die Enkephalin-abbauende Amino-peptidase hemmen.

Die Erfindung betrifft insbesondere Verfahren zur Herstellung von Verbindungen der Formel I, bevorzugt in diastereomerenreiner Form, worin R^1 Niederalkyl, Hydroxyniederalkyl, Cycloalkyl, Cycloalkylniederalkyl, Aryl oder Arylniederalkyl, R^2 Niederalkyl, Hydroxyniederalkyl, Cycloalkyl, Cycloalkylniederalkyl, Aryl, Arylniederalkyl, gegebenenfalls substituiertes Amino, gegebenenfalls substituiertes Hydroxy, gegebenenfalls substituiertes Mercapto, substituiertes Sulfinyl oder substituiertes Sulfonyl und R^3 gegebenenfalls substituiertes Amino darstellen, ferner von Salzen dieser Verbindungen.

Hauptsächlich betrifft die Erfindung Verfahren zur Herstellung von Verbindungen der Formel I, bevorzugt in diastereomerenreiner Form, worin R^1 Niederalkyl, z.B. Isopropyl oder Isobutyl, Cycloalkyl, z.B. Cyclohexyl, Cycloalkylniederalkyl, z.B. Cyclopentylmethyl, Cyclohexylmethyl, 2-Cyclohexylethyl oder Cycloheptylmethyl, Phenyl oder Phenylniederalkyl, z.B. Benzyl, R^2 Niederalkyl, z.B. Methyl, Ethyl, n-Propyl, Isopropyl, n-Butyl, sec-Butyl oder Isobutyl, Hydroxyniederalkyl, z.B. Hydroxymethyl oder 2-Hydroxyethyl, Cycloalkyl, z.B. Cyclopentyl oder Cyclohexyl, Cycloalkylniederalkyl, z.B. Cyclohexylmethyl, Phenyl, Phenylniederalkyl, z.B. Benzyl, Amino, Niederalkylamino, z.B. Methylamino oder Ethylamino, Diniederalkylamino, z.B. Dimethylamino, Niederalkanoylamino, z.B. Acetylamino oder Pivaloylamino, substituiertes Amino als Teil eines Ringes, z.B. Pyrrolidino, Piperidino oder Morpholino, Hydroxy, Niederalkoxy, z.B. Methoxy oder Ethoxy, Niederalkanoyloxy, z.B. Acetoxy, Mercapto, Niederalkylthio, z.B. Methylthio, Ethylthio oder tert-Butylthio, oder Niederalkylsulfonyl, z.B. Methylsulfonyl, Ethylsulfonyl oder tert-Butylsulfonyl, und R^3 substituiertes Amino, worin der Substituent gegebenenfalls substituiertes Alkyl mit bis zu 12 C-Atomen, beispielsweise Niederalkyl, z.B. Methyl, Ethyl, n-Butyl oder n-Pentyl, n-Alkyl, z.B. n-Octyl oder n-Decyl, Hydroxyniederalkyl, z.B. 2-Hydroxyethyl, Carboxyniederalkyl, z.B. Carboxymethyl, 1-Carboxyethyl, 1-Carboxyisobutyl oder 3-Carboxypropyl, gegebenenfalls substituiertes Carbamoylniederalkyl, z.B. Carbamoylmethyl, 1-Carbamoylethyl, 1-Carbamoylisobutyl oder 1-Carboxyniederalkyl, worin die Carboxygruppe durch die Aminofunktion einer

natürlichen Aminosäure, deren Niederalkylester oder deren Amid amidiert ist, z.B. 1-(Histidinylcarbonyl)-2-methyl-butyl, 1-(Methoxyhistidinylcarbonyl)-2-methyl-butyl oder 1-(Amido-histidinylcarbonyl)-2-methyl-butyl, Cycloalkyl, z.B. Cyclohexyl, Cycloalkylniederalkyl, z.B. Cyclopropylmethyl oder Cyclohexylmethyl, Niederalkenyl, z.B. Allyl, Niederalkinyl, z.B. 2-Propinyl, Aryl, z.B. Phenyl, Arylniederalkyl, z.B. Benzyl, Heteroaryl, z.B. 2-Pyridyl oder 3-Indolyl, oder Heteroarylniederalkyl enthaltend einen mono- oder bicyclischen Heterocyclus mit einem oder zwei Stickstoffatomen, z.B. 2- oder 4-Pyridylmethyl, 2-(2- oder 4-Pyridyl)-ethyl, 4-Imidazolylmethyl, 2-(4-Imidazolyl)-ethyl, 3-Indolylmethyl oder 2-(3-Indolyl)-ethyl, bedeutet, ferner Diniederalkylamino, z.B. Dimethylamino oder Diethylamino, oder substituiertes Amino als Teil eines Ringes, z.B. Pyrrolidino, Piperidino oder Morpholino, darstellen, ferner von Salzen von solchen Verbindungen.

Ganz besonders betrifft die Erfindung Verfahren zur Herstellung von Verbindungen der Formel I, worin R^1 Niederalkyl, z.B. Isopropyl oder Isobutyl, Cycloalkylniederalkyl, z.B. Cyclopentylmethyl, Cyclohexylmethyl, 2-Cyclohexylethyl oder Cycloheptylmethyl, oder Phenylniederalkyl, z.B. Benzyl, R^2 Niederalkyl, z.B. Methyl, Ethyl, Isopropyl oder sec-Butyl, Cycloalkyl, z.B. Cyclopentyl oder Cyclohexyl, Phenyl, Diniederalkylamino, z.B. Dimethylamino, substituiertes Amino als Teil eines fünf- oder sechsgliederigen Ringes, z.B. Pyrrolidino, Piperidino oder Morpholino, Niederalkoxy, z.B. Methoxy oder Ethoxy, Niederalkylthio, z.B. Methylthio oder Ethylthio, oder Niederalkylsulfonyl, z.B. Methylsulfonyl oder Ethylsulfonyl, und R^3 Niederalkylamino, z.B. Methyl-, Ethyl-, n-Butyl- oder n-Pentylamino, Hydroxyniederalkylamino, z.B. 2-Hydroxyethylamino, Carboxyniederalkylamino, z.B. Carboxymethyl-, 1-Carboxyethyl-, 1-Carboxyisobutyl- oder 3-Carboxypropylamino, Carbamoylniederalkylamino, z.B. Carbamoylmethyl-, 1-Carbamoylethyl- oder 1-Carbamoylisobutylamino, Cycloalkylniederalkylamino, z.B. Cyclopropylmethylamino, Arylniederalkylamino, z.B. Benzylamino, Heteroarylniederalkylamino enthaltend einen mono- oder bicyclischen Heterocyclus mit einem oder zwei Stickstoffatomen, z.B. 2- oder 4-Pyridylmethylamino, 2-(2- oder

4-Pyridyl)-ethylamino, 4-Imidazolylmethylamino, 2-(4-Imidazolyl)-ethylamino, 3-Indolylmethylamino oder 2-(3-Indolyl)-ethylamino, Diniederalkylamino, z.B. Dimethylamino oder Diethylamino, oder substituiertes Amino als Teil eines fünf- oder sechsgliedrigen Ringes, z.B. Pyrrolidino, Piperidino oder Morpholino, bedeuten und die die Reste R^1 und OH tragenden C-Atome beide die R-Konfiguration oder beide die S-Konfiguration, bevorzugt die S-Konfiguration, und das den Rest R^2 tragende C-Atom die R- oder S-Konfiguration aufweisen, ferner von Salzen von solchen Verbindungen.

In erster Linie betrifft die Erfindung Verfahren zur Herstellung von Verbindungen der Formel I, worin R^1 Niederalkyl, z.B. Isobutyl, oder Cycloalkylniederalkyl, z.B. Cyclopentylmethyl, Cyclohexylmethyl, 2-Cyclohexylethyl oder Cycloheptylmethyl, R^2 Niederalkyl, z.B. Isopropyl, Diniederalkylamino, z.B. Dimethylamino, oder Niederalkoxy, z.B. Methoxy, und R^3 Niederalkylamino, z.B. Methylamino oder n-Butylamino, darstellen und die die Reste R^1 und OH tragenden C-Atome die S-Konfiguration und das den Rest R^2 tragende C-Atom die R- oder S-Konfiguration aufweist, ferner von Salzen von solchen Verbindungen.

Zuallererst betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung der in den Beispielen genannten Verbindungen.

Verfahren

Umwandlung einer Verbindung der Formel II in eine Verbindung der Formel V:

Die Veresterung eines Allylalkohols der Formel II mit einer Säure der Formel III, worin R^b Wasserstoff bedeutet, zu einem Allylester der Formel



worin R^1 , R^2 und R^3 die genannten Bedeutungen haben, kann nach einer der üblichen Veresterungsmethoden erfolgen, beispielsweise in Gegenwart eines sauren Katalysators, z.B. einer Protonen-haltigen Säure, beispielsweise Schwefelsäure, Chlor- oder Bromwasserstoff, Phosphorsäure oder einer starken organischen Säure, wie Arylsulfonsäure, z.B. p-Toluolsulfonsäure, oder Alkylsulfonsäure, z.B. Methan- oder Trifluormethansulfonsäure, eines Proton-freien Lewisäure-Katalysators, beispielsweise Bortrifluorid-etherat oder wasserfreie Zinksalze, z.B. Zinkchlorid, oder stark saure Ionenaustauscher, beispielsweise Ionenaustauscher mit Sulfonsäuregruppen, ohne Lösungsmittel, z.B. in einem Ueberschuss des Alkohols der Formel II, oder in Gegenwart eines inerten Lösungsmittels, z.B. Toluol, Chlorbenzol, Cyclohexan oder dergleichen, bei Temperaturen zwischen 0° und 200°C , bevorzugt zwischen 50° und 150°C , z.B. beim Siedepunkt des Lösungsmittels. Bevorzugt wird das bei der Veresterung entstehende Reaktionswasser entfernt, beispielsweise durch azeotrope Destillation mit geeigneten Schlepper-Lösungsmitteln, z.B. Toluol, durch Adsorption an Molekularsieb, z.B. Molekularsieb 3A. oder durch Reaktion mit Thionylchlorid, oder dergleichen.

Als Säurederivate geeignet für die Veresterung eines Allylalkohols sind beispielsweise Anhydride, z.B. das Anhydrid mit Chlorwasserstoffsäure (COCl anstelle von COOR^b), Anhydride mit starken organischen Säuren, z.B. mit Trifluoressigsäure, mit Ameisensäure oder mit einer Sulfonsäure, z.B. p-Toluolsulfonsäure, oder Anhydride mit sich selbst. Solche Anhydride können nach bekannten Methoden hergestellt werden, beispielsweise auch in situ durch Zugabe von Trifluoressigsäureanhydrid oder p-Toluolsulfonsäurechlorid in Ueberschuss von Pyridin. Säureanhydride werden mit Allylalkoholen in Gegenwart eines der oben genannten sauren Katalysatoren oder in Gegenwart einer Base umgesetzt, beispielsweise mit einem organischen tertiären Amin, z.B. Triethylamin, Dimethylanilin, Pyridin oder 4-Dimethylaminopyridin. Anstelle einer Base kann auch der Allylalkohol der Formel II als Alkoholat, z.B. hergestellt mit Natrium- oder Kaliumhydrid, eingesetzt werden. Geeignet sind die oben genannten Reaktionsbedin-

gungen und Lösungsmittel, ferner auch dipolar aprotische Lösungsmittel, z.B. Acetonitril oder Dimethylformamid, und Temperaturen von -30° bis 50°C , z.B. um 0°C .

Die Veresterung eines Allylalkohols der Formel II mit einem Ester der Formel III, worin R^b einen Kohlenwasserstoffrest oder Silylrest bedeutet, erfolgt nach einer der üblichen Umesterungsmethoden, beispielsweise in Gegenwart eines sauren Katalysators, wie er oben bei der Veresterung der Säure genannt ist oder in Gegenwart einer Base, z.B. in Gegenwart einer katalytischen Menge des Alkoholats, das aus dem Allylalkohol der Formel II und Natrium- oder Kaliumhydrid oder Natrium in metallischer Form hergestellt worden ist. Bevorzugt wird die Reaktion in einem Ueberschuss des einzuführenden Alkohols der Formel II durchgeführt und/oder der austretende Alkohol der Formel R^bOH z.B. durch Destillation oder Adsorption an Molekularsieb, z.B. Molekularsieb 4A, entfernt.

Ganz besonders bevorzugt ist die Umesterung in Gegenwart eines Tetraalkoxy-Derivats von Titan oder Zirkon, z.B. in Gegenwart von Titan-tetraethoxid, Titan-tetrabutoxid oder Titan-tetraisopropoxid, bevorzugt Titan-tetraethoxid. Der Katalysator wird in Mengen zwischen 0,01 % und 50 %, z.B. 1 % bis 30 %, zugesetzt und die Umesterung bei Temperaturen zwischen 50° und 200°C , z.B. beim Siedepunkt des Alkohols R^bOH oder eines zugesetzten inerten Lösungsmittels, z.B. Toluol oder Cyclohexan, durchgeführt.

Die Veresterung des Allylalkohols der Formel II mit einem Ester-Derivat der Formel III umfasst z.B. die Reaktion mit einem Orthoester der Formel III, worin die Gruppe COOR^b durch einen Rest $\text{C}(\text{OR}^b)_3$ ersetzt ist und R^b Niederalkyl, z.B. Methyl oder Ethyl, bedeutet, die Reaktion mit einem Dialkoxyethylen der Formel III, worin die Gruppe CH-COOR^b durch einen Rest $\text{C}=\text{C}(\text{OR}^b)_2$ ersetzt ist und R^b Niederalkyl, z.B. Ethyl, bedeutet, ferner die Reaktion mit den entsprechenden Dialkylamino-Derivaten, in denen jeweils ein Rest OR^b durch NR_2^b ersetzt ist. Die Veresterung mit einem Orthoester oder einem Dialkoxyethylen erfolgt vorteilhafterweise in Gegenwart eines

sauren Katalysators, wie er oben genannt ist, z.B. Bortrifluorid-etherat, oder mit einem schwach sauren Katalysator, z.B. einer Niederalkancarbonsäure, z.B. Essigsäure oder Propionsäure, oder einer Arylcarbonsäure, z.B. Benzoesäure oder 2,4,6-Trimethylbenzoesäure, ohne Lösungsmittel oder in einem der genannten inerten Lösungsmittel bei Temperaturen zwischen 0° und 200°C, z.B. zwischen 0° und 100°C.

