

INTERNATIONAL STUDIES in SCIENCE and ENGINEERING

Peter von Dierkes

Guido Bruch

ABFALL UND CHEMIE

Teil II: Ausgewählte Elemente, Verbindungen und Prozesse

**Vorlesungsbegleitbuch aus der Reihe
Entsorgungsmanagement kommunaler Betriebe
zum Thema
„Umweltbelastende Abfälle und Substanzen“**



TU Clausthal

2007

Dr. Peter von Dierkes
eh. Vorstandsvorsitzender der Berliner Stadtreinigungsbetriebe (BSR), AöR
Honorarprofessor der Technischen Universität Clausthal
peter.dierkes@kaprun.at

Dr. Guido Bruch
Berliner Stadtreinigungsbetriebe (BSR), AöR
guido.bruch@bsr.de

Vorlesungsreihe über das Entsorgungsmanagement kommunaler Betriebe an der
Technischen Universität Clausthal
Institut für Energieverfahrenstechnik und Brennstofftechnik (IEVB)
Agricolastraße 4
38 678 Clausthal-Zellerfeld
Deutschland

Dierkes, Peter von; Bruch, Guido:
Abfall und Chemie, Teil I: Grundlagen
Clausthal-Zellerfeld: Papierflieger 2007
ISBN 3-89720-880-6

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen
Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über
<http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Redaktionsgruppe:

Dr. Peter von Dierkes
Dr. Guido Bruch, BSR, Berlin
Dipl.-Math. Marc Muster, IEVB, TU Clausthal

INTERNATIONAL STUDIES in SCIENCE and ENGINEERING

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Roman Weber, IEVB, TU Clausthal (Deutschland)

In dieser Reihe sind bereits erschienen:

1. Weber, R.: *Lecture Notes in Heat Transfer*
2. Jeschar, R.; Kostowski, E.; Alt, R.: *Wärmestrahlung in Industrieöfen*
3. Weber, R.; Alt, R.; Muster, M.: *Vorlesungen zur Wärmeübertragung, Teil I*
4. Dierkes, P. v.; Bruch, G.: *Abfall und Chemie, Teil I*

Copyright © 2007 by PAPIERFLIEGER, Clausthal-Zellerfeld 2005, Telemannstr. 1,
38678 Clausthal-Zellerfeld, Tel.: 05323/96746, <http://www.papierflieger-verlag.de>

Kein Teil dieses Buches darf ohne vorherige schriftliche Genehmigung des
Herausgebers vervielfältigt oder übertragen werden in irgendeiner Form oder durch
irgendein Medium, elektronisch oder mechanisch, einschließlich Fotokopieren,
Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

ISBN 3-89720-880-6

Der Umschlag dieses Buches wurde von Herrn Dipl.-Biochem. Steffen Siegmund
(BSR, Berlin) entworfen.

Inhaltsübersicht

1.	Einführung	1
2.	Erd-Entstehung	3
2.1.	Die Perioden der Entstehung	3
2.1.1.	Periode 1	3
2.1.2.	Periode 2	3
2.1.3.	Periode 3	3
2.1.4.	Periode 4	4
2.2.	Das Schalenmodell der Erde.....	4
3.	Umweltorientierte Schutzziele und gefährdende Schadstoffe	5
3.1.	Allgemeines.....	5
3.2.	Charakterisierung von Stoffen.....	6
3.3.	Definitionen	10
3.4.	Aufnahme von Schadstoffen im menschlichen Körper	10
4.	Aufbau und Abbau von organischem Material	12
4.1.	Photosynthese (Aufbau).....	12
4.2.	Atmung vs. Gärung (Abbau).....	12
4.2.1.	Gärung (anaerob).....	13
4.2.2.	Atmung (aerob)	13
5.	Stoffe – Eigenschaften, Wirkungen in der Umwelt (Luft, Wasser, Boden)	15
5.1.	Stoffkreisläufe (Austausch zw. Kompartimenten; A, B, F, O).....	15
5.2.	Bo-Lu-Wa-Verteilungsmechanismen	15
5.2.1.	Die Bereiche	15
5.3.	Nachweismethoden von chem. Stoffen in festen Gemischen (Abfallstoffe etc.).....	18
5.3.1.	Liebig-Verfahren (C-, H-Bestimmung).....	19
5.3.2.	Dumas-Verfahren (N-Bestimmung).....	20
5.3.3.	Qualitative Analysen.....	21
5.3.4.	Nachweis der Anionen aus dem Sodauszug	24
5.3.4.1.	Cyanid, CN ⁻	24
5.3.4.2.	Rhodanid, SCN ⁻	25
5.3.4.3.	Fluoride, F ⁻	25
5.3.4.4.	Jodide, J ⁻	25
5.3.4.5.	Sulfide, S ²⁻	25
5.3.4.6.	Sulfite, SO ₃ ²⁻	26
5.3.4.7.	Thiosulfate, S ₂ O ₃ ²⁻	26
5.3.4.8.	Phosphate, PO ₄ ³⁻	26
5.3.5.	Abtrennung und Nachweise der Kationen	27
5.3.5.1.	Die HCl-Gruppe	27
5.3.5.2.	Die H ₂ S-Gruppe	28
5.3.5.3.	Die NH ₃ -Gruppe.....	31
5.3.5.4.	Die (NH ₄) ₂ S-Gruppe.....	32
5.3.5.5.	Die (NH ₄) ₂ CO ₃ -Gruppe.....	34
6.	Atmosphäre (Daten, Fakten)	36
6.1.	Aufbau der Atmosphäre (nach Kenngrößen)	36
6.2.	Barometrische Höhenformel.....	36
6.3.	Sphärenmodell, Temp.-Verlauf und molares Massenprofil.....	36
6.3.1.	Ionisierungszustand	36
6.3.2.	Der vertikale Temperaturverlauf	37
6.4.	Luftverschmutzung (Nachweise)	37
6.4.1.	Kohlenmonoxid / CO	38
6.4.2.	Kohlendioxid / CO ₂	38
6.4.3.	Stickoxide / NO, NO ₂	38
6.4.4.	Schwefeldioxid, SO ₂	39
6.4.5.	Ungesättigte Kohlenwasserstoffe, KW und Aromaten (Benzol)	39
6.4.6.	Schwermetalle, SM	39
7.	Wasser (Daten, Fakten)	40
7.1.	Allgemeines.....	40
7.2.	Verdunstung vs. Niederschlag	40

