

Gmelin Handbuch der Anorganischen Chemie

Achte völlig neu bearbeitete Auflage

SELTENERDELEMENTE

Teil C 5

Sc, Y, La und Lanthanide

Oxidchloride. Hydroxidchloride. Salze der Chlorsauerstoffsäuren
und Alkalichlorometallate

Mit 78 Figuren

HAUPTREDAKTEUR

Hartmut Bergmann

REDAKTEUR

Ursula Vetter

WISSENSCHAFTLICHER
MITARBEITER

Erich Best

System-Nummer 39



Springer-Verlag
Berlin · Heidelberg · New York 1977

ENGLISCHE FASSUNG DER STICHWÖRTER NEBEN DEM TEXT:

ENGLISH HEADINGS ON THE MARGINS OF THE TEXT:

E. LELL, LINZ, ÖSTERREICH

DIE LITERATUR IST BIS ENDE 1976 AUSGEWERTET,
IN MANCHEN FÄLLEN DARÜBER HINAUS

LITERATURE CLOSING DATE: UP TO END OF 1976,
IN SOME INSTANCES MORE RECENT DATA HAVE BEEN CONSIDERED

Die vierte bis siebente Auflage dieses Werkes erschien im Verlag von
Carl Winter's Universitätsbuchhandlung in Heidelberg

Library of Congress Catalog Card Number: Agr 25-1383

ISBN 3-540-93346-8 Springer-Verlag, Berlin · Heidelberg · New York
ISBN 0-387-93346-8 Springer-Verlag, New York · Heidelberg · Berlin

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. im Gmelin Handbuch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

Printed in Germany.—All rights reserved. No part of this book may be reproduced in any form—by photoprint, microfilm, or any other means—without written permission from the publishers.

© by Springer-Verlag, Berlin · Heidelberg 1977

LN-Druck Lübeck

Gmelin Handbuch der Anorganischen Chemie

Achte völlig neu bearbeitete Auflage

Main Series, 8th Edition

Bisher erschienene Bände zu „Seltenerdelemente“ (Syst.-Nr. 39)

Volumes published on “Rare Earth Elements” (Syst.-No. 39)

Seltene Erden A 1

- Einleitender Überblick. Geschichtliches. Vorkommen — 1938

Seltenerdelemente A 2

- Scandium: Geschichtliches. Vorkommen — 1973

Seltenerdelemente B 1

- Sc, Y, La und Lanthanide: Geschichtliches. Stellung im Periodensystem. Abtrennung aus den Rohstoffen — 1976

Seltenerdelemente B 2

- Sc, Y, La und Lanthanide: Trennung der Seltenerdelemente voneinander und Darstellung der Reinelemente — 1976

Seltenerdelemente B 3

- Sc, Y, La und Lanthanide: Physikalische Eigenschaften der Metalle — 1974

Seltenerdelemente B 4

- Sc, Y, La und Lanthanide: Eigenschaften der Kerne, Atome, Moleküle — 1976

Seltenerdelemente C 1

- Sc, Y, La und Lanthanide: Hydride. Oxide — 1974

Seltenerdelemente C 2

- Sc, Y, La und Lanthanide: Verbindungen mit H + O, Alkalimetall + O, N sowie die zugehörigen Alkalidoppelverbindungen — 1974

Seltenerdelemente C 3

- Sc, Y, La und Lanthanide: Fluoride, Oxidfluoride sowie zugehörige Alkalidoppelverbindungen — 1976

Seltenerdelemente C 5

- Sc, Y, La und Lanthanide: Oxidchloride. Hydroxidchloride. Salze der Chlorsauerstoffsäuren und Alkalichlorometallate — 1977 (vorliegender Band)

Gmelin Handbuch der Anorganischen Chemie

BEGRÜNDET VON

Leopold Gmelin

Ergänzungswerk zur achten Auflage

ACHTE AUFLAGE

begonnen im Auftrage der Deutschen Chemischen Gesellschaft
von R. J. Meyer
E. H. E. Pietsch und A. Kotowski

fortgeführt von
Margot Becke-Goehring

HERAUSGEGEBEN VOM

Gmelin-Institut für Anorganische Chemie
der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften



Springer-Verlag
Berlin · Heidelberg · New York 1977

Gmelin-Institut für Anorganische Chemie
der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften

KURATORIUM (ADVISORY BOARD)