Enthalten die Reste R^1 und R^4 empfindliche funktionelle Gruppen, z.B. Carboxy-, Amino-, Hydroxy- oder Mercaptogruppen, so werden diese Gruppen in Verbindungen der Formel II und/oder III vorzugsweise vor der Veresterung durch eine der oben genannten Schutzgruppen geschützt.

Die Umlagerung des aus den Verbindungen der Formeln II und III hergestellten Allylestere der Formel VII in eine Verbindung der Formel IV erfolgt je nach Art der Substituenten R^1 , R^4 und R^a in situ bei den für die Veresterung oder Umesterung gewählten Reaktionsbedingungen.

Ist beispielsweise R^1 Phenyl, R^4 Wasserstoff, R^a ein Rest COOR^b und R^b Ethyl und wird als Umesterungskatalysator Natriumacetat eingesetzt, so ist bekannt, dass durch Erhitzen auf 200°-230°C die Umlagerungsreaktion und Decarboxylierung zu der Verbindung der Formel IV eintritt. Das entstehende Produkt fällt allerdings nach Hydrolyse der Esterfunktion in nur 51 % Ausbeute in unreiner Form an. Ueberraschenderweise wurde nun gefunden, dass, wenn die Umesterung von Verbindungen der Formel III, worin R^a eine Gruppe COOR^b ist und R^4 auch verschieden von Wasserstoff sein kann, mit einem Allylalkohol der Formel II in Gegenwart eines Titan- oder Zirkontetraalkoholats durchgeführt wird, der Ester der Formel VII unter milden Bedingungen und mit wesentlich höheren Ausbeuten als bisher direkt in eine Verbindung der Formel IV, worin R^a Wasserstoff bedeutet und R^c die gleiche Bedeutung wie R^b hat, umgewandelt werden kann. Beispielsweise entstehen bei der Reaktion von Verbindungen der Formel II mit Verbindungen der Formel III, worin R^a eine

Gruppe COOR^b und R^b Niederalkyl, z.B. Ethyl, ist, in Gegenwart von zwischen 1 % und 30 % eines Titan-tetraniederalkoxids, z.B. Titan-tetraethoxid, bei Temperaturen von 150° bis 220°C ohne Lösungsmittel oder in einem inerten Lösungsmittel, z.B. Mesitylen, Decahydronaphthalin oder Dichlorbenzol, in Ausbeuten von 50 % bis gegen 100 % Verbindungen der Formel IV, worin R^a Wasserstoff und R^c Niederalkyl wie in R^b ist.

Erfolgt die Veresterung des Allylalkohols der Formel II mit einem Orthoester-Derivat der Formel III, worin die Gruppe COOR^b durch einen Rest $\text{C}(\text{OR}^b)_3$ ersetzt ist, R^b Niederalkyl, z.B. Methyl oder Ethyl, und R^a Wasserstoff bedeuten, in Gegenwart einer schwach sauren organischen Verbindung, z.B. einer Niederalkancarbonsäure, wie Propionsäure, so erfolgt die Umlagerung zu einer Verbindung der Formel IV, worin R^a Wasserstoff und R^c Niederalkyl wie in R^b sind, schon unter den Reaktionsbedingungen der Veresterung, z.B. bei Temperaturen zwischen 100° und 150°C ohne Lösungsmittel oder in Gegenwart eines inerten Lösungsmittels.

Gleichermassen erfolgt die Umlagerung in eine Verbindung der Formel IV, worin R^a eine Gruppe COOR^b und R^c Niederalkyl wie in R^b sind, wenn die Veresterung mit einem Dialkoxymethylen der Formel III, worin die Gruppe CH-COOR^b durch einen Rest $\text{C}=\text{C}(\text{OR}^b)_2$ ersetzt ist und R^a eine Gruppe COOR^b und R^b Niederalkyl bedeuten, in Gegenwart einer der oben genannten schwach sauren organischen Katalysatoren bei Temperaturen zwischen 100° und 160°C durchgeführt wird.

Erfolgt die Veresterung des Allylalkohols der Formel II mit einem Ester-Derivat der Formel III, worin die Gruppe CH-COOR^b durch einen Rest $\text{C}=\text{C}(\text{OR}^b)(\text{NR}_2^b)$ ersetzt ist, so entsteht ohne Zusatz eines Katalysators durch Reaktion bei Temperaturen zwischen 100° und 200°C , bevorzugt 130° bis 170°C , beispielsweise in einem inerten Lösungsmittel, z.B. Xylol oder Dimethylformamid, eine Verbindung der Formel IV, worin der Rest COOR^c durch eine Gruppe CONR_2^b ersetzt ist.

Die Umlagerung von aus Verbindungen der Formeln II und III vorgeformten Allylestern der Formel VII in einem getrennten Reaktionsschritt ist dann der Regelfall, wenn nicht eines der oben genannten Esterderivate der Formel III zur Veresterung eingesetzt wird und R^a Wasserstoff ist. Zur Umlagerung wird der Allylester der Formel VII bei tiefen Temperaturen, z.B. zwischen -100° und 0°C , bevorzugt zwischen -80° und -30°C , in einem polaren aprotischen Lösungsmittel oder Lösungsmittelgemisch, z.B. einem polaren Ether, z.B. Tetrahydrofuran, Dimethoxyethan oder Diethylenglykol-dimethylether, gegebenenfalls gemischt mit einem Amid, z.B. Dimethylformamid, N-Methylpyrrolidon oder Hexamethylphosphorsäuretriamid, oder einem Harnstoff, z.B. N,N'-Dimethyl-N,N'-propylenharnstoff, und/oder einem inerten Kohlenwasserstoff, z.B. Hexan oder Toluol, mit einer starken, nicht-nukleophilen Base deprotoniert, gewünschtenfalls mit einem Silylierungsmittel behandelt und durch Erwärmen auf Temperaturen von -20° bis 80°C , bevorzugt zwischen 0° und 30°C , in ein Salz der Verbindung der Formel IV, worin R^c Wasserstoff, oder in eine Verbindung der Formel IV, worin R^c den in der Silylierung verwendeten Silylrest darstellt, umgelagert.

Nicht-nukleophile Basen sind Verbindungen, die aus Estern ein Wasserstoff aus der α -Position entfernen, ohne an die Carbonylgruppe der Esterfunktion zu addieren. Beispiele für solche starke, nicht-nukleophile Basen sind Alkalimetallsalze, z.B. Lithium-, Kalium- oder Natriumsalze, von sekundären Aminen mit sperrigen Kohlenwasserstoff- oder Silylresten, z.B. Lithiumdiisopropylamid, Lithiumdicyclohexylamid, Lithiumisopropylcyclohexylamid, Lithiumbis(trimethylsilyl)amid, Kaliumbis(trimethylsilyl)amid, Lithium-2,2,6,6-tetramethylpiperid oder dergleichen.

Bevorzugte Silylierungsmittel sind Triniederalkylsilylhalogenide mit gleichen oder verschiedenen Silylresten, z.B. Trimethylsilylchlorid, tert-Butyldimethylsilylchlorid oder Triisopropylsilylchlorid.

Die durch eine der oben aufgeführten Reaktionsschritte hergestellten Verbindungen der Formel IV weisen üblicherweise eine E-konfigurierte C=C-Doppelbindung auf.

In Estern der Formel VII, in denen R^1 verschieden von Wasserstoff und verschieden von Vinyl ist, ist das den Rest R^1 tragende Kohlenstoffatom chiral. Wird nun eine enantiomere Form des Esters der Formel VII in die Umlagerungsreaktion eingesetzt, so kann die Chiralität bei der Wahl geeigneter Reaktionsbedingungen von diesem Kohlenstoffatom auf das den Rest R^4 tragende Kohlenstoffatom im Produkt der Formel IV übertragen werden. Dabei ist es möglich, aus der einen enantiomeren Form des Esters der Formel VII durch Wahl geeigneter Lösungsmittel oder Lösungsmittelgemische in der Umlagerungsreaktion die eine oder die andere enantiomere Form des Produkts der Formel IV herzustellen.

Verbindungen der Formel IV, worin R^c einen Silylrest darstellt, werden durch Wasser und/oder Niederalkanol, bevorzugt Methanol, bei Temperaturen zwischen 0° und 50°C hydrolysiert. Stellt R^c einen Kohlenwasserstoffrest da, so wird der Ester durch eine der üblichen Standardmethoden der Esterhydrolyse, beispielsweise in Gegenwart von wässriger Säure oder wässriger Base, z.B. wässrig-alkoholischer Kalilauge oder Natronlauge, in die Säure der Formel V umgewandelt. Ist R^a eine Gruppe COOR^b und R^b verschieden von Wasserstoff, so wird im Anschluss an die obengenannte Esterhydrolyse das Reaktionsprodukt auf Temperaturen von 50° bis 200°C , bevorzugt um 150°C , erwärmt, um die Abspaltung von Kohlendioxid zu erreichen. Enthält die Verbindung der Formel IV in den Resten R^1 und/oder R^4 gegebenenfalls geschützte funktionelle Gruppen, so werden je nach Art der Schutzgruppe diese unter den Bedingungen der Esterhydrolyse wieder freigesetzt.

Bedeutet R^4 Halogen, so wird dieser Rest nach oder vorzugsweise vor einer allfälligen Hydrolyse und/oder Decarboxylierung durch einen Rest R^2 mit der Bedeutung Amino, Hydroxy oder Mercapto ausgetauscht. Der Austausch erfolgt unter den üblichen Bedingungen einer nukleo-

philen Substitution eines Halogenids. Die Einführung einer Amino-
gruppe, z.B. von Dimethylamino, Diethylamino oder Pyrrolidino, kann
durch Reaktion mit dem entsprechenden freien Amin in einem inerten,
vorzugsweise polaren Lösungsmittel, beispielsweise einem Alkohol,
z.B. Methanol oder Ethanol, Acetonitril, Tetrahydrofuran, Dimethyl-
formamid, Dimethylsulfoxid oder dergleichen bei Temperaturen
zwischen 0° und 100°C erreicht werden. Zur Einführung einer unsub-
stituierten Aminogruppe verwendet man vorzugsweise die weiter unten
bei der Umwandlung einer Verbindung der Formel VI in eine Verbindung
der Formel I genannten Reagentien und Bedingungen. Halogen kann
durch unsubstituiertes Hydroxy unter den obengenannten Bedingungen
der Esterhydrolyse ausgetauscht werden. Verethertes Hydroxy, z.B.
Methoxy, wird durch Reaktion in einem Ueberschuss des entsprechenden
Alkohols, acyliertes Hydroxy, z.B. Acetoxy, durch Reaktion in einem
Ueberschuss der entsprechenden Carbonsäure eingeführt, wobei
vorzugsweise in Gegenwart einer nicht-nukleophilen Base gearbeitet
wird, um den freigesetzten Halogenwasserstoff zu binden. Eine
substituierte, z.B. veretherte, Mercaptogruppe wird durch Reaktion
mit dem entsprechenden Mercaptan oder Alkalimetallmercaptid in einem
der obengenannten, inerten, polaren Lösungsmittel und bei den
genannten Temperaturen eingeführt.

Der Austausch von Halogen durch einen der genannten Reste R^2 kann im
allgemeinen so geführt werden, dass sich die Konfiguration des den
Rest R^4 bzw. R^2 tragenden Kohlenstoffatoms in Verbindungen der
Formel IV bzw. V umkehrt.

Ist R^2 verschieden von Wasserstoff und verschieden vom Rest der
Formel $R^1CH=CHCH_2-$, so ist die Verbindung der Formel V chiral.
Soll in einem Endprodukt der Formel I das den Rest R^2 tragende
Kohlenstoffatom nur eine der beiden möglichen Konfigurationen
aufweisen, so wird eine racemische Verbindung der Formel V
bevorzugt auf dieser Stufe einer Enantiomerentrennung unterworfen.
Enantiomerentrennungen racemischer Carbonsäuren der Formel V werden
analog bekannten Methoden beispielsweise durch fraktionierte
Kristallisation oder chromatographische Auftrennung diastereomerer

Carbonsäuresalze oder Carbonsäureamide mit chiralen, gewünschtenfalls enantiomerenreinen organischen Aminen erreicht. Beispielsweise werden Carbonsäuren der Formel V in einem Lösungsmittel mit äquimolaren Mengen eines enantiomerenreinen Amins, z.B. (R)- oder (S)- α -Phenylethylamin, (R)- oder (S)-1- α - oder β -Naphthylethylamin, Chinin, Chinchonidin, Dehydroabietylamin oder d- oder l-Ephedrin, umgesetzt, die diastereomeren Salze durch fraktionierte Kristallisation getrennt und gereinigt, die diastereomerenreinen Salze durch Zugabe einer wässrigen Säure gespalten, das als Hilfsstoff eingesetzte Amin abgetrennt und die enantiomerenreine Säure der Formel V isoliert.

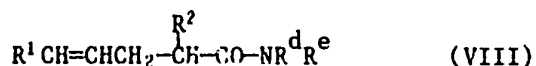
Umwandlung einer Verbindung der Formel V in eine Verbindung der Formel VI:

Die γ,δ -ungesättigten Carbonsäuren der Formel V werden durch Halogenierungsmittel in Halolactone der Formel VI übergeführt. Verbindungen der Formel VI, worin X Iod bedeutet, werden beispielsweise erhalten, indem man Säuren der Formel V mit Iod in wässrigen oder organischen Lösungsmitteln umsetzt, z.B. in Wasser, wässrigem Niederalkanol, z.B. wässrigem Methanol oder Ethanol, in Wasser-Ether-Mischungen, z.B. Wasser-Diethylether, in Acetonitril, Amiden, z.B. Dimethylformamid oder N-Methylpyrrolidon, polaren Ethern, z.B. Tetrahydrofuran, Dioxan oder Dimethoxyethan, oder in Halogenkohlenwasserstoffen, z.B. Methylenchlorid oder Chloroform, bei Temperaturen zwischen -80° und 50°C , bevorzugt zwischen 0° und 30°C , gewünschtenfalls in Gegenwart einer Base, die freigesetzte Iodwasserstoffsäure bindet, beispielsweise Alkalihydrogencarbonat, z.B. Natriumhydrogencarbonat, oder Alkali- oder Erdalkalicarbonat, z.B. Magnesium- oder Calciumcarbonat, und/oder in Gegenwart von Kaliumiodid, das die Löslichkeit von Iod in wässrigen Lösungsmitteln erhöht. Anstelle von Iod kann auch ein anderes, positives Iod abgebendes Reagens verwendet werden, beispielsweise N-Iodsuccinimid oder N-Iodacetamid.

Verbindungen der Formel VI, worin X Brom bedeutet, werden erhalten, indem man Säuren der Formel V mit Brom, N-Bromsuccinimid oder andern positives Brom abgebenden Reagentien in den obengenannten Lösungsmitteln und bei den genannten Reaktionsbedingungen umsetzt, beispielsweise mit Brom in wässriger Natriumhydrogencarbonat-Lösung enthaltend gewünschtenfalls Kaliumbromid, mit Brom in Acetonitril oder mit N-Bromsuccinimid in Dimethylformamid, Tetrahydrofuran oder dergleichen. Zu Verbindungen der Formel VI, worin X Chlor bedeutet, gelangt man auf entsprechende Art und Weise, indem als Halogenierungsmittel N-Chlorsuccinimid eingesetzt wird.

Die Konfiguration des den Rest R^2 tragenden Kohlenstoffatoms beeinflusst die räumliche Anordnung der Substituenten $-OCO$ und $-X$ in Verbindungen der Formel VI. Unter den üblichen Reaktionsbedingungen der Halolactonisierung werden bevorzugt jene zwei Diastereomeren gebildet, die durch antiperiplanare Anlagerung der Substituenten $-OCO$ und $-X$ an die Doppelbindung der ungesättigten Säure der Formel V entstehen. Durch Addition an eine E-konfigurierte $C=C$ -Doppelbindung der Verbindung der Formel V weisen die neugebildeten chiralen Kohlenstoffatome somit die R,S- oder die S,R-Konfiguration auf. Abhängig von der Art des Substituenten R^2 und den gewählten Reaktionsbedingungen ist es möglich, die Reaktion so zu führen, dass eines dieser beiden Diastereomeren klar überwiegt und leicht in reiner Form abgetrennt werden kann.

Bevorzugt wird die Carbonsäure der Formel V vor der Behandlung mit dem Halogenierungsmittel in ein Amid oder einen Hydroxamsäureester der Formel



übergeführt.

Geeignet sind beispielsweise Amide der Formel VIII, worin R^d und R^e unabhängig voneinander Niederalkyl, z.B. Methyl oder Ethyl, Cycloalkyl, z.B. Cyclohexyl, oder Arylniederalkyl, z.B. Benzyl, oder R^d

und R^e zusammen Niederalkylen, Oxaniederalkylen oder Niederalkylazaniederalkylen mit 4 bis 6 Atomen in der Kette, wobei jedoch Oxa oder Aza nicht in 1-Stellung stehen, z.B. 1,4-Butylen, 1,5-Pentylen, 1,6-Hexylen, 3-Oxa-1,5-pentylen oder 3-Methyl-3-aza-1,5-pentylen, darstellen.

Solche Amide werden nach den üblichen Methoden aus den entsprechenden Carbonsäuren der Formel V hergestellt, wie es z.B. in "Methoden der Organischen Chemie (Houben-Weyl)", Band E5, Thieme Verlag, Stuttgart 1985, Seiten 941-982, beschrieben ist. Beispielsweise werden die Carbonsäuren mit einem üblichen Halogenierungsmittel, z.B. Thionylchlorid, Phosphortri- oder -pentachlorid, Phosgen oder Oxalylchlorid, gegebenenfalls in Gegenwart eines Katalysators, z.B. Zinkchlorid, Pyridin, Dimethylformamid oder Hexamethylphosphorsäuretriamid, ohne Lösungsmittel oder in einem inerten Lösungsmittel, beispielsweise einem Kohlenwasserstoff, z.B. Toluol oder Hexan, oder einem Ether, z.B. Diethylether, bei Temperaturen zwischen 20° und 120°C in das entsprechende Säurehalogenid übergeführt und mit dem entsprechenden Amin, beispielsweise dem Diniederalkylamin oder dem cyclischen sekundären Amin, gegebenenfalls in einem inerten organischen Lösungsmittel, beispielsweise einem Halogenkohlenwasserstoff, z.B. Methylenchlorid, oder einem Ether, z.B. Diethylether und in Gegenwart einer Base, beispielsweise eines Trialkylamins, z.B. von Triethylamin oder Triisopropylamin, Pyridin und/oder 4-Dimethylaminopyridin, bei Temperaturen zwischen -30° und 100°C, z.B. um 0°C, umgesetzt.

Die Amide der Formel VIII, worin R^d und R^e die genannten Bedeutungen haben, werden unter den für Carbonsäuren der Formel V genannten Reaktionsbedingungen der Halolactonisierung unterworfen. Als Halogenierungsmittel können dafür beispielsweise Iod, N-Iodsuccinimid, Brom, N-Bromsuccinimid oder N-Chlorsuccinimid in den genannten Lösungsmitteln oder Lösungsmittelgemischen bei Temperaturen zwischen -30° und 80°C, bevorzugt zwischen 0° und 30°C, eingesetzt werden.

Besonders bevorzugt ist die Halolactonisierung von Amiden der Formel VIII mit N-Bromsuccinimid in Gegenwart einer schwachen Säure, beispielsweise einer Niederalkancarbonsäure, z.B. Essigsäure, in einem wässrig-organischen Lösungsmittelgemisch, z.B. wässrigem Tetrahydrofuran, bei Temperaturen um 0°C. Unter diesen bevorzugten Reaktionsbedingungen werden von den möglichen Diastereomeren überwiegend nur jene gebildet, in welchen der Rest R^2 und die Reste R^1 und X tragende Methylgruppe trans (bezüglich des Lactonringes) zueinander angeordnet und die Substituenten -X und -OCO durch antiperiplanare Addition an die Doppelbindung eingeführt sind.

Für die Halolactonisierung geeignete Hydroxamsäureester sind Verbindungen der Formel VIII, worin R^d Niederalkyl, z.B. Methyl oder Ethyl, und R^e Niederalkoxy, z.B. Methoxy oder Ethoxy, oder R^d und R^e zusammen 1-Oxaniederalkylen mit 4 bis 6 Atomen in der Kette, z.B. 1-Oxa-1,4-butylen oder 1-Oxa-1,5-pentylen, bedeuten. Solche Hydroxamsäureester werden nach den üblichen Methoden aus Carbonsäuren der Formel V hergestellt, wie z.B. in "Houben-Weyl", Band E5, Seiten 1144-1149, beschrieben, beispielsweise durch Umsetzung eines Carbonsäurehalogenids, z.B. des Carbonsäurechlorids, mit einem N,O-Diniederalkylhydroxylamin oder dem entsprechenden cyclischen Hydroxylamin, gegebenenfalls in einem inerten organischen Lösungsmittel und in Gegenwart einer Base, beispielsweise unter den für die Herstellung von Diniederalkylamiden aus Carbonsäurechloriden üblichen Reaktionsbedingungen.

Hydroxamsäureester der Formel VIII, worin R^d Niederalkyl und R^e Niederalkoxy oder R^d und R^e zusammen 1-Oxaniederalkylen bedeuten, werden bevorzugt mit N-Bromsuccinimid in einem der obengenannten Lösungsmittel oder Lösungsmittelgemisch bei Temperaturen zwischen -20° und 80°C, bevorzugt um 0°C, umgesetzt. Dabei wird bevorzugt das gleiche Diastereomere der Formel VI gebildet, das auch bei der bevorzugten Cyclisierung von Carbonsäureamiden entsteht.

Enthalten die Reste R^1 und R^2 empfindliche funktionelle Gruppen, z.B. Carboxy-, Amino-, Hydroxy- oder Mercaptogruppen, in ungeschützter Form, so werden diese Gruppen in Verbindungen der Formel V bevorzugt vor der Halolactonisierung und gegebenenfalls vor der Umwandlung in ein Amid oder einen Hydroxamsäureester der Formel VIII durch eine der weiter oben genannten Schutzgruppen geschützt.

Umwandlung einer Verbindung der Formel VI in eine Verbindung der Formel I:

In Verbindungen der Formel VI wird X mit der Bedeutung Halogen, insbesondere Chlor, Brom oder Iod, durch einen über Stickstoff gebundenen Rest ausgetauscht. Dieser Austausch erfolgt beispielsweise durch eine nukleophile Substitution mit einem geeigneten stickstoffhaltigen Reagens, beispielsweise Azid, Cyanat, leicht spaltbaren sekundären Aminen, z.B. Dibenzylamin, Bis(phenylthio)amin, oder Bis(trimethylsilyl)amin, leicht spaltbaren tertiären Aminen, z.B. Hexamethylentetramin, Imiden, z.B. Phthalimid oder N-Ethoxycarbonyl-p-toluolsulfonamid, Hydrazinen, z.B. N,N-Dimethylhydrazin, Cyanamid, Guanidin oder dergleichen.

Beispielsweise wird in Verbindungen der Formel VI, worin X Chlor, Brom oder Iod bedeutet, nach den üblichen Methoden einer nukleophilen Substitution X durch Azid ausgetauscht, beispielsweise mit Alkylazid, z.B. Natriumazid, oder Ammoniumazid, z.B. unsubstituiertem Ammoniumazid oder Tetrabutylammoniumazid, in einem polaren organischen Lösungsmittel, beispielsweise in einem Niederalkanol, z.B. Methanol oder Ethanol, in einem Diniederalkylketon, z.B. Aceton, einem Nitril, z.B. Acetonitril, einem Amid, z.B. Dimethylformamid, N,N-Dimethylacetamid, N-Methylpyrrolidon oder Hexamethylphosphorsäuretriamid, einem Harnstoff, z.B. N,N'-Dimethyl-N,N'-propylenharnstoff, einem polaren Ether, z.B. Tetrahydrofuran, Dioxan, Dimethoxyethan oder Diethylenglykoldimethylether, einem Niederalkoxyniederalkanol, z.B. Diethylenglykolmonomethyl- oder monobutylether, Dimethylsulfoxid oder Mischungen der genannten Lösungsmittel untereinander oder mit Wasser, bei Temperaturen

zwischen 0° und 200°C, bevorzugt zwischen 20° und 50°C. Der Austausch von Halogen X durch Azid kann auch in zweiphasigen Systemen, bevorzugt in Gegenwart eines Phasentransferkatalysators, erreicht werden, beispielsweise in Wasser-Halogenkohlenwasserstoff-Mischungen, z.B. Wasser-Chloroform oder Wasser-Methylenchlorid, oder in Wasser-Kohlenwasserstoff-Mischungen, z.B. Wasser-Toluol, beispielsweise unter Zusatz eines Benzyltriniederalkylammoniumsalzes, z.B. Benzyltrimethylammonium-chlorid oder -hydrogensulfat, oder eines langkettigen Alkyltriniederalkylammonium- oder phosphoniumsalzes, z.B. Hexadecyltrimethylammonium- oder -phosphoniumchlorid, bei Temperaturen zwischen 0° und 100°C, bevorzugt zwischen 20° und 80°C.

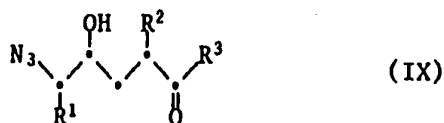
Für den Austausch des Restes X mit der Bedeutung Halogen durch Cyanat verwendet man beispielsweise Alkalicyanat, z.B. Kaliumcyanat oder Natriumcyanat, oder Ammoniumcyanat, z.B. Tetrabutylammoniumcyanat, in einem der obengenannten polaren aprotischen Lösungsmittel, z.B. in Acetonitril, Dimethylformamid, N-Methylpyrrolidon, Tetrahydrofuran, Dimethoxyethan, Dimethylsulfoxid oder dergleichen bei den genannten Temperaturen. Der Austausch ist auch möglich mit Silbercyanat in unpolaren Lösungsmitteln, z.B. Benzol oder Toluol, bei Temperaturen zwischen -20° und 50°C, z.B. um 0°C.

Unter den gleichen Bedingungen wie Azid oder Cyanat können auch andere salzartige Stickstoff-Nukleophile eingeführt werden, beispielsweise das Kaliumsalz von Phthalimid oder Natrium- oder Kalium-N-ethoxycarbonyl-p-toluolsulfonamid.

Die genannten polaren Lösungsmittel und Reaktionstemperaturen sind ebenfalls geeignet für die Einführung der übrigen genannten Stickstoff-Nukleophile, z.B. von Dibenzylamin oder N,N-Dimethylhydrazin. Dabei ist jedoch je nach Art der Substituenten R^1 und R^2 der Austausch unter derart kontrollierten Bedingungen durchzuführen, dass nicht gleichzeitig die Carbonylgruppe des Lactonringes mit dem Stickstoff-haltigen nukleophilen Reagens umgesetzt und ein offenkettiges Säurederivat gebildet wird.

Durch die oben beschriebene Umwandlung der Verbindung der Formel VI, in der X Halogenid bedeutet, in eine Verbindung der Formel VI, in der X ein stickstoffhaltiger Rest, z.B. Azid, bedeutet, kehrt sich die Konfiguration am den Substituenten X tragenden Kohlenstoffatom um. Wird beispielsweise von einem Diastereomeren ausgegangen, in dem das den Rest X tragende Kohlenstoffatom die R-Konfiguration aufweist, so zeigt z.B. das gebildete Azid oder Cyanat an diesem Kohlenstoffatom S-Konfiguration, wobei die Konfiguration an den übrigen chiralen Zentren, insbesondere am Kohlenstoffatom, das den Rest -OCO, und am Kohlenstoffatom, das den Rest R² trägt, unverändert bleibt.

Ein auf die oben beschriebene Art und Weise hergestelltes Lacton der Formel VI, worin X Azid bedeutet, wird entweder zuerst mit einer den Rest R³ einführenden Verbindung umgesetzt, wobei eine Verbindung der Formel



gebildet wird, oder zuerst mit einem Reduktionsmittel behandelt, wobei eine Verbindung der Formel VI, worin X Amino bedeutet, entsteht.

Hat R³ die Bedeutung unsubstituiertes oder substituiertes Amino, so wird bevorzugt das Lacton der Formel VI, worin X Azid bedeutet, in eine offenkettige Verbindung der Formel IX umgewandelt.