Dr. J. Schaafhausen, Vorsitzender (Hoechst AG, Frankfurt/Main-Höchst), Dr. G. Breil (Ruhrchemie AG, Oberhausen-Holten), Prof. Dr. R. Brill (Lenggries), Dr. G. Broja (Bayer AG, Leverkusen), Prof. H. J. Emeléus, Ph. D., D. Sc., FRS (University of Cambridge), Prof. Dr. G. Fritz (Universität Karlsruhe), Prof. Dr. E. Gebhardt (Max-Planck-Institut für Metallforschung, Stuttgart), Prof. Dr. W. Gentner (Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg), Prof. Dr. Dr. E. h. O. Glemser (Universität Göttingen), Prof. Dr. Dr. E. h. O. Haxel (Heidelberg), Prof. Dr. Dr. E. h. H. Hellmann (Chemische Werke Hüls AG, Marl), Prof. Dr. R. Hoppe (Universität Gießen), Stadtkämmerer H. Lingnau (Frankfurt am Main), Prof. Dr. R. Lüst (Präsident der Max-Planck-Gesellschaft, München), Prof. Dr. H. Schäfer (Universität Münster)

DIREKTOR

Prof. Dr. Dr. E. h. Margot Becke

LEITENDE MITARBEITER (SENIOR MANAGEMENT)

Dr. W. Lippert, Stellvertretender Direktor

Dr. K.-C. Buschbeck, Ständiger Hauptredakteur

HAUPTREDAKTEURE (EDITORS IN CHIEF)

Dr. H. Bergmann, Dr. H. Bitterer, Dr. H. Katscher, Dr. R. Keim, Dipl.-Ing. G. Kirschstein, Dipl.-Phys. D. Koschel, Dr. U. Krüerke, Dr. I. Kubach, Dr. H. K. Kugler, Dr. E. Schleitzer-Rust, Dr. A. Slawisch, Dr. K. Swars, Dr. R. Warncke

MITARBEITER (STAFF)

Z. Amerl, D. Barthel, I. Baumhauer, R. Becker, Dr. K. Beeker, Dr. W. Behrendt, Dr. L. Berg, Dipl.-Chem. E. Best, Dipl.-Phys. E. Bienemann, M. Brandes, E. Brettschneider, E. Cloos, Dipl.-Phys. G. Czack, I. Deim, L. Demmel, Dipl.-Chem. H. Demmer, R. Dombrowsky, Dipl.-Chem. A. Drechsler, Dipl.-Chem. M. Dröbmar, I. Eifler, M. Engels, V.-F. Fabrizek, I. Fischer, J. Füssel, Dipl.-Ing. N. Gagel, Dipl.-Chem. H. Gedschold, E. Gerhardt, Dipl.-Phys. D. Gras, Dr. V. Haase, E. Hamm, H. Hartwig, B. Heibel, Dipl.-Min. H. Hein, G. Heinrich-Sterzel, H. W. Herold, U. Hettwer, Dr. I. Hinz, Dr. W. Hoffmann, Dipl.-Chem. K. Holzapfel, Dr. L. Iwan, Dr. W. Kästner, E.-M. Kaiser, Dipl.-Chem. W. Karl, H.-G. Karrenberg, Dipl.-Phys. H. Keller-Rudek, H. Klein, Dr. E. Koch, H. Koch, Dipl.-Chem. K. Koeber, H. Köppe, Dipl.-Chem. H. Kottelwesch, R. Kolb, E. Kranz, L. Krause, Dipl.-Chem. I. Kreuzbichler, Dr. P. Kuhn, M.-L. Lenz, Dr. A. Leonard, Dipl.-Chem. H. List, E. Meinhard, Dr. P. Merlet, K. Meyer, M. Michel, Dr. A. Mirtsching, A. Moulik, M. Sc., K. Nöring, C. Pielenz, E. Preißer, I. Rangnow, Dipl.-Phys. H.-J. Richter-Ditten, Dipl.-Chem. H. Rieger, E. Rudolph, G. Rudolph, Dipl.-Chem. S. Ruprecht, Dipl.-Chem. D. Schneider, Dr. F. Schröder, Dipl.-Min. P. Schubert, Dipl.-Ing. H. Somer, E. Sommer, Dr. P. Stieß, M. Teichmann, Dr. W. Töpfer, Dr. B. v. Tschirschnitz-Geibler, Dipl.-Ing. H. Vanecek, Dipl.-Chem. P. Velić, Dipl.-Ing. U. Vetter, Dipl.-Phys. J. Wagner, R. Wagner, Dipl.-Chem. S. Waschke, Dr. G. Weinberger, Dr. H. Wendt, H. Wiegand, Dipl.-Ing. I. v. Wilucki, C. Wolff, K. Wolff, B. Wullert, Dr. A. Zelle, U. Ziegler, G. Zosel

FREIE MITARBEITER (CORRESPONDENT MEMBERS OF THE SCIENTIFIC STAFF)

Dr. A. Böhne, Dr. G. Hantke, Dr. L. Roth, Dr. K. Rumpf, Prof. Dr. W. Stumpf, Dr. U. Trobisch

**AUSWÄRTIGE WISSENSCHAFTLICHE MITGLIEDER
(CORRESPONDENT MEMBERS OF THE INSTITUTE)**

Prof. Dr. Hans Bock

Prof. Dr. Dr. Alois Haas, Sc. D. (Cantab.)