Ist R³ Amino, so ist das Reagens beispielsweise Ammoniak, z.B. gasförmiges Ammoniak oder Ammoniak in konzentrierter oder verdünnter wässriger Lösung. Die Umsetzung mit Ammoniak wird bevorzugt bei Temperaturen zwischen -30° und 30°C, bevorzugt um 0°C, durchgeführt.

Ist R^3 monosubstituiertes Amino, so ist das Reagens bevorzugt das entsprechende primäre Amin. Die Reaktion kann ohne Lösungsmittel oder in einem polaren Lösungsmittel durchgeführt werden, beispielsweise in einem Niederalkanol, z.B. Methanol oder Ethanol, einem polaren Ether, z.B. Tetrahydrofuran oder Dioxan, einem Nitril, z.B. Acetonitril, oder in einem anderen der oben bei der Umwandlung in ein Azid genannten polaren Lösungsmittel, auch in Mischungen der Lösungsmittel untereinander oder mit Wasser. Die Lactonringöffnung mit einem primären Amin wird bei Temperaturen zwischen -30° und 100°C , bevorzugt zwischen 20° und 80°C , durchgeführt.

Ist R^3 disubstituiertes oder cyclisches Amino, so ist das Reagens das entsprechende sekundäre Amin. Dabei werden die gleichen Reaktionsbedingungen wie bei primären Aminen angewendet.

Ist R^3 gegebenenfalls substituiertes Hydroxy, so ist die Öffnung des Lactonringes der Formel VI, worin X Azid bedeutet, zwar mit den weiter unten genannten, den Rest R^3 einführenden Reagentien möglich, aber von geringem praktischem Nutzen, weil gleichzeitig die Azidgruppe teilweise oder vollständig eliminiert wird.

Enthält der Rest R^3 empfindliche funktionelle Gruppen, z.B. Carboxy-, Amino-, Hydroxy- oder Mercaptogruppen, so werden diese im Reagens vor der Umsetzung mit Verbindungen der Formel VI vorteilhafterweise durch eine der weiter vorn genannten Schutzgruppen geschützt.

Im nächsten Reaktionsschritt wird der Azidrest in einer Verbindung der Formel IX reduktiv in eine Aminogruppe umgewandelt. Bevorzugt wird die Reduktion durch katalytische Hydrierung mit Wasserstoff erreicht, beispielsweise in Gegenwart eines Edelmetallkatalysators, wie Platin, z.B. als Platinoxid, feinverteiltes metallisches Platin oder auf einen Träger aufgebracht metallisches Platin, Palladium, z.B. in Form von metallischem Palladium auf einem Träger, z.B. auf Aktivkohle, oder auch in Gegenwart von aktiviertem Nickel, z.B. Raney-Nickel. Die katalytische Hydrierung wird vorzugsweise in

einem inerten Lösungsmittel oder Lösungsmittelgemisch, beispielsweise in einem halogenierten Kohlenwasserstoff, z.B. Methylenchlorid, einem Ether, z.B. Tetrahydrofuran oder Dioxan, einem Ester, z.B. Essigsäureethylester, einem Alkohol, z.B. Methanol oder Ethanol, oder Mischungen der genannten Lösungsmittel untereinander oder mit Wasser bei Temperaturen zwischen 0° und 50°C, beispielsweise zwischen 20° und 30°C, durchgeführt. Die Azidgruppe kann auch mit anderen Reduktionsmitteln, z.B. mit metallischem Zink in Gegenwart einer Säure, mit Lithiumaluminiumhydrid, ferner mit Triphenylphosphin oder Triethylphosphit und anschließender Säurebehandlung, in die Aminogruppe umgewandelt werden.

Enthält eine Verbindung der Formel IX funktionelle Gruppen in durch Schutzgruppen geschützter Form, so können diese je nach Art der Schutzgruppe und je nach Reaktionsbedingungen während der Reduktion der Azidgruppe der Formel IX freigesetzt werden.

Das Lacton der Formel VI, worin X Azid bedeutet, kann erfindungsgemäss auch in ein Lacton der Formel VI, worin X Amino bedeutet, umgewandelt und nach Schutz der Aminofunktion mit einem den Rest R^3 einführenden Reagens geöffnet werden.

Zur Reduktion des Azidrestes in einem Lacton der Formel VI sind die oben für die Reduktion des Azidrestes in einer Verbindung der Formel IX genannten Bedingungen geeignet.

Die Aminogruppe in einem solchermassen reduzierten Lacton der Formel VI wird vor der Einführung des Restes R^3 vorzugsweise mit einer Schutzgruppe geschützt. Geeignete Amino-Schutzgruppen und Bedingungen für ihre Einführung sind weiter oben genannt. Vorzugsweise werden Schutzgruppen verwendet, die unter den Bedingungen der Lactoring-Oeffnung, insbesondere in Gegenwart einer Base, stabil sind, beispielsweise gegebenenfalls substituiertes Niederalkanoyl, gegebenenfalls substituiertes Benzoyl oder Arylmethyl, z.B. Trityl.

Ist R^3 unsubstituiertes oder substituiertes Amino, so wird das Lacton der Formel VI, worin X gegebenenfalls geschütztes Amino bedeutet, mit einem der oben genannten Reagentien unter den erwähnten Reaktionsbedingungen in eine gegebenenfalls an der Aminofunktion geschützte Verbindung der Formel I übergeführt.

Ist R^3 Hydroxy, so wird die Lactonringöffnung mit einer wässrigen Base, beispielsweise einem Alkali- oder Erdalkalihydroxid, z.B. Lithium-, Natrium- oder Kaliumhydroxid oder Calciumhydroxid, oder einem tetrasubstituierten Ammoniumhydroxid, z.B. Benzyltrimethylammoniumhydroxid, in wässriger Lösung bei Temperaturen zwischen 0° und 100°C , beispielsweise zwischen 20° und 50°C , durchgeführt.

Ist R^3 substituiertes Hydroxy, so ist das Reagens beispielsweise der entsprechende Alkohol. Die Ringöffnung wird dabei in einem Ueberschuss des entsprechenden Alkohols ohne Lösungsmittel oder in Gegenwart eines der bei der Umwandlung des Halolactons ins Azid genannten polaren organischen Lösungsmittels mit Ausnahme der genannten Niederalkanole bei den angegebenen Temperaturen umgesetzt, bevorzugt in Gegenwart einer katalytischen oder äquimolaren Menge des dem Reagens entsprechenden Alkoholats, z.B. des Natrium-, Kalium- oder Titanetetra-alkoholats.

Ein auf die weiter oben beschriebene Art und Weise hergestelltes Lacton der Formel VI, worin X Cyanat bedeutet, wird vorzugsweise mit einem Alkohol, z.B. Benzylalkohol, umgesetzt, wobei der Alkohol an die Carbonylgruppe der Cyanat-Gruppe addiert und ein Kohlensäurehalbester-geschütztes Derivat der Verbindung der Formel VI, worin X Amino bedeutet, entsteht. Eine solche geschützte Verbindung wird wie oben beschrieben mit einem den Rest R^3 einführenden Reagens umgesetzt und dabei in eine an der Aminofunktion durch den Acylrest eines Kohlensäurehalbesters geschützte Verbindung der Formel I übergeführt.

Lactone der Formel VI, worin X ein anderer stickstoffhaltiger Rest als Azid oder Cyanat bedeutet, werden vorzugsweise zuerst mit einem den Rest R^3 einführenden Reagens in der oben beschriebenen Art und Weise umgesetzt.

Im letzten Schritt wird dann aus dem stickstoffhaltigen Rest die Aminogruppe freigesetzt. Ist dieser Rest Dibenzylamino, Hydrazino oder N,N-Dimethylhydrazino, so erfolgt die Freisetzung durch katalytische Hydrierung, beispielsweise unter Bedingungen, wie sie oben für die Reduktion des Azidrestes genannt sind. Aus Phthalimido wird die Aminogruppe vorzugsweise durch Hydrazinolyse freigesetzt. Die Spaltung der Bis(phenylthio)aminogruppe, der Bis(trimethylsilyl)aminogruppe oder des mit Hexamethylentetramin gebildeten Ammoniumsalzes erfolgt beispielsweise mit Säure, z.B. mit wässriger Mineralsäure, wie Salzsäure oder Schwefelsäure. Mit wässriger Säure und/oder Base werden die entsprechenden Cyanamino-, Guanidino- und Ethoxycarbonyl-p-toluolsulfonamido-Gruppen hydrolysiert.

Nachoperationen:

In einer nach dem oben beschriebenen Verfahren hergestellten Verbindung der Formel I oder irgendeinem der genannten Zwischenprodukte der Formeln IV, V, VI, VIII oder IX, worin eine oder mehrere funktionelle Gruppen geschützt sind, können diese Gruppen, z.B. Carboxy-, Amino-, Hydroxy- und/oder Mercaptogruppen, in an sich bekannter Weise mittels Solvolyse, insbesondere Hydrolyse, gegebenenfalls enzymatischer Hydrolyse, Alkoholyse oder Acidolyse, oder mittels Reduktion, insbesondere Hydrogenolyse oder chemischer Reduktion, gegebenenfalls stufenweise oder gleichzeitig, freigesetzt werden. Die Abspaltung der Schutzgruppen ist in den weiter vorn genannten Standardwerken beschrieben.

Beispielsweise kann man geschütztes Carboxy, z.B. tert-Niederalkoxycarbonyl, in 2-Stellung durch eine organische Silylgruppe oder in 1-Stellung durch Niederalkoxy oder Niederalkylthio substituiertes Niederalkoxycarbonyl oder gegebenenfalls substituiertes Diphenyl-

methoxycarbonyl durch Behandeln mit einer geeigneten Säure, wie Ameisensäure oder Trifluoressigsäure, gegebenenfalls unter Zugabe einer nukleophilen Verbindung, wie Phenol oder Anisol, in freies Carboxy überführen. Gegebenenfalls substituiertes Benzyloxycarbonyl kann beispielsweise mittels Hydrogenolyse, d.h. durch Behandeln mit Wasserstoff in Gegenwart eines metallischen Hydrierkatalysators, wie eines Palladiumkatalysators, freigesetzt werden. Ferner kann man geeignet substituiertes Benzyloxycarbonyl, wie 4-Nitrobenzyloxycarbonyl, auch durch Reduktion, beispielsweise durch Behandeln mit einem Alkalimetall-, z.B. Natrium-lithionit, mit einem reduzierenden Metall, z.B. Zink, oder einem reduzierenden Metallsalz, wie einem Chrom-II-salz, z.B. Chrom-II-chlorid, üblicherweise in Gegenwart eines Wasserstoff-abgebenden Mittels, das zusammen mit dem Metall naszierenden Wasserstoff zu erzeugen vermag, wie einer Säure, in erster Linie einer geeigneten Carbonsäure, z.B. einer gewünschtenfalls substituierten Niederalkancarbonsäure, z.B. Essigsäure, Ameisensäure, Glycolsäure, Diphenylglycolsäure, Milchsäure, Mandelsäure, 4-Chlormandelsäure oder Weinsäure, oder eines Alkohols oder Thiols, wobei man vorzugsweise Wasser zugibt, in freies Carboxy überführen. Durch Behandeln mit einem reduzierenden Metall oder Metallsalz, wie oben beschrieben, kann man auch 2-Halogenniederalkoxycarbonyl (gegebenenfalls nach Umwandlung einer 2-Bromniederalkoxycarbonylgruppe in eine entsprechende 2-Iodniederalkoxycarbonylgruppe) oder Aroylmethoxycarbonyl in freies Carboxy umwandeln. Aroylmethoxycarbonyl kann ebenfalls durch Behandeln mit einem nukleophilen, vorzugsweise salzbildenden Reagens, wie Natriumthiophenolat oder Natriumiodid, gespalten werden. 2-Triniederalkylsilylniederalkoxycarbonyl kann auch durch Behandeln mit einem, das Fluoridanion liefernden Salz der Fluorwasserstoffsäure, wie einem Alkalimetallfluorid, z.B. Natrium- oder Kaliumfluorid, gegebenenfalls in Anwesenheit eines macrocyclischen Polyethers ("Kronen-ether"), oder mit einem Fluorid einer organischen quaternären Base, wie Tetraniederalkylammoniumfluorid oder Benzyltriniederalkylammoniumfluorid, z.B. Tetraethylammoniumfluorid oder Tetrabutylammoniumfluorid, in Gegenwart eines aprotischen, polaren Lösungsmittels, wie Dimethylsulfoxid oder N,N-Dimethylacetamid, in freies Carboxy

überführt werden. Verestertes Carboxy kann auch enzymatisch gespalten werden, z.B. verestertes Arginin oder Lysin, wie Lysinmethylester, mittels Trypsin.

Eine geschützte Aminogruppe setzt man in an sich bekannter und je nach Art der Schutzgruppen in verschiedenartiger Weise, vorzugsweise mittels Solvolyse oder Reduktion, frei. 2-Halogenniederalkoxycarbonylamino (gegebenenfalls nach Umwandlung einer 2-Bromniederalkoxycarbonylamino-Gruppe in eine 2-Iodniederalkoxycarbonylamino-Gruppe), Aroylmethoxycarbonylamino oder 4-Nitrobenzyloxycarbonylamino können z.B. durch Behandeln mit einem geeigneten Reduktionsmittel, wie Zink in Gegenwart einer geeigneten Carbonsäure, z.B. wässriger Essigsäure, gespalten werden. Aroylmethoxycarbonylamino kann auch durch Behandeln mit einem nukleophilen, vorzugsweise salzbildenden Reagens, wie Natriumthiophenolat, und 4-Nitrobenzyloxycarbonylamino auch durch Behandeln mit einem Alkalimetall-, z.B. Natrium-dithionit, gespalten werden. Gegebenenfalls substituiertes Diphenylmethoxycarbonylamino, tert-Niederalkoxycarbonylamino oder 2-Triniederalkylsilylniederalkoxycarbonylamino können durch Behandeln mit einer geeigneten Säure, z.B. Ameisen- oder Trifluoressigsäure, gegebenenfalls substituiertes Benzyloxycarbonylamino z.B. mittels Hydrogenolyse, d.h. durch Behandeln mit Wasserstoff in Gegenwart eines geeigneten Hydrierkatalysators, wie eines Palladiumkatalysators, und gegebenenfalls substituiertes Triarylmethylamino oder Formylamino z.B. durch Behandeln mit einer Säure, wie Mineralsäure, z.B. Salzsäure, oder einer organischen Säure, z.B. Ameisen-, Essig- oder Trifluoressigsäure, gegebenenfalls in Gegenwart von Wasser, freigesetzt werden. Eine durch 2-Halogenacetyl, z.B. 2-Chloracetyl, geschützte Aminogruppe kann durch Behandeln mit Thioharnstoff in Gegenwart einer Base oder mit einem Thiolatsalz, z.B. einem Alkalimetallthiolat des Thioharnstoffs, und anschließende Solvolyse, z.B. Alkoholyse oder Hydrolyse, des entstandenen Kondensationsprodukts freigesetzt werden. Eine durch 2-Triniederalkylsilylniederalkoxycarbonyl geschützte Aminogruppe kann auch durch Behandeln mit einem

Fluoridanionen liefernden Salz der Fluorwasserstoffsäure, wie oben im Zusammenhang mit der Freisetzung einer entsprechend geschützten Carboxygruppe angegeben, in die freie Aminogruppe überführt werden.