Prof. Dr. Dr. h.c. Erich Pietsch

Vorwort

In der vorliegenden Lieferung werden Verbindungen und Systeme behandelt, die außer Sc, Y, La, Ln und Cl noch Elemente enthalten, die im Gmelin-System vor dem Cl stehen, also insbesondere Oxidchloride, Hydroxidchloride, Chlorite, Chlorate und Perchlorate. Außerdem sind die Alkalichlorometallate ein Thema dieses Bandes. Wie schon in früheren Lieferungen der „Seltenerdelemente“ Teil C werden für eine Verbindungsklasse allgemeingültige sowie vergleichbare Angaben in gesonderten Kapiteln vorausgestellt, die Behandlung der speziellen Systeme und Verbindungen schließt sich an. In physikalischen Dimensionen wird an Stelle der Symbole $^{\circ}\text{C}$ und $^{\circ}\text{K}$ entsprechend dem SI-System nur noch „K“ benutzt, bei reinen Temperaturangaben kommen auch $^{\circ}\text{C}$ und $^{\circ}\text{F}$ noch zur Anwendung. Nur soweit es zur Vereinheitlichung erforderlich schien, wurden die in der Literatur vorgefundenen Werte umgerechnet oder die Umrechnungsfaktoren angegeben. Die eingehende Behandlung der physikalischen Eigenschaften der Lanthanid-Ionen im Kristallgitter (Kristallspektren, Elektronenspinresonanz usw.) erfolgt an anderer Stelle, auch die Beschreibung von Leuchtstoffen wird im Zusammenhang mit ähnlichen anwendungstechnischen Sachgebieten beschrieben.

In dem relativ umfangreichen Kapitel über die Oxidchloride werden vorwiegend die Darstellung, kristallographische und thermodynamische Eigenschaften von Verbindungen des Typs MOCl beschrieben. Ähnliche Untersuchungen werden auch im Zusammenhang mit den Hydroxidchloriden durchgeführt, die jedoch nur durch ungefähre Zusammensetzungen formal beschrieben werden können, beispielsweise durch $\text{M}(\text{OH})_x\text{Cl}_{3-x}$ mit $x \approx 2.5$ oder $\text{M}(\text{OH})_2\text{Cl}$. Über Chlorite und Chlorate liegen nur sehr wenige Angaben vor. Während die Eigenschaften der festen Perchlorate ebenfalls nur lückenhaft untersucht wurden, liegen zahlreiche Veröffentlichungen über die Eigenschaften wässriger Perchloratlösungen vor. In dem umfangreichen Kapitel über die Alkalichlorometallate werden überwiegend Zustandsdiagramme der Systeme ACl-MCl_3 (mit A = Alkalimetall, M = Sc, Y, La, Ln) sowie die Eigenschaften von Schmelzen behandelt. Systematische Untersuchungen über die in diesen Systemen auftretenden Verbindungstypen liegen im allgemeinen nicht vor, ausgenommen sind die des Typs $\text{Cs}_2\text{NaMCl}_6$ mit kubischer Elposolithstruktur (Perowskit-Überstruktur), deren physikalische Eigenschaften ausführlicher und im Zusammenhang untersucht wurden.

Frankfurt am Main, August 1977

Hartmut Bergmann

Preface

The present volume treats compounds and systems which comprise besides Sc, Y, La, Ln, and Cl additional elements that precede Cl in the Gmelin system, that is, in particular oxide chlorides, hydroxide chlorides, chlorites, chlorates, and perchlorates. The alkali chlorometallates are another topic of this volume. In analogy to previous volumes of the "Seltenerdelemente" part C, general as well as comparative data for one group of compounds precede in separate chapters the treatment of specific systems and compounds. In lieu of the symbols $^{\circ}\text{C}$ and $^{\circ}\text{K}$ for the physical dimensions, only "K" is used in accordance with the SI-system; temperature data may also be given in $^{\circ}\text{C}$ or $^{\circ}\text{F}$. Data given in the literature were converted or the conversion factor is given only, if it appeared desirable for the sake of uniformity. The detailed discussion of physical properties of lanthanide ions in the crystal lattice (crystal spectra, electron spin resonance, etc.) will be presented elsewhere; the description of phosphors will be discussed in connection with similar technical applications.