Eine durch eine geeignete Acylgruppe oder durch gegebenenfalls substituiertes 1-Phenylniederalkyl geschützte Hydroxy- oder Mercaptogruppe wird analog einer entsprechend geschützten Aminogruppe freigesetzt. Eine durch 2,2-Dichloracetyl geschützte Hydroxygruppe wird z.B. durch basische Hydrolyse, eine durch tert-Niederalkyl, Silyl oder durch einen 2-oxa- oder 2-thia-aliphatischen oder -cycloaliphatischen Kohlenwasserstoffrest geschützte Hydroxy- oder Mercaptogruppe durch Acidolyse, z.B. durch Behandeln mit einer Mineralsäure oder einer starken Carbonsäure, z.B. Trifluoressigsäure, freigesetzt. Eine durch eine organische Silylgruppe geschützte Hydroxy- oder Mercaptogruppe lässt sich auch mit einem Fluoridsalz freisetzen, wie oben für die Freisetzung einer entsprechend geschützten Carboxygruppe angegeben ist. Eine als Disulfid, z.B. durch Niederalkylthio, geschützte Mercaptogruppe wird reduktiv freigesetzt, beispielsweise mit Lithiumaluminiumhydrid oder Natriumborhydrid. Thioacetale lassen sich mit Quecksilbersalzen, z.B. wässrigem Quecksilberacetat, spalten.

Eine nach dem oben beschriebenen Verfahren hergestellte Verbindung der Formel I oder irgendeines der genannten Zwischenprodukte der Formeln IV, V, VI, VIII oder IX kann in eine andere Verbindung der Formel I oder in ein anderes entsprechende Zwischenprodukt der Formeln IV, V, VI, VIII oder IX umgewandelt werden.

Beispielsweise kann man eine Amino-, Hydroxy- oder Mercaptogruppe R^2 oder auch eine Carboxygruppe in einem Carboxyalkylrest, eine Aminogruppe in einem Aminoalkylrest oder eine Hydroxygruppe in einem Hydroxyalkylrest R^1 , R^2 , R^3 oder R^4 mit einem Alkylierungsmittel alkylieren. Geeignete Alkylierungsmittel sind beispielsweise Alkylhalogenide, Sulfonsäureester, Meerweinsalze oder 1-substituierte 3-Aryltriazene, für Methylierungen auch Diazomethan. Eine

Amino-, Hydroxy- oder Mercaptogruppe kann auch acyliert werden, beispielsweise unter den bei der Einführung von Acyl-Schutzgruppen beschriebenen Reaktionsbedingungen.

Feiner kann man eine substituierte Mercaptogruppe R^2 oder R^4 zu einer Sulfinyl- oder Sulfonylgruppe oder eine Sulfinylgruppe R^2 oder R^4 zu einer Sulfonylgruppe oxidieren. Für diese Oxidationen verwendet man vorzugsweise selektive Oxidationsmittel, z.B. aromatische oder aliphatische Peroxycarbonsäuren, z.B. m-Chlorperbenzoesäure oder Peressigsäure, Wasserstoffperoxid, Kaliumperoxomonosulfat oder tert-Butylhypochlorit. Gleichermassen ist es möglich, eine Sulfonylgruppe oder Sulfinylgruppe R^2 oder R^4 in eine substituierte Mercaptogruppe umzuwandeln, beispielsweise mit Hydriden, z.B. Diisobutylaluminiumhydrid oder Natriumborhydrid, katalytischem Wasserstoff, Boranen, z.B. Dichlorboran, oder dergleichen.

Salze von Verbindungen der Formel I oder von den genannten Zwischenprodukten erhält man in üblicher Weise, z.B. Säureadditionssalze durch Behandeln mit einer Säure oder einem geeigneten Anionenaustauscherreagens, wobei man vorzugsweise stöchiometrische Mengen oder nur einen kleinen Ueberschuss des salzbildenden Mittels verwendet. Innere Salze von Verbindungen der Formel I, welche z.B. eine freie Carboxygruppe enthalten, können z.B. durch Neutralisieren von Salzen, wie Säureadditionssalzen, auf den isoelektrischen Punkt, z.B. mit schwachen Basen, oder durch Behandeln mit Ionenaustauschern gebildet werden. Salze von Verbindungen der Formeln IV oder V mit Carboxygruppen kann man z.B. durch Behandeln mit Metallverbindungen, wie Alkalimetallsalzen von geeigneten organischen Carbonsäuren, z.B. dem Natriumsalz der 2-Ethylhexansäure, oder mit anorganischen Alkali- oder Erdalkalimetallsalzen, z.B. Natriumhydrogencarbonat, oder mit Ammoniak oder einem geeigneten organische Amin bilden.

Salze können in üblicher Weise in die freien Verbindungen übergeführt werden, Metall- und Ammoniumsalze z.B. durch Behandeln mit geeigneten Säuren, Säureadditionssalze z.B. durch Behandeln mit einem geeigneten basischen Mittel.

Stereoisomerengemische, insbesondere Diastereomerengemische, können in an sich bekannter Weise, z.B. durch fraktionierte Kristallisation, Chromatographie etc., in die einzelnen Isomeren aufgetrennt werden.

Racemate können in an sich bekannter Weise gespalten werden, z.B. nach Ueberführen der optischen Antipoden in diastereomere Salze, beispielsweise durch Umsetzung mit chiralen, gewünschtenfalls enantiomerenreinen Carbon- oder Sulfonsäuren, analog dem bei der Enantiomerentrennung von Verbindungen der Formel V oben beschriebenen Verfahren.

Das Verfahren der Erfindung umfasst auch diejenigen Ausführungsformen, bei denen Zwischenprodukte isoliert und die restlichen Verfahrensschritte mit diesen durchgeführt werden, Ausgangsstoffe und Reagentien in situ hergestellt werden und/oder Zwischen- und Endprodukte ohne Isolierung weiterverarbeitet werden.

Insbesondere betrifft die Erfindung auch die im folgenden genannten neuen Verfahrensschritte unter den genannten bevorzugten Reaktionsbedingungen als solche oder als Teil eines gesamten Verfahrens zur Herstellung der Verbindungen der Formel I.

Bevorzugt ist ein Verfahren zur Herstellung von Verbindungen der Formel IV, worin R^1 und R^b die oben genannten Bedeutungen haben und R^a Wasserstoff und R^c Wasserstoff oder Niederalkyl bedeuten, dadurch gekennzeichnet, dass man einen Allylalkohol der Formel II mit einem Malonester der Formel III, worin R^a eine Gruppe $COOR^b$ und R^b Niederalkyl, z.B. Ethyl, bedeuten, in Gegenwart eines Tetraalkoxy-Derivats von Titan oder Zirkon bei Temperaturen zwischen 150° und $250^\circ C$ umsetzt, und gewünschtenfalls die erhaltliche Verbindung der Formel IV, worin R^a Wasserstoff und R^c Niederalkyl bedeuten, mit einer wässrigen Base hydrolysiert.

Ganz besonders bevorzugt ist das genannte Verfahren unter Verwendung von 1 % bis 30 % eines Tetraniederalkoxy-Derivats von Titan, z.B. von Titan-tetraethoxid.

Ebenfalls bevorzugt ist ein Verfahren zur Herstellung von Verbindungen der Formel VI, worin X Chlor, Brom oder Iod bedeutet, dadurch gekennzeichnet, dass eine Verbindung der Formel VIII, worin R^1 und R^2 die obengenannten Bedeutungen haben, R^d und R^e unabhängig voneinander Niederalkyl, Cycloalkyl, Arylniederalkyl oder zusammen Niederalkylen, Oxaniederalkylen oder Niederalkylazaniederalkylen mit 4 bis 6 C-Atomen in der Kette, wobei jedoch Aza nicht in 1-Stellung steht, oder R^d Niederalkyl und R^e Niederalkoxy bedeuten, mit einem Halogenierungsmittel, z.B. N-Chlorsuccinimid, N-Bromsuccinimid, Iod oder N-Iodsuccinimid, und, wenn R^e verschieden von Niederalkoxy und R^d und R^e zusammen verschieden von 1-Oxaniederalkylen sind, in Gegenwart einer schwachen Säure, z.B. einer Niederalkancarbonsäure, in einem inerten organischen Lösungsmittel oder einem organischen oder wässrig-organischen Lösungsmittelgemisch bei Temperaturen zwischen -20° und 80°C umgesetzt wird.

Ganz besonders bevorzugt ist ein Verfahren zur Herstellung von Verbindungen der Formel VI, worin X Brom bedeutet, dadurch gekennzeichnet, dass eine Verbindung der Formel VIII, worin R^1 und R^2 die obengenannten Bedeutungen haben und R^d und R^e gleiches oder verschiedenes Niederalkyl oder zusammen Niederalkylen oder Oxaniederalkylen mit 4 bis 6 Atomen in der Kette darstellen, mit N-Bromsuccinimid in Gegenwart einer schwachen Säure, z.B. einer Niederalkancarbonsäure, z.B. Essigsäure, in einem wässrig-organischen Lösungsmittelgemisch, z.B. wässrigem Tetrahydrofuran, bei Temperaturen um 0°C umgesetzt wird.

Gleichermaßen bevorzugt ist ein Verfahren zur Herstellung von Verbindungen der Formel VI, worin X Brom bedeutet, dadurch gekennzeichnet, dass eine Verbindung der Formel VIII, worin R^1 und R^2 die obengenannten Bedeutungen haben, R^d Niederalkyl und R^e Niederalkoxy oder R^d und R^e zusammen 1-Oxaniederalkylen mit 4 bis 6 Atomen in der

Kette bedeuten, mit N-Bromsuccinimid in einem wässrig-organischen Lösungsmittelgemisch, z.B. wässrigem Tetrahydrofuran, bei Temperaturen um 0°C umgesetzt wird.

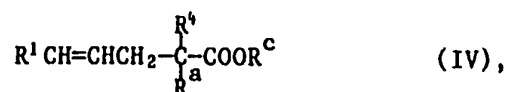
In allen genannten Verfahren werden vorzugsweise solche Ausgangsstoffe verwendet und die Reaktionsbedingungen so gewählt, dass man zu den eingangs als besonders bevorzugt aufgeführten Verbindungen gelangt.

Ausgangsstoffe der Formel II sind bekannt oder können, wenn sie neu sind, analog bekannten Verfahren hergestellt werden, beispielsweise durch Grignardaddition von Vinylmagnesiumbromid an einen Aldehyden der Formel R^1CHO oder durch Reduktion eines Ethinylketons $R^1COC\equiv CH$.

Säuren und Ester der Formel III sind ebenfalls bekannt oder können nach bekannten Methoden hergestellt werden. Ist R^a eine Gruppe $COOR^b$, so erhält man die entsprechenden Verbindungen der Formel III durch Reaktion des unsubstituierten Malonesters mit einem den Rest R^b einführenden Alkylierungsmittel oder, wenn R^b Halogen, gegebenenfalls substituiertes Hydroxy oder Amino bedeutet, mit dem entsprechenden Halogenierungs-, Oxidations- oder Aminierungsmittel. Durch Hydrolyse und Decarboxylierung erhält man auf bekannte Art und Weise aus Malonestern der Formel III, worin R^a eine Gruppe $COOR^b$ ist, die entsprechenden Säuren oder Ester der Formel III, worin R^a Wasserstoff bedeutet. Ist R^b Halogen, gegebenenfalls substituiertes Hydroxy oder Amino, so werden die entsprechenden Verbindungen der Formel III, worin R^a Wasserstoff ist, nach den üblichen Methoden zur Herstellung von α -Halo-, α -Hydroxy- und α -Amino-Carbonsäuren und Derivaten davon erhalten.

Die Erfindung betrifft ausserdem die im beschriebenen Verfahren verwendeten neuen Zwischenprodukte, insbesondere die neuen Verbindungen der Formeln IV, V, VI, VIII und IX.

Beispielsweise betrifft die Erfindung Verbindungen der Formel



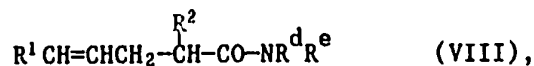
worin R^1 Cycloalkylniederalkyl, R^b gegebenenfalls substituiertes Alkyl, Cycloalkyl, Cycloalkylniederalkyl, Aryl, Arylniederalkyl, Amino, Hydroxy, Mercapto, Sulfinyl, Sulfonyl, Halogen oder den Rest einer natürlichen Aminosäure ausser Glycin, R^a Wasserstoff und R^c Wasserstoff, einen Kohlenwasserstoffrest oder einen Silylrest bedeuten, und Salze von solchen Verbindungen mit salzbildenden Gruppen.

Bevorzugt sind Verbindungen der Formel IV, worin R^1 die unter Formel I als bevorzugt genannten Reste und R^b die unter Formel I für R^2 als bevorzugt genannten Reste oder Halogen bedeuten. Besonders bevorzugt sind Verbindungen der Formel IV, worin R^c Wasserstoff bedeutet, Verbindungen der Formel V, ferner Salze davon, reine Enantiomere und Salze reiner Enantiomere.