The relative voluminous chapter on oxide chlorides deals mainly with preparation, crystallographic and thermodynamic properties of compounds of the type MOCl . Similar investigations are carried out in connection with the hydroxide chlorides which can be described, however, only by their approximate composition, for instance with the formulas $\text{M}(\text{OH})_x\text{Cl}_{3-x}$ with $x \approx 2.5$ or $\text{M}(\text{OH})_2\text{Cl}$. Only sparse data are available on chlorites and chlorates. While the properties of solid perchlorates are only insufficiently investigated, numerous publications on the properties of aqueous perchlorate solutions exist. The voluminous chapter on alkali chlorometallates deals predominantly with phase diagrams of ACl-MCl_3 systems (with $\text{A} = \text{alkali metal}$, $\text{M} = \text{Sc, Y, La, Ln}$) as well as properties of melts. Systematic investigations on the types of compounds that may occur in these systems are generally not available, except on compounds of the type $\text{Cs}_2\text{NaMCl}_6$ with cubic elpasolite structure (perovskite superstructure), whose physical properties have been studied extensively and systematically.

Frankfurt/Main, August 1977

Hartmut Bergmann

Inhaltsverzeichnis

(Table of Contents see page X)

	Seite
12' Verbindungen des Systems M-Cl-H	1
12.1 Lanthanhydridchloride	1
12.2 Hexachlorocer(IV)-Säure	1
13 Oxidchloride von Sc, Y, La, Ln	3
13.1 Vergleichende Angaben über Lanthanid(II)-oxidchlorid $M_2OCl_2(?)$	3
13.2 Vergleichende Angaben über Lanthanid(III)-oxidchloride	3
13.2.1 M_3OCl_7	3
13.2.2 M_2OCl_4	4
13.2.3 $MOCl$	5
Bildung und Darstellung	5
Physikalische Eigenschaften	7
Kristallographische Eigenschaften und Dichte	7
Thermodynamische Daten	10
Optische Eigenschaften	12
Chemisches Verhalten	13
13.2.4 M_3O_4Cl	16
13.2.5 Lanthanidoxidchloridhydrate	16
13.3 Angaben über einzelne Oxidchloride	16
13.3.1 Scandiumoxidchloride	16
$ScOCl$	16
Weitere Scandiumoxidchloridphasen	16
13.3.2 Yttriumoxidchloride	17
Zustandsdiagramm des Systems YCl_3 - Y_2O_3	17
$Y_3O_2Cl_5$	17
$YOCi$	17
Bildung und Darstellung	17
Physikalische Eigenschaften	19
Chemisches Verhalten	19
$Y_4O_5Cl_2$	20
Y_3O_4Cl	20
13.3.3 Lanthanoxidchloride	20
Zustandsdiagramm des Systems $LaCl_3$ - La_2O_3	20
$LaOCl$	21
Bildung und Darstellung	21
Physikalische Eigenschaften	23
Chemisches Verhalten	24
13.3.4 Ceroxidchloride	25
Cer(III)-oxidchlorid $CeOCl$	25
Bildung und Darstellung	25
Physikalische Eigenschaften	27
Chemisches Verhalten	27
Cer(IV)-oxidchlorid $CeOCl_2$	27

	Seite
13.3.5 Praseodymoxidchloride	27
PrOCl	27
Bildung und Darstellung	27
Physikalische Eigenschaften	28
Chemisches Verhalten	29
Pr ₄ O ₅ Cl ₂	29
13.3.6 Neodymoxidchloride	29
Zustandsdiagramm des Systems NdCl ₃ -Nd ₂ O ₃	29
NdOCl, DiOCl	30
Bildung und Darstellung	30
Physikalische Eigenschaften	30
Chemisches Verhalten	31
13.3.7 Promethiumoxidchlorid-PmOCl	31
13.3.8 Samariumoxidchloride	31
Zustandsdiagramm des Systems SmCl ₃ -SmOCl	31
SmOCl	31
Bildung und Darstellung	31
Physikalische Eigenschaften	32
Chemisches Verhalten	33
Zustandsdiagramm des Systems YOCl-SmCl ₃ -SmOCl-YCl ₃	33
13.3.9 Europiumoxidchloride	33
Europium(II)-oxidchlorid Eu ₄ OCl ₆	33
Europium(III)-oxidchlorid EuOCl	34
Bildung und Darstellung	34
Physikalische Eigenschaften	34
Chemisches Verhalten	35
13.3.10 Gadoliniumoxidchlorid GdOCl	35
Bildung und Darstellung	35
Eigenschaften	36
13.3.11 Terbiumoxidchlorid TbOCl	36
13.3.12 Dysprosiumoxidchlorid DyOCl	36
13.3.13 Holmiumoxidchloride	37
Ho ₃ O ₂ Cl ₅	37
HoOCl	38
13.3.14 Erbiumoxidchlorid ErOCl	38
Bildung und Darstellung	38
Eigenschaften	39
13.3.15 Thuliumoxidchlorid TmOCl	39
13.3.16 Ytterbiumoxidchloride	39
YbOCl	39
Yb ₃ O ₄ Cl	41
13.3.17 Lutetiumoxidchlorid LuOCl	41
 14 Hydroxidchloride und Oxidhydroxidchloride des Sc, Y, La, Ln	 42
14.1 Vergleichende Angaben	42
14.1.1 Systeme AOH-MCl ₃ -H ₂ O	42
14.1.2 M(OH)Cl ₂	43

14.1.3	$M(OH)_2Cl$	43
	Bildung und Darstellung	43
	Kristallographische Eigenschaften, Dichte	44
	Thermodynamische Eigenschaften	47
	IR-Spektren	48
	Chemisches Verhalten	49
14.1.4	Weitere Hydroxidchloride des Typs $M(OH)_xCl_{3-x}$	50
14.1.5	$M_3O(OH)_5Cl_2$	52
14.2	Angaben über einzelne Hydroxidchloride und Oxidhydroxidchloride	54
14.2.1	Scandiumhydroxidchloride	54
14.2.2	Yttriumhydroxidchloride	55
	Das System $AOH-YCl_3-H_2O$	55
	$Y(OH)Cl_2$	56
	$Y(OH)_xCl_{3-x}$ mit $x = 1.7, 1.75$	56
	$Y(OH)_2Cl$	56
	$Y(OH)_xCl_{3-x}$ mit $x = 2.5, 2.6$	59
	$Y_3O(OH)_5Cl_2$	59
14.2.3	Lanthanhydroxidchloride	60
	Das System $AOH-LaCl_3-H_2O$	60
	$La(OH)Cl_2$	61
	$La(OH)_2Cl$	61
	$La(OH)_xCl_{3-x} \cdot nH_2O$	62
14.2.4	Cerhydroxidchloride	63
	Das System $AOH-CeCl_3-H_2O$	63
	$Ce(OH)Cl_2$ (?)	64
	$Ce(OH)_2Cl$	64
	$Ce(OH)_{2.33}Cl_{0.67}$	64
	$Ce(OH)_{2.5}Cl_{0.5}$	65
	$Ce(OH)_{2.8}Cl_{0.2}$	65
14.2.5	Praseodymhydroxidchloride	65
14.2.6	Neodymhydroxidchloride	66
14.2.7	Samariumhydroxidchloride	68
14.2.8	Europiumhydroxidchloride	70
14.2.9	Gadoliniumhydroxidchloride	71
14.2.10	Terbiumhydroxidchloride	72
14.2.11	Dysprosiumhydroxidchloride	72
14.2.12	Holmiumhydroxidchloride	73
14.2.13	Erbiumhydroxidchloride	74
14.2.14	Thuliumhydroxidchloride	74
	$Tm_2O(Cl_{0.3}H_{0.7}) \cdot 2H_2O$	74
	Thulium(III)-hydroxidchloride	75
14.2.15	Ytterbiumhydroxidchloride	75
14.2.16	Lutetiumhydroxidchloride	76
15	Chlorite, Chlorate, Perchlorate	78
15.1	Chlorite	78
15.1.1	Vergleichende Angaben über $M(ClO_2)_3$	78