Salze von Verbindungen der Formeln IV und V sind beispielsweise die weiter vorn unter Formel I genannten Säureadditionssalze, falls R^2 oder R^b gegebenenfalls substituiertes Amino bedeutet, ferner Salze der Carboxygruppe in Verbindungen der Formel IV, in denen R^b und/oder R^c Wasserstoff bedeuten, z.B. wie in Verbindungen der Formel V, in erster Linie Alkalimetall-, z.B. Natrium- oder Kaliumsalze, Erdalkalimetall-, z.B. Magnesium- oder Calciumsalze, ferner Zinksalze oder gegebenenfalls substituierte Ammoniumsalze, beispielsweise Salze mit organischen Aminen, z.B. mit den weiter oben genannten, für die Racematspaltung geeigneten chiralen Aminen, oder mit achiralen, gegebenenfalls durch Hydroxy substituierten Mono-, Di- oder Trialkylaminen, z.B. mit Diethylamin, Di-(2-hydroxyethyl)-amin, Triethylamin, Tris(hydroxymethyl)methylamin oder Tri-(2-hydroxyethyl)-amin, mit Cycloalkylaminen, z.B. Cyclohexylamin, Dicyclohexylamin oder Ethylcyclohexylamin, oder mit Arylniederalkylaminen,

z.B. mit Benzylamin, ferner tetrasubstituierte organische Ammoniumsalze, z.B. Tetramethyl-, Tetrabutyl- oder Benzyltrimethylammoniumsalze.

Weiter betrifft die Erfindung Verbindungen der Formel

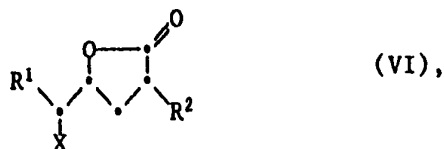


worin R^1 gegebenenfalls substituiertes Alkyl mit 2 und mehr Kohlenstoffatomen, Cycloalkyl, Cycloalkylniederalkyl, Aryl, Arylniederalkyl oder den Rest einer natürlichen Aminosäure ausser Glycin und Alanin, R^2 gegebenenfalls substituiertes Alkyl, Cycloalkyl, Cycloalkylniederalkyl, Aryl, Arylniederalkyl, Amino, Hydroxy, Mercapto, Sulfinyl, Sulfonyl oder den Rest einer natürlichen Aminosäure ausser Glycin und R^d und R^e unabhängig voneinander Niederalkyl, Cycloalkyl oder Arylniederalkyl, R^d und R^e zusammen Niederalkylen, Oxaniederalkylen oder Niederalkylazaniederalkylen mit 4 bis 6 C-Atomen in der Kette, wobei Aza nicht in 1-Stellung steht, oder R^d Niederalkyl und R^e Niederalkoxy bedeuten, und Salze von solchen Verbindungen, in denen R^2 gegebenenfalls substituiertes Amino bedeutet.

Bevorzugt sind Verbindungen der Formel VIII, worin R^1 und R^2 die unter Formel I als bevorzugt genannten Reste sind. Ebenfalls bevorzugt sind Verbindungen, in denen R^d Niederalkyl und R^e Niederalkyl oder Niederalkoxy oder R^d und R^e zusammen Niederalkylen oder Oxaniederalkylen mit 4 bis 6 Atomen in der Kette darstellen, und reine Enantiomere davon.

Salze von Verbindungen der Formel VIII, worin R^2 gegebenenfalls substituiertes Amino bedeutet, sind beispielsweise die weiter vorn unter Formel I genannten Säureadditionssalze.

Weiter betrifft die Erfindung Verbindungen der Formel

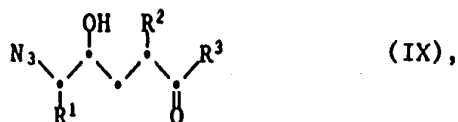


worin R^1 gegebenenfalls substituiertes Alkyl mit 2 und mehr Kohlenstoffatomen, Cycloalkyl, Cycloalkylniederalkyl, Aryl, Arylniederalkyl oder den Rest einer natürlichen Aminosäure ausser Glycin und Alanin, R^2 gegebenenfalls substituiertes Alkyl, Cycloalkyl, Cycloalkylniederalkyl, Aryl, Arylniederalkyl, Amino, Hydroxy, Mercapto, Sulfinyl, Sulfonyl oder den Rest einer natürlichen Aminosäure ausser Glycin und X Chlor, Brom, Iod, Azid, Cyanat oder Amino bedeuten, und Salze von solchen Verbindungen mit salzbildenden Gruppen.

Bevorzugt sind Verbindungen der Formel VI, worin R^1 und R^2 die unter Formel I als bevorzugt genannten Reste sind, ferner reine Diastereomere oder Enantiomere dieser Verbindungen. Besonders bevorzugt sind Diastereomere der genannten Verbindungen, worin X Chlor, Brom oder Iod, insbesondere Brom, sind und die Kohlenstoffatome, die die Reste X und -OCO tragen, die R- und S-Konfiguration oder die S- und R-Konfiguration aufweisen, ferner reine Enantiomere dieser Diastereomeren. Gleichermassen bevorzugt sind Diastereomere der genannten Verbindungen, worin X Azid ist und die Kohlenstoffatome, die die Reste X und -OCO tragen, die R- und R-Konfiguration oder die S- und S-Konfiguration aufweisen, ferner reine Enantiomere dieser Diastereomeren.

Salze von Verbindungen der Formel VI mit salzbildenden Gruppen sind beispielsweise die weiter vorn unter Formel I genannten Säureadditionssalze von Verbindungen, in denen X Amino und/oder R^2 gegebenenfalls substituiertes Amino bedeuten.

Die Erfindung betrifft ebenfalls Verbindungen der Formel



worin R^1 Wasserstoff, gegebenenfalls substituiertes Alkyl, Cycloalkyl, Cycloalkylniederalkyl, Aryl, Arylniederalkyl oder den Rest einer natürlichen Aminosäure, R^2 Wasserstoff, gegebenenfalls substituiertes Alkyl, Cycloalkyl, Cycloalkylniederalkyl, Aryl, Arylniederalkyl, Amino, Hydroxy, Mercapto, Sulfinyl, Sulfonyl oder den Rest einer natürlichen Aminosäure und R^3 gegebenenfalls substituiertes Amino darstellen, und Salze von solchen Verbindungen mit salzbildenden Gruppen.

Bevorzugt sind Verbindungen der Formel IX, worin R^1 , R^2 und R^3 die unter Formel I als bevorzugt genannten Reste sind, ferner reine Diastereomere oder Enantiomere dieser Verbindungen. Besonders bevorzugt sind Diastereomere der genannten Verbindungen, worin die Kohlenstoffatome, die die Reste N_3 und OH tragen, die R- und R-Konfiguration oder die S- und S-Konfiguration aufweisen, ferner Enantiomere, worin diese Kohlenstoffatome beide die S-Konfiguration aufweisen.

Salze von Verbindungen der Formel IX mit salzbildenden Gruppen sind beispielsweise die weiter vorn unter Formel I genannten Säureadditionssalze von Verbindungen, worin R^2 gegebenenfalls substituiertes Amino ist und/oder worin der Rest R^3 eine Aminogruppe enthält.

In erster Linie betrifft die Erfindung die in den Beispielen genannten Zwischenprodukte der Formeln IV, V, VI, VIII und IX.

Die folgenden Beispiele dienen zur Illustration der Erfindung, schränken deren Umfang jedoch in keiner Weise ein.

Temperaturen werden in Celsiusgraden angegeben. Die Werte für Proton-Kernresonanzspektroskopie ($^1\text{H-NMR}$) werden in ppm (parts per million) bezogen auf Tetramethylsilan ($\delta = 0$) als internen Standard angegeben. s = Singulett, d = Dublett, t = Triplett, q = Quartett, m = Multiplett, dd = Doppeldublett. Kopplungswerte J in Hertz (Hz). Bei Elementaranalysen sind die Summenformel, das Molekulargewicht, berechnete (ber.) und gefundene (gef.) Analysenwerte angegeben.

Optische Drehungen $[\alpha]_D$ werden bei der Natrium-D-Linie gemessen, c = Konzentration (g/100 ml).

Abkürzungen:

abs.	absolut
ee	Enantiomerenüberschuss (enantiomeric excess)
ges.	gesättigt
RT	Raumtemperatur
RV	Rotationsverdampfer
Smp.	Schmelzpunkt
THF	Tetrahydrofuran

Beispiel 1: 1-Cyclohexyl-3-buten-2-ol

Zu einer Lösung von Vinylmagnesiumbromid in abs. THF hergestellt aus 13,8 g (0,57 Mol) Magnesium und 66,3 g (0,62 Mol) Vinylbromid in 500 ml abs. THF wird bei -20° eine Lösung von 60 g (0,47 Mol) Cyclohexylacetaldehyd in 400 ml abs. THF zugetropft. Nach beendeter Zugabe wird 30 Min. bei -20° gerührt und anschliessend mit 900 ml ges. Ammoniumchlorid-Lösung hydrolysiert. Nach Verdünnen mit 250 ml H_2O wird mit dreimal 1 l Ether extrahiert, dreimal mit 500 ml Sole gewaschen, mit MgSO_4 getrocknet und anschliessend am RV eingedampft. Der Rückstand wird bei $50^\circ/0,1$ mbar destilliert.

$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$ (154,25): ber. C 77,87 H 11,77 %; gef. C 77,62 H 11,54 %.

Beispiel 2: Analog Beispiel 1 werden hergestellt:

a) 1-Cyclopentyl-3-buten-2-ol aus Cyclopentylacetaldehyd.

$\text{C}_9\text{H}_{16}\text{O}$ (140,23): ber. C 77,09 H 11,50 %; gef. C 76,97 H 11,74 %.

b) 1-Cyclohexyl-4-penten-3-ol aus 3-Cyclohexylpropionaldehyd.

$\text{C}_{11}\text{H}_{20}\text{O}$ (168,28): ber. C 78,51 H 11,98 %; gef. C 78,70 H 11,97 %.

c) 1-Cycloheptyl-3-buten-2-ol aus Cycloheptylacetaldehyd.

$C_{11}H_{20}O$ (168,28): ber. C 78,51 H 11,98 %; gef. C 78,06 H 11,92 %.

d) 5-Methyl-1-hexen-3-ol aus Isovalerianaldehyd.

$C_7H_{14}O$ (114,19): ber. C 73,63 H 12,36 %; gef. C 73,79 H 12,57 %.

Beispiel 3: 6-Cyclohexyl-2-isopropyl-4-hexensäure

23,15 g (0,15 Mol) 1-Cyclohexyl-3-buten-2-ol, 6,85 g (0,03 Mol) Tetraethylorthotitanat und 61,5 ml (0,30 Mol) Isopropylmalonsäurediethylester werden in einem Kolben vorgelegt, 1 Std. bei 170° und anschliessend 24 Std. bei 200° gerührt. Ueberschüssiger Malonester wird bei 20 mbar abdestilliert, der Rückstand in 120 ml Ethanol gelöst und nach Zugabe von 120 ml 6N KOH 7 Std. am Rückfluss gerührt. Nach dem Abkühlen wird filtriert und das Filtrat am RV weitgehend eingedampft. Die wässrige Phase wird einmal mit Ether extrahiert, unter Eiskühlung mit 6N HCl auf pH 1 angesäuert und anschliessend dreimal mit Ether extrahiert. Die vereinigten organischen Phasen werden mit Sole gewaschen, mit $HgSO_4$ getrocknet und am RV eingedampft. Der Rückstand wird bei 137-140°/0,025 mbar destilliert.

$C_{15}H_{26}O_2$ (238,37): ber. C 75,58 H 11,00 %; gef. C 75,49 H 10,91 %.

^1H -NMR ($CDCl_3$): 5,28-5,55 (m, 2H, HC=CH).

Die Reaktion kann auch mit einem geringeren Ueberschuss an Isopropylmalonsäureester (1,1 statt 2,0 Äquivalente) und weniger Tetraethylorthotitanat (0,1 statt 0,2 Äquivalente) ohne wesentliche Ausbeuteverminderung durchgeführt werden.

Beispiel 4: Analog Beispiel 3 werden hergestellt:

a) 6-Cyclopentyl-2-isopropyl-4-hexensäure, aus 1-Cyclopentyl-3-buten-2-ol und Isopropylmalonsäurediethylester.

$C_{14}H_{24}O_2$ (224,34): ber. C 74,96 H 10,79 %; gef. C 74,86 H 11,13 %.

^1H -NMR ($CDCl_3$): 5,3-5,55 (m, 2H, HC=CH).

b) 7-Cyclohexyl-2-isopropyl-4-heptensäure, aus 1-Cyclohexyl-4-penten-3-ol und Isopropylmalonsäurediethylester.

$C_{16}H_{28}O_2$ (252,40): ber. C 76,14 H 11,18 %; gef. C 76,24 H 11,23 %.

^1H -NMR ($CDCl_3$): 5,3-5,5 (m, 2H, HC=CH).

c) 6-Cycloheptyl-2-isopropyl-4-hexensäure, aus 1-Cycloheptyl-3-buten-2-ol und Isopropylmalonsäurediethylester.

$C_{16}H_{28}O_2$ (252,40): ber. C 76,14 H 11,18 %; gef. C 76,24 H 11,23 %.

^1H -NMR ($CDCl_3$): 5,3-5,5 (m, 2H, $HC=CH$).

d) 6-Cyclohexyl-2-methoxy-4-hexensäure, aus 1-Cyclopentyl-3-buten-2-ol und Methoxymalonsäurediethylester.

$C_{13}H_{22}O_3$ (226,32): ber. C 68,99 H 9,80 %; gef. C 68,80 H 9,99 %.

^1H -NMR ($CDCl_3$): 5,33-5,61 (m, 2H, $HC=CH$); 3,85 (dd, 1H, CHOR); 3,47 (s, 3H, OCH_3).

e) 6-Cyclohexyl-2-dimethylamino-4-hexensäure-ethylester, aus 1-Cyclohexyl-3-buten-2-ol und Dimethylaminomalonsäurediethylester, isoliert als Ester vor der Behandlung mit 6N KOH.

^1H -NMR ($CDCl_3$): 5,26-5,55 (m, 2H, $HC=CH$); 5,16 (q, 2H, OCH_2); 3,12 (dd, 1H, $CHNR_2$); 2,33 (s, 6H, NCH_3).

f) 2-Isopropyl-7-methyl-4-octensäure, aus 5-Methyl-1-hexen-3-ol und Isopropylmalonsäurediethylester.

$C_{12}H_{22}O_2$ (198,31): ber. C 72,63 H 11,18 %; gef. C 72,43 H 11,02 %.

^1H -NMR ($CDCl_3$): 5,16-5,45 (m, 2H, $HC=CH$).

g) 6-Cyclohexyl-2-phenyl-4-hexensäure-ethylester, aus 1-Cyclohexyl-3-buten-2-ol und Phenylmalonsäurediethylester, isoliert als Ester vor der Behandlung mit 6N KOH.

$C_{20}H_{28}O_2$ (300,44): ber. C 79,96 H 9,40 %; gef. C 80,00 H 9,56 %.

^1H -NMR ($CDCl_3$): 5,3-5,5 (m, 2H, $HC=CH$).

h) 6-Cyclohexyl-2-methyl-4-hexensäure-ethylester, aus 1-Cyclohexyl-3-buten-2-ol und Methylmalonsäurediethylester, isoliert als Ester vor der Behandlung mit 6N KOH.

^1H -NMR ($CDCl_3$): 2,38-2,51 (m, 1H, $CHCOO$); 5,3-5,5 (m, 2H, $HC=CH$).

i) 2-Brom-6-cyclohexyl-4-hexensäure-ethylester, aus 1-Cyclohexyl-3-buten-2-ol und Brommalonsäurediethylester, isoliert als Ester vor der Behandlung mit 6N KOH.

^1H -NMR ($CDCl_3$): 4,1-4,25 (m, 3H, OCH_2 und $CHBrCOO$); 5,25-5,6 (m, 2H, $HC=CH$).

j) 2-Chlor-6-cyclohexyl-4-hexensäure-ethylester, aus 1-Cyclohexyl-3-buten-2-ol und Chlormalonsäurediethylester, isoliert als Ester vor der Behandlung mit 6N KOH.

$^1\text{H-NMR}$ (CDCl_3): 4,15-4,30 (m, 3H, OCH_2 und CHClCOO); 5,25-5,6 (m, 2H, HC=CH).

k) 2-tert-Butyldimethylsilyloxy-6-cyclohexyl-4-hexensäure-ethyl-ester, aus 1-Cyclohexyl-3-buten-2-ol und tert-Butyldimethylsilyloxy-malonsäurediethylester, isoliert als Ester vor der Behandlung mit 6N KOH.

$^1\text{H-NMR}$ (CDCl_3): 5,28-5,5 (m, 2H, HC=CH).

l) 6-Cyclohexyl-2-phenylthio-4-hexensäure-ethylester, aus 1-Cyclohexyl-3-buten-2-ol und Phenylthiomalonsäurediethylester, isoliert als Ester vor der Behandlung mit 6N KOH.

$^1\text{H-NMR}$ (CDCl_3): 3,65 (t J = 6, 1H, CHCOO); 5,3-5,6 (m, 2H, HC=CH).

Beispiel 5: Isovaleriansäure-1-cyclohexyl-3-buten-2-yl-ester

Zu einer Lösung von 2,75 g (17,76 mMol) 1-Cyclohexyl-3-buten-2-ol, 3 ml (21,3 mMol) Triethylamin und 430 mg (3,5 mMol) 4-Dimethylaminopyridin in 20 ml Methylenchlorid werden bei 0°C 2,4 ml (19,5 mMol) Isovaleriansäurechlorid zugetropft. Nach beendeter Zugabe wird das Gemisch noch 3 Std. bei RT gerührt. Nach Verdünnen mit Ether wird je zweimal mit 2N HCl, ges. NaHCO_3 -Lösung und Sole gewaschen und über MgSO_4 getrocknet. Nach dem Eindampfen wird der Rückstand im Kugelrohr bei $150^\circ/0,007$ mbar destilliert.

$^1\text{H-NMR}$ (CDCl_3): 5,70-5,86 (m, 1H); 5,30-5,40 (m, 1H); 5,24 (d, 1H); 5,14 (d, 1H).

Beispiel 6: 6-Cyclohexyl-2-isopropyl-4-hexensäure (alternative Darstellungsweisen)

a) Zu einer Lösung von 0,39 ml (2,3 mMol) Cyclohexylisopropylamin in 4 ml abs. THF werden bei -20° 1,4 ml (2,3 mMol) 1,6 N n-Butyllithium in Hexan zugetropft. Nach 15 Min. bei -20° wird auf -78° abgekühlt und 500 mg (2,1 mMol) Isovaleriansäure-1-cyclohexyl-3-buten-2-yl-ester in 1 ml abs. THF zugetropft. Nach beendeter Zugabe wird innerhalb von 1 Std. auf RT erwärmt und anschliessend 2 Std. bei dieser Temperatur gerührt. Das Reaktionsgemisch wird in 5 ml kalte 1N NaOH eingetragen und zweimal mit Ether extrahiert. Die wässrige Phase wird mit konz. HCl auf pH 1 angesäuert und mit Ether extrahiert. Die organischen Phasen werden mit Sole gewaschen, mit MgSO_4

getrocknet und eingedampft. Der Rückstand wird im Kugelrohr bei 150°/0,01 mbar destilliert und ergibt dabei ein Produkt, das mit der Verbindung von Beispiel 3 identisch ist.

b) Zu einer wie unter a) zubereiteten Lösung von 6 mMol Lithium-cyclohexylisopropylamid in abs. THF werden bei -78° zuerst 2,3 ml (18 mMol) Trimethylchloresilan und anschliessend 1,2 g (5 mMol) Isovaleriansäure-1-cyclohexyl-3-buten-2-yl-ester zugetropft. Die Lösung wird 1 Std. bei -78° gehalten, innerhalb von 1 1/2 Std. auf RT erwärmt und 1 Std. bei dieser Temperatur gerührt. Das Reaktionsgemisch wird auf 0° gekühlt, durch Zugabe von 0,5 ml Methanol hydrolysiert, mit Ether verdünnt, mit 1 N HCl und Sole gewaschen, über MgSO₄ getrocknet und am RV eingedampft. Der Rückstand wird wie unter a) destilliert und ergibt das gleiche Produkt.

Beispiel 7: Enantioselektive Herstellung von 6-Cyclohexyl-2(S)-isopropyl-4-hexensäure

a) 1-Cyclohexyl-3-buten-2(S)-ol: Nach einer Vorschrift von D.R.M. Walton und F. Waugh, J. Organomet. Chem. 37, 45 (1972) wird Bis(trimethylsilyl)acetylen mit Cyclohexylelessigsäurechlorid acyliert und mit wässrig/methanolischer Boraxlösung zu 1-Cyclohexyl-3-buten-2-on hydrolysiert. Reduktion mit (S)-B-(3-Pinanyl)-9-borabicyclo-[3.3.1]nonan ((S)-Alpine-Borane®, Aldrich, 88 % ee) nach der Vorschrift von M.M. Midland et al., Tetrahedron 40, 1371 (1984) ergibt 1-Cyclohexyl-3-buten-2(S)-ol.

C₁₀H₁₆O₂ (152,24): ber. C 78,90 H 10,60 %; gef. C 78,73 H 10,83 %.

¹H-NMR (CDCl₃): 0,83-2,0 (m, 14H); 2,45 (d J = 2, 1H, HC≡C);

4,45 (dxt, J = 8 und 2, 1H, CHO).

[α]_D = -8,1° (c = 0,9, CHCl₃). Der Enantiomerenüberschuss wird mit

¹H-NMR nach Derivatisierung mit dem Mosher-Reagens R(+)-α-Methoxy-α-trifluormethyl-phenylelessigsäurechlorid bestimmt und beträgt 80 % ee.

b) Isovaleriansäure-1-cyclohexyl-3-buten-2(S)-yl-ester:

1-Cyclohexyl-3-buten-2(S)-ol wird durch partielle Hydrierung in Gegenwart von Lindlar-Katalysator zu 1-Cyclohexyl-3-buten-2(S)-ol reduziert und analog Beispiel 5 mit Isovaleriansäurechlorid umgesetzt.

$C_{15}H_{26}O_2$ (283,37): ber. C 75,58 H 11,00 O 13,43 %

gef. C 75,40 H 11,26 O 13,41 %.

$[\alpha]_D = -13,6^\circ$ (c = 1, $CHCl_3$), 80 % ee.

c) Umlagerung des Silylenolats: Zu einer wie in Beispiel 6a zubereiteten Lösung von 6 mMol Lithiumcyclohexylisopropylamid in abs. THF werden bei -78° zuerst 2,3 ml (18 mMol) Trimethylchlorsilan und dann 1,2 g (5 mMol) Isovaleriansäure-1-cyclohexyl-3-buten-2(S)-yl-ester zugetropft. Die Lösung wird wie in Beispiel 6b weiterverarbeitet. Es wird 6-Cyclohexyl-2(S)-isopropyl-4-hexensäure von 78 % ee erhalten.

Beispiel 8: 6-Cyclohexyl-2(R)- und 2(S)-isopropyl-4-hexensäure

154,65 g (0,65 Mol) racemische 6-Cyclohexyl-2-isopropyl-4-hexensäure und 210,5 g (0,65 Mol) wasserfreies Chinin werden in 1 l Methanol gelöst. Das Gemisch wird eingedampft und der Rückstand aus Ether/Hexan umkristallisiert. Das Kristallisat wird abgenutscht und gründlich mit kaltem Hexan gewaschen. Das Salz wird mit 1 N HCl behandelt und die Säure mit Ether extrahiert. Durch Eindampfen erhält man 6-Cyclohexyl-2(R)-isopropyl-4-hexensäure von 90 % ee. Wird das Chininsalz vor der Behandlung mit HCl ein zweites Mal aus Ether/Hexan umkristallisiert, so weist die daraus erhältliche (R)-Säure eine Reinheit von über 95 % ee auf.

Das Filtrat der ersten Kristallisation des Chininsalzes wird eingedampft und ebenfalls mit 1 N HCl behandelt. Die Lösung wird mit Ether extrahiert und der Extrakt eingedampft, wobei 6-Cyclohexyl-2(S)-isopropyl-4-hexensäure von 80 % ee zurückbleibt. Zur weiteren Anreicherung der (S)-Säure wird dieses Produkt mit einer äquimolaren Menge von (+)-Dehydroabietylamin in Methanol versetzt, eingedampft und aus Methylenchlorid/Hexan umkristallisiert. Das Kristallisat

wird mit 1 N HCl behandelt und die Säure mit Ether extrahiert. Durch Eindampfen der Etherlösung erhält man die (S)-Säure in einer Reinheit von 95 % ee.

Zur Bestimmung des Enantiomerenüberschusses (ee) wird jeweils eine Probe der Säure mit (+)-Phenylethylamin in Gegenwart von Dicyclohexylcarbodiimid und 1-Hydroxybenzotriazol kondensiert und das Verhältnis der gebildeten diastereomeren Amide durch HPLC bestimmt.

Beispiel 9: Analog Beispiel 8 werden hergestellt:

- a) 6-Cyclopentyl-2(R)- und 2(S)-isopropyl-4-hexensäure
- b) 7-Cyclohexyl-2(R)- und 2(S)-isopropyl-4-heptensäure
- c) 6-Cycloheptyl-2(R)- und 2(S)-isopropyl-4-hexensäure

Beispiel 10: 6-Cyclohexyl-2(S)-isopropyl-4-hexensäure-dimethylamid

Zu einer Lösung von 58,1 g (0,244 Mol) 6-Cyclohexyl-2(S)-isopropyl-4-hexensäure in 270 ml abs. Toluol und 0,5 ml DMF werden 42,6 ml (0,49 Mol) Oxalylchlorid zudosiert. Nach beendeter Zugabe wird 90 Min. unter Rückfluss gekocht, anschliessend das Reaktionsgemisch am RV eingeeengt. Der Rückstand wird in 270 ml trock. CH_2Cl_2 gelöst und bei 0° zu einer Lösung von 17,2 g (0,38 Mol) Dimethylamin und 61,4 ml (0,76 Mol) Pyridin in 270 ml CH_2Cl_2 zugetropft. Nach 30 Min. Rühren bei 0° wird mit Ether verdünnt und je zweimal mit 2N HCl, ges. NaHCO_3 -Lösung und Sole gewaschen. Die vereinigten organischen Phasen werden mit MgSO_4 getrocknet und am RV eingedampft. Der Rückstand wird bei 124-128°/0,04 mbar destilliert. $^1\text{H-NMR}$ (CDCl_3): 5,21-5,50 (m, 2H, $\text{HC}=\text{CH}$); 3,04 (s, 3H, NCH_3); 2,95 (s, 3H, NCH_3).

Beispiel 11: Analog Beispiel 10 werden hergestellt:

- a) 6-Cyclopentyl-2(S)-isopropyl-4-hexensäure-dimethylamid

$^1\text{H-NMR}$ (CDCl_3): 5,25-5,50 (m, 2H, $\text{HC}=\text{CH}$); 3,03 (s, 3H, NCH_3); 2,96 (s, 3H, NCH_3).

- b) 7-Cyclohexyl-2(S)-isopropyl-4-heptensäure-dimethylamid

$^1\text{H-NMR}$ (CDCl_3): 5,25-5,50 (m, 2H, $\text{HC}=\text{CH}$); 3,03 (s, 3H, NCH_3); 2,96 (s, 3H, NCH_3).