	Seite
15.1.2 Angaben über einzelne Chlorite	78
Sc(ClO ₂) ₃	78
Y(ClO ₂) ₃ · n H ₂ O	78
La(ClO ₂) ₃ · n H ₂ O	79
Ce(ClO ₂) ₃	79
Pr(ClO ₂) ₃ · n H ₂ O	80
Nd(ClO ₂) ₃ · n H ₂ O	80
Sm(ClO ₂) ₃ · n H ₂ O	80
Tb(ClO ₂) ₃ · n H ₂ O	80
Er(ClO ₂) ₃ · n H ₂ O	80
15.2 Chlorate	81
15.2.1 Vergleichende Angaben über M(ClO ₃) ₃ · n H ₂ O	81
15.2.2 Angaben über einzelne Chlorate	81
Scandiumchlorat (?)	81
La(ClO ₃) ₃ · 2 H ₂ O	81
Nd(ClO ₃) ₃	82
Eu(ClO ₃) ₃ -Lösungen	82
Gd(ClO ₃) ₃ · 10 H ₂ O	82
Tb(ClO ₃) ₃ -Lösungen	82
15.3 Perchlorate	83
15.3.1 Vergleichende Angaben	83
M(ClO ₄) ₃	83
M(ClO ₄) ₃ · n H ₂ O	85
Bildung und Darstellung	85
Physikalische Eigenschaften	86
Chemisches Verhalten	86
Wäßrige Lösungen von M(ClO ₄) ₃	89
Herstellung und Konstitution der Lösungen	89
Mechanische Eigenschaften wäßriger Lösungen	90
Thermische Eigenschaften wäßriger Lösungen	93
Optische Eigenschaften wäßriger Lösungen	95
Elektrische Eigenschaften wäßriger Lösungen	95
Lösungen von M(ClO ₄) ₃ in Perchlorsäurelösungen	96
Dioxanaddukte M(ClO ₄) ₃ · 9 H ₂ O · 4 C ₄ H ₈ O ₂	96
Lösungen von M(ClO ₄) ₃ in nichtwäßrigen Lösungsmitteln	97
15.3.2 Angaben über einzelne Perchlorate	98
Scandiumperchlorate	98
Sc(ClO ₄) ₃	98
Sc(ClO ₄) ₃ -Hydrate	99
Wäßrige Lösung von Sc(ClO ₄) ₃	99
ScOH(ClO ₄) ₂	101
Yttriumperchlorate	101
Y(ClO ₄) ₃	101
Y(ClO ₄) ₃ -Hydrate	101
Wäßrige Lösung von Y(ClO ₄) ₃	101
Lanthanperchlorate	102
La(ClO ₄) ₃	102
La(ClO ₄) ₃ -Hydrate	102
Lösungen von La(ClO ₄) ₃	103

	Seite
Cerperchlorate	105
Cer(III)-perchlorate	105
Das System $\text{Ce}(\text{ClO}_4)_3\text{-H}_2\text{O}$	105
Das System $\text{Ce}(\text{ClO}_4)_3\text{-HClO}_4\text{-H}_2\text{O}$	106
$\text{Ce}(\text{ClO}_4)_3$	107
$\text{Ce}(\text{ClO}_4)_3\text{-Hydrate}$	107
Lösungen von $\text{Ce}(\text{ClO}_4)_3$	108
Cer(IV)-perchlorate	109
Lösungen von Cer(IV)-perchloraten	109
$\text{H}_2[\text{Ce}(\text{ClO}_4)_6]$	111
Basische Cer(IV)-perchlorate	111
Praseodymperchlorate	112
Neodymperchlorate	112
$\text{Nd}(\text{ClO}_4)_3$	112
$\text{Nd}(\text{ClO}_4)_3\text{-Hydrate}$	113
Lösungen von $\text{Nd}(\text{ClO}_4)_3$	113
$\text{Di}(\text{ClO}_4)_3$	114
Samariumperchlorate	114
$\text{Sm}(\text{ClO}_4)_3$	114
$\text{Sm}(\text{ClO}_4)_3\text{-Hydrate}$	114
$\text{Sm}(\text{ClO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O} \cdot 4\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	115
Europiumperchlorate	115
Gadoliniumperchlorate	115
Terbiumperchlorate	116
Dysprosiumperchlorate	116
Holmiumperchlorate	116
$\text{Ho}(\text{ClO}_4)_3$	116
$\text{Ho}(\text{ClO}_4)_3\text{-Hydrate}$	117
Erbiumperchlorate	117
$\text{Er}(\text{ClO}_4)_3\text{-Hydrate}$	117
Lösungen von $\text{Er}(\text{ClO}_4)_3$	117
Ytterbiumperchlorate, Lutetiumperchlorate	118
16 Chloridfluoride und Oxidchloridfluoride des Sc, Ln	119
16.1 ScCl_2F	119
16.2 NdCl_2F	119
16.3 EuClF	119
16.4 EuClF-MOCl-Mischkristalle	120
17 Alkalichlorometallate des Sc, Y, La und der Lanthanide	120
17.1 Überblick	120
17.1.1 Systeme ACl-MCl_3	120
17.1.2 Systeme $\text{ACl-MCl}_3\text{-H}_2\text{O}$	122
17.2 Lithiumchlorometallate	123
17.2.1 Vergleichende Angaben über die Systeme $\text{LiCl-MCl}_3\text{-H}_2\text{O}$	123

	Seite
17.2.2 Angaben über einzelne Lithiumchlorometallate	123
Lithiumscandiumchloride	123
System $\text{LiCl}-\text{ScCl}_3$	123
Li_3ScCl_6	125
Lithiumyttriumchloride	125
Lithiumlanthanchloride	126
Das System $\text{LiCl}-\text{CeCl}_3-\text{H}_2\text{O}$	128
Lithiumneodymchloride	129
Lösungen von LiCl und EuCl_3	130
Lithiumgadoliniumchloride	130
Lithiumdysprosiumchloride	130
Lithiumholmiumchloride	131
Lithiumlutetiumchloride	131
17.3 Natriumchlorometallate	131
17.3.1 Vergleichende Angaben über Natriumchlorometallate (III)	131
Systeme $\text{NaCl}-\text{MCl}_3$	132
Verbindungen des Typs NaMCl_4	134
Verbindungen des Typs Na_3MCl_6	134
17.3.2 Angaben über einzelne Natriumchlorometallate	134
Natriumscandiumchloride	134
Natriumyttriumchloride	136
Natriumlanthanchloride	138
Das System $\text{NaCl}-\text{LaCl}_3$	138
Das System $\text{NaCl}-\text{LaCl}_3-\text{H}_2\text{O}$	140
Natriumcerchloride	141
Das System $\text{NaCl}-\text{CeCl}_3$	141
Das System $\text{NaCl}-\text{CeCl}_3-\text{H}_2\text{O}$	142
Natriumpraseodymchloride	143
Das System $\text{NaCl}-\text{PrCl}_3$	143
Das System $\text{NaCl}-\text{PrCl}_3-\text{H}_2\text{O}$	144
Natriumpraseodym (IV)-chlorid Na_2PrCl_6	144
Natriumneodymchloride	145
Das System $\text{NaCl}-\text{NdCl}_3$	145
Das System $\text{NaCl}-\text{NdCl}_3-\text{H}_2\text{O}$	146
Das System $\text{NaCl}-\text{NdCl}_3-\text{YCl}_3$	146
Natriumsamariumchloride	147
Natriumeuropiumchloride	148
Natriumgadoliniumchloride	149
Natriumterbiumchloride	150
Natriumdysprosiumchloride	151
Natriumholmiumchloride	152
Natriumerbiumchloride	153
Natriumytterbiumchloride	155
Natriumlutetiumchloride	155
17.4 Kaliumchlorometallate	156
17.4.1 Vergleichende Angaben über Kaliumchlorometallate (III)	157
Systeme $\text{KCl}-\text{MCl}_3$	157
$\text{KM}_3\text{Cl}_{10}$	159
KM_2Cl_7	160

KMCl ₄	160
K ₃ M ₂ Cl ₉	160
K ₂ MCl ₅	162
K ₃ MCl ₆	163
17.4.2 Angaben über einzelne Kaliumchlorometallate	166
Kaliumscandiumchloride	166
Kaliumyttriumchloride	168
Kaliumlanthanchloride	171
Das System KCl-LaCl ₃ und wasserfreie Verbindungen	171
Das System KCl-LaCl ₃ -H ₂ O	175
Kaliumcerchloride	175
Kaliumcer (III)-chloride	175
Das System KCl-CeCl ₃ und wasserfreie Verbindungen	175
Das System KCl-CeCl ₃ -H ₂ O	180
Kaliumcer (IV)-chlorid K ₂ CeCl ₆ (?)	181
Kaliumpraseodymchloride	181
Kaliumpraseodym (III)-chloride	181
Kaliumpraseodym (IV)-chlorid K ₂ PrCl ₆	183
Kaliumneodymchloride	184
Das System KCl-NdCl ₃ und wasserfreie Verbindungen	184
Das System KCl-NdCl ₃ -H ₂ O	187
Das System KCl-NdCl ₃ -YCl ₃	188
Kaliumsamariumchloride	188
Kaliumsamarium (II)-chloride	188
Kaliumsamarium (III)-chloride	189
Kaliumeuropiumchloride	190
Kaliumgadoliniumchloride	192
Kaliumterbiumchloride	193
Kaliumdysprosiumchloride	194
Kaliumholmiumchloride	195
Kaliumerbiumchloride	197
Kaliumytterbiumchloride	199
Kaliumytterbium (II)-chloride	199
Kaliumytterbium (III)-chloride	199
Kaliumlutetiumchloride	200
Kaliumlithiumchlorometallate	200
Das System KCl-LiCl-LaCl ₃	201
Das System KCl-LiCl-LaCl ₃ -H ₂ O	201
Das System KCl-LiCl-CeCl ₃	201
Das System KCl-LiCl-NdCl ₃	202
Kaliumnatriumchlorometallate	202
Allgemeines	202
Das System KCl-NaCl-ScCl ₃	202
Kaliumnatriumyttriumchloride	203
Das System KCl-NaCl-CeCl ₃	205
Das System KCl-NaCl-PrCl ₃	206
Das System KCl-NaCl-NdCl ₃	207
Kaliumnatriumsamariumchloride	208
17.5 Ammoniumchlorometallate	209
17.5.1 Ammoniumyttriumchloride	210
17.5.2 Ammoniumlanthanchloride	210