- c) 6-Cycloheptyl-2(S)-isopropyl-4-hexensäure-dimethylamid
¹H-NMR (CDCl₃): 5,25-5,50 (m, 2H, HC=CH); 3,05 (s, 3H, NCH₃); 2,96 (s, 3H, NCH₃).
- d) 6-Cyclohexyl-2-methoxy-4-hexensäure-dimethylamid
¹H-NMR (CDCl₃): 5,33-5,58 (m, 2H, HC=CH); 5,03-5,1 (m, 1H, CHOR); 3,33 (s, 3H, OCH₃); 3,1 (s, 3H, NCH₃); 2,95 (s, 3H, NCH₃).
- e) 6-Cyclohexyl-2-dimethylamino-4-hexensäure-dimethylamid
¹H-NMR (CDCl₃): 5,15-5,50 (m, 2H, HC=CH); 4,37-4,48 (m, 1H, CHNR₂); 3,1 (s, 3H, NCH₃); 2,95 (s, 3H, NCH₃); 2,2 (s, 6H, NCH₃).
- f) 2-Isopropyl-7-methyl-4-octensäure-dimethylamid
¹H-NMR (CDCl₃): 5,25-5,50 (m, 2H, HC=CH); 3,03 (s, 3H, NCH₃); 2,96 (s, 3H, NCH₃).
- g) 6-Cyclohexyl-2(S)-isopropyl-4-hexensäure-diethylamid
¹H-NMR (CDCl₃): 5,23-5,50 (m, 2H, HC=CH); 3,25-3,50 (m, 4H, NCH₂).
- h) 6-Cyclohexyl-2(S)-isopropyl-4-hexensäure-pyrrolidid
¹H-NMR (CDCl₃): 5,23-5,50 (m, 2H, HC=CH); 3,48 (t, 2H, NCH₂); 3,35 (t, 2H, NCH₂).
- i) 6-Cyclohexyl-2(S)-isopropyl-4-hexensäure-morpholid
¹H-NMR (CDCl₃): 5,20-5,50 (m, 2H, HC=CH); 3,50-3,72 (m, 8H, NCH₂CH₂O).
- j) 6-Cyclohexyl-2(S)-isopropyl-4-hexensäure-N-methoxy-N-methyl-amid
¹H-NMR (CDCl₃): 5,25-5,50 (m, 2H, HC=CH); 3,65 (s, 3H, OCH₃); 3,20 (s, 3H, NCH₃).
- k) 6-Cyclohexyl-2(S)-isopropyl-4-hexensäure-N-isopropyl-N-methoxy-amid
¹H-NMR (CDCl₃): 5,25-5,50 (m, 2H, HC=CH); 4,55-4,70 (m, 1H, NCH); 3,75 (s, 3H, OCH₃).
- l) 6-Cyclohexyl-2(S)-isopropyl-4-hexensäure-N-isopropoxy-N-methyl-amid
¹H-NMR (CDCl₃): 5,25-5,50 (m, 2H, HC=CH); 4,0-4,2 (m, 1H, OCH); 3,2 (s, 3H, NCH₃).
- m) 6-Cyclohexyl-2(S)-isopropyl-4-hexensäure-tetrahydroisoxazolid
¹H-NMR (CDCl₃): 5,25-5,50 (m, 2H, HC=CH); 3,8-4,0 (m, 2H, OCH₂); 3,56-3,80 (m, 2H, NCH₂).

Beispiel 12: 5(R)-Brom-6-cyclohexyl-2(S)-isopropyl-4(S)-hexanolid

88,5 g (0,5 Mol) N-Bromsuccinimid und 30 g (0,5 Mol) Eisessig in 1,1 l THF werden bei 0° innerhalb von 8 Std. zu einer Lösung von 60 g (0,23 Mol) 6-Cyclohexyl-2(S)-isopropyl-4-hexensäuredimethylamid in 1,4 l THF/H₂O (2:1) zugetropft. Nach beendeter Zugabe wird 30 Min. bei 0° gerührt, dann das Reaktionsgemisch auf 1,8 l eiskalte 40 % Natriumhydrogensulfid-Lösung gegossen. Die wässrige Phase wird dreimal mit Ether extrahiert und die vereinigten organischen Phasen nacheinander mit 1N HCl, ges. NaHCO₃-Lösung und Sole gewaschen. Nach dem Trocknen mit MgSO₄ und Abdampfen des Lösungsmittels wird der Rückstand über Kieselgel mit Hexan/Ether (2:1) chromatographiert und erneut eingeeengt. Der Rückstand wird aus Hexan umkristallisiert, Smp. 95-95,5°.

C₁₅H₂₅BrO₂ (317,27): ber. C 56,79 H 7,94 Br 25,19 %; gef. C 56,94 H 8,04 Br 25,22 %.

Auf gleiche Art und Weise werden anstelle des Dimethylamids auch das Diethylamid, Pyrrolidid und Morpholid einer Bromlactonisierung unterworfen.

Werden Hydroxamsäureester, z.B. 6-Cyclohexyl-2(S)-isopropyl-4-hexensäure-N-methoxy-N-methylamid, das entsprechende -N-isopropyl-N-methoxyamid, -N-isopropoxy-N-methylamid oder -tetrahydroisoxazolid, eingesetzt, so wird die Bromlactonisierung ohne Eisessig durchgeführt.

Beispiel 13: Analog Beispiel 12 werden hergestellt:a) 5(R)-Brom-6-cyclopentyl-2(S)-isopropyl-4(S)-hexanolid

Smp. 66-68°.

C₁₄H₂₃BrO₂ (303,24): ber. C 55,46 H 7,65 Br 26,35 %;
gef. C 55,81 H 7,48 Br 26,29 %.

b) 5(R)-Brom-7-cyclohexyl-2(S)-isopropyl-4(S)-heptanolid

Smp. 64-65°.

C₁₆H₂₇BrO₂ (331,29): ber. C 58,01 H 8,22 Br 24,12 %;
gef. C 58,32 H 8,19 Br 24,03 %.

c) 5(R)-Brom-6-cycloheptyl-2(S)-isopropyl-4(S)-hexanolid

Smp. 57-58°.

C₁₆H₂₇BrO₂ (331,29): ber. C 58,01 H 8,22 Br 24,12 %;

gef. C 57,99 H 8,17 Br 24,10 %.

d) rel(2R,4S,5R)-5-Brom-6-cyclohexyl-2-methoxy-4-hexanolid¹H-NMR (CDCl₃): 4,57-4,65 (m, 1H); 4,17-4,23 (m, 1H); 4,06-4,10 (m, 1H); 3,57 (s, 3H, OCH₃).e) rel(2R,4S,5R)-5-Brom-6-cyclohexyl-2-dimethylamino-4-hexanolid¹H-NMR (CDCl₃): 4,48-4,58 (m, 1H); 4,14-4,24 (m, 1H); 3,7(t, 1H, CHNR₂); 2,4 (s, 6H, NCH₃).f) rel(2R,4R,5S)-5-Brom-2-isopropyl-7-methyl-4-octanolid¹H-NMR (CDCl₃): 4,49-4,50 (m, 1H); 4,08-4,17 (m, 1H); 2,63-2,75 (m, 1H, CHCO).Beispiel 14: 5(S)-Azido-6-cyclohexyl-2(S)-isopropyl-4(S)-hexanolid

42,5 g (0,135 Mol) 5(R)-Brom-6-cyclohexyl-2(S)-isopropyl-4(S)-hexanolid und 35 g (0,54 Mol) NaN₃ in 480 ml N,N'-Dimethyl-N,N'-propylenharnstoff (DMPU) werden 72 Std. bei RT gerührt und anschließend auf 1 l eiskalte 0,1 N HCl gegossen. Sodann wird dreimal mit Ether extrahiert, die vereinigten organischen Phasen zweimal mit 0,1 N HCl und dreimal mit Sole gewaschen und mit MgSO₄ getrocknet. Nach dem Eindampfen des Lösungsmittels wird der Rückstand aus Hexan umkristallisiert: Smp. 38,5-39°.

C₁₅H₂₅N₃O₂ (279,38): ber. C 64,49 H 9,02 N 15,04 %; gef. C 64,53 H 8,96 N 15,04 %.

Beispiel 15: Analog Beispiel 14 werden hergestellt:a) 5(S)-Azido-6-cyclopentyl-2(S)-isopropyl-4(S)-hexanolid, Oel.

C₁₄H₂₃N₃O₂ (265,36): ber. C 63,37 H 8,74 N 15,84 %; gef. C 63,36 H 8,92 N 15,59 %.

b) 5(S)-Azido-7-cyclohexyl-2(S)-isopropyl-4(S)-heptanolid, Oel.

C₁₆H₂₇N₃O₂ (293,41): ber. C 65,50 H 9,28 N 14,32 %; gef. C 65,57 H 9,40 N 14,12 %.

c) 5(S)-Azido-6-cycloheptyl-2(S)-isopropyl-4(S)-hexanolid,

Smp. 48-49°.

$C_{16}H_{27}N_3O_2$ (293,41): ber. C 65,50 H 9,28 N 14,32 %; gef. C 64,48 H 9,21 N 14,37 %.

d) rel(2R,4R,5R)-5-Azido-2-isopropyl-7-methyl-4-octanolid, Öl.

^1H -NMR ($CDCl_3$): 4,40-4,48 (m, 1H); 3,33-3,42 (m, 1H); 2,67-2,77 (m, 1H, $CHCO$).

Beispiel 16: 5(S)-Azido-6-cyclohexyl-4(S)-hydroxy-2(S)-isopropyl-hexansäure-n-butylamid

24,9 g (0,09 Mol) 5(S)-Azido-6-cyclohexyl-2(S)-isopropyl-4(S)-hexanolid in 250 ml n-Butylamin werden 10 Std. unter Rückfluss gekocht. Nach dem Abdampfen des Lösungsmittels wird der Rückstand aus Hexan umkristallisiert: Smp. 100-100,5°.

$C_{19}H_{36}N_4O_2$ (352,52): ber. C 64,74 H 10,29 N 15,89 %; gef. C 65,06 H 10,40 N 15,89 %.

Beispiel 17: Analog Beispiel 16 werden hergestellt:

a) 5(S)-Azido-6-cyclopentyl-4(S)-hydroxy-2(S)-isopropyl-hexansäure-n-butylamid, Smp. 59-61°.

$C_{18}H_{34}N_4O_2$ (338,50): ber. C 63,87 H 10,13 N 16,55 %; gef. C 63,86 H 10,00 N 16,76 %.

b) 5(S)-Azido-7-cyclohexyl-4(S)-hydroxy-2(S)-isopropyl-heptansäure-n-butylamid, Smp. 99,5-100°.

$C_{20}H_{38}N_4O_2$ (366,55): ber. C 65,53 H 10,45 N 15,28 %; gef. C 65,72 H 10,46 N 15,28 %.

c) 5(S)-Azido-6-cycloheptyl-4(S)-hydroxy-2(S)-isopropyl-hexansäure-n-butylamid, Smp. 66,5-67°.

$C_{20}H_{38}N_4O_2$ (366,55): ber. C 65,53 H 10,45 N 15,28 %; gef. C 65,47 H 10,26 N 15,25 %.

d) 5(S)-Azido-6-cyclohexyl-4(S)-hydroxy-2(S)-isopropyl-hexansäure-methylamid aus 5(S)-Azido-6-cyclohexyl-2(S)-isopropyl-4(S)-hexanolid und Methylamin in DMF bei Raumtemperatur.

^1H -NMR ($CDCl_3$): 5,72 (q, 1H, NH); 3,42-3,52 (m, 1H); 3,23-3,32 (m, 1H); 2,83 (d, 3H, NCH_3).

Beispiel 18: 5(S)-Amino-6-cyclohexyl-4(S)-hydroxy-2(S)-isopropyl-hexansäure-n-butylamid

21,3 g (0,06 Mol) 5(S)-Azido-6-cyclohexyl-4(S)-hydroxy-2(S)-isopropyl-hexansäure-n-butylamid in 240 ml Methanol werden in Gegenwart von 5 g 10 % Pd/C 2 Std. hydriert. Das Reaktionsgemisch wird filtriert, am RV eingeeengt und der Rückstand aus Hexan umkristallisiert: Smp. 88,5-90°; $[\alpha]_D^{20}$ -27,2° $\pm$ 0,9° (c = 1,1, CHCl₃).
 C₁₉H₃₈N₂O₂ (326,53): ber. C 69,89 H 11,73 N 8,58 %; gef. C 70,11 H 11,54 N 8,65 %.

Beispiel 19: Analog Beispiel 18 werden hergestellt:

a) 5(S)-Amino-6-cyclopentyl-4(S)-hydroxy-2(S)-isopropyl-hexansäure-n-butylamid, Smp. 93-94°, $[\alpha]_D^{20}$ -23,8° $\pm$ 0,9° (c = 1,1, CHCl₃).
 C₁₈H₃₆N₂O₂ (312,50): ber. C 69,19 H 11,61 N 8,96 %; gef. C 69,13 H 11,54 N 8,94 %.

b) 5(S)-Amino-7-cyclohexyl-4(S)-hydroxy-2(S)-isopropyl-heptansäure-n-butylamid, Smp. 90-92°, $[\alpha]_D^{20}$ -18,5° $\pm$ 0,9° (c = 1,1, CHCl₃).
 C₂₀H₄₀N₂O₂ (340,55): ber. C 70,54 H 11,84 N 8,23 %; gef. C 70,54 H 11,62 N 8,07 %.

c) 5(S)-Amino-6-cycloheptyl-4(S)-hydroxy-2(S)-isopropyl-hexansäure-n-butylamid, Smp. 81-82°, $[\alpha]_D^{20}$ -25,4° $\pm$ 0,9° (c = 1,1, CHCl₃).
 C₂₀H₄₀N₂O₂ (340,55): ber. C 70,54 H 11,84 N 8,23 %; gef. C 70,33 H 11,72 N 8,46 %.

d) 5(S)-Amino-6-cyclohexyl-4(S)-hydroxy-2(S)-isopropyl-hexansäure-methylamid, farbloses Öl, R_f (Methylenchlorid-Methanol-Ammoniak konz. 350:50:1) = 0,11.

Beispiel 20: 5(S)-Benzyloxycarbonylamino-6-cyclohexyl-2(S)-isopropyl-4(S)-hexanolid

403 mg (1,44 mMol) 5(S)-Azido-6-cyclohexyl-2(S)-isopropyl-4(S)-hexanolid in 20 ml Methanol werden in Gegenwart von 200 mg 10 % Pd-C hydriert, wobei durch Zugabe von 1 N HCl der pH konstant bei 4 gehalten wird. Der Katalysator wird abfiltriert, mit Methanol gewaschen und das Filtrat am RV eingedampft. Der erhaltene Rückstand wird in 10 ml Essigester bei 0° vorgelegt, zuerst mit 3,60 ml 1 M NaHCO₃-Lösung und anschliessend mit 0,59 ml einer Lösung von

Chlorameisensäurebenzylester 50 % in Toluol versetzt. Nach beendeter Zugabe wird das Gemisch noch 15 Min. bei 0° gerührt, dann zweimal mit Essigester extrahiert. Die vereinigten organischen Phasen werden mit Sole gewaschen, mit MgSO_4 getrocknet und am RV eingedampft. Der Rückstand wird aus Essigester/Hexan umkristallisiert:

Smp. 167,5 - 168°; $[\alpha]_D -31,4 \pm 0,9^\circ$ (c = 1, CHCl_3).

$\text{C}_{23}\text{H}_{33}\text{NO}_4$ (387,52): ber. C 71.29 H 8,58 N 3.61 %;

gef. C 71.56 H 8.64 N 3.52 %.