	Seite
17.5.3 Ammoniumcerchloride	210
17.5.4 Ammoniumpraseodymchloride	211
17.5.5 Ammoniumneodymchloride	212
17.5.6 Ammoniumeuropium-, Ammoniumterbiumchloride	212
17.6 Verbindungen mit Ammoniumderivatchloriden und weiteren Oniumchloriden	212
17.6.1 Hydraziniumlanthanchloride, Hydraziniumcerchloride	212
17.6.2 Hydroxylammoniumlanthanchloride, Hydroxylammoniumcerchloride	213
Das System $[\text{HONH}_3]\text{Cl}-\text{LaCl}_3-\text{H}_2\text{O}$	213
Das System $[\text{HONH}_3]\text{Cl}-\text{CeCl}_3-\text{H}_2\text{O}$	213
17.6.3 Verbindungen von MCl_3 mit organischen Ammoniumchloriden und weiteren Oniumchloriden	213
Überblick	213
Vergleichende Angaben	215
Dialkylammoniumchlorometallate	215
Trimethylammoniumchlorometallate	216
Tetraalkylammoniumchlorometallate	216
Pyridiniumchlorometallate	217
Phosphoniumchlorometallate	218
Angaben über einzelne Systeme	219
Systeme $[\text{CH}_3\text{NH}_3]\text{Cl}-\text{MCl}_3-\text{H}_2\text{O}$	219
Das System $[\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3]\text{Cl}-\text{CeCl}_3-\text{H}_2\text{O}$	219
Das System $[\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_3]\text{Cl}-\text{CeCl}_3-\text{H}_2\text{O}$	219
Systeme $[(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2]\text{Cl}-\text{MCl}_3-\text{H}_2\text{O}$	219
Das System $[(\text{C}_4\text{H}_9)_2\text{NH}_2]\text{Cl}-\text{CeCl}_3-\text{H}_2\text{O}$	221
Systeme $[(\text{CH}_3)_3\text{NH}]\text{Cl}-\text{MCl}_3-\text{H}_2\text{O}$	221
Das System $[(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{NH}]\text{Cl}-\text{LaCl}_3-\text{H}_2\text{O}$	221
Das System $[(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_3\text{NH}]\text{Cl}-\text{LaCl}_3-\text{H}_2\text{O}$	222
Das System $[(\text{CH}_2)_2(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}_2-\text{LaCl}_3-\text{H}_2\text{O}$	222
Das System $[(\text{CH}_2)_2\{\text{NH}(\text{CH}_3)_2\}_2]\text{Cl}_2-\text{LaCl}_3-\text{H}_2\text{O}$	222
Das System $[(\text{CH}_2)_6(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}_2-\text{CeCl}_3-\text{H}_2\text{O}$	222
Systeme $[(o-, m-, p)-\text{C}_6\text{H}_4(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}_2-\text{LaCl}_3-\text{H}_2\text{O}$	222
$\text{CeCl}_3 \cdot [\text{C}_5\text{H}_5\text{NH}]\text{Cl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	223
Das System $[\text{C}_4\text{H}_8(\text{NH}_2)_2]\text{Cl}_2-\text{LaCl}_3-\text{H}_2\text{O}$	223
17.6.4 Verbindungen von MCl_4 mit organischen Oniumchloriden	223
17.7 Rubidiumchlorometallate	224
17.7.1 Vergleichende Angaben	225
Systeme $\text{RbCl}-\text{MCl}_3$	225
Systeme $\text{RbCl}-\text{MCl}_3-\text{H}_2\text{O}$	225
17.7.2 Angaben über einzelne Rubidiumchlorometallate	225
Rubidiumscandiumchloride	225
Rubidiumyttriumchloride	227
Rubidiumlanthanchloride	229
Rubidiumcerchloride	229
Rubidiumpraseodymchloride	230
Rubidiumneodymchloride	231
Rubidiumsamariumchloride	231
Rubidiumterbiumchloride	232