7.3.	Wassermengen und Verteilung.....	40
7.4.	Wassermengen und Kreislauf.....	41
7.5.	Wasserbelastungen, allgemein.....	43
7.5.1.	Wasserarten.....	43
7.5.1.1.	Natürliche Wässer (wichtigste Arten).....	43
7.5.1.2.	Haushalts- und Industrierwässer (s.h. Kläranlagen; H ₂ O-spez.)	44
7.5.2.	Reinigungsmessung über elektr. Leitfähigkeit (LF).....	44
7.5.3.	Reinigungsmethoden.....	44
7.5.3.1.	Allgemeines.....	44
7.5.3.2.	Mechanische Reinigungsstufen (am Beispiel Kläranlage).....	46
7.5.3.3.	Biologische Reinigungsstufe (am Beispiel Kläranlage).....	46
7.5.3.4.	Chemische Reinigungsstufe.....	49
7.5.3.5.	Der Sauerstoffgehalt im Wasser.....	50
7.6.	Wasserbelastungen, speziell.....	55
7.6.1.	Mengen an Abwasser und Industrierwässern.....	55
7.6.2.	Wasch- und Reinigungsmittel.....	55
7.6.2.1.	Tenside.....	55
7.6.2.2.	Enthärter (sog. Gerüststoffe).....	56
7.6.3.	Kohlenwasserstoffe.....	57
7.6.3.1.	Allgemeines.....	57
7.6.3.2.	Öle.....	58
7.6.3.3.	Aliphatische Kohlenwasserstoffe (KW).....	59
7.6.3.4.	Cycloaliphatische Kohlenwasserstoffe (KW).....	59
7.6.3.5.	Aromatische Kohlenwasserstoffe (KW).....	59
7.6.3.6.	Terpenkohlenwasserstoffe.....	60
7.6.3.7.	Chlorkohlenwasserstoffe (CKW).....	60
7.6.3.8.	Alkohole.....	61
7.6.3.9.	Ketone und Aldehyde.....	61
7.6.3.10.	Ester.....	62
7.6.3.11.	Äther / Glykoläther, Glykole.....	62
7.6.4.	Abwässer aus d. Metallbeizerei und Galvanik.....	62
7.6.5.	Wasserverschmutzung (Einzelnachweise von Ionen u.a.).....	63
7.6.5.1.	Ammonium-Ionen, NH ₄ ⁺	64
7.6.5.2.	Nitrite, NO ₂ ⁻	64
7.6.5.3.	Nitrate, NO ₃ ⁻	64
7.6.5.4.	Acetat, Ac ⁻ , CH ₃ COO ⁻	65
7.6.5.5.	Fluoride, F ⁻	65
7.6.5.6.	Chloride, Cl ⁻	66
7.6.5.7.	Cyanide, CN ⁻	66
7.6.5.8.	Phosphate, PO ₄ ³⁻	67
7.6.5.9.	Sauerstoff, O ₂	68
7.6.5.10.	Sulfate, SO ₄ ²⁻	68
7.6.5.11.	Sulfite, SO ₃ ²⁻ und Sulfide, S ²⁻	68
7.6.5.12.	Kohlenhydrate (Mono-, Di- und Polysaccharide).....	69
7.6.5.13.	SM-Ionen (s.h. auch Trennung/Nachweise von Kationen).....	69
7.6.5.14.	Phenole, C ₆ H ₅ -OH.....	71
7.6.5.15.	Tenside.....	71
7.6.5.16.	EiweiÙe, Fette, Öle.....	72
8.	Die 4. Hauptgruppe.....	73
8.1.	Allgemeines.....	73
8.2.	E ²⁺ -Verbindungen.....	75
8.3.	E ⁴⁺ -Verbindungen.....	75
8.4.	Elementarer C (besondere Stellung im PSE).....	77
8.4.1.	Allgemeines.....	77
8.4.2.	Wichtige C-Träger (Kohle, Erdöl und Erdgas).....	78
8.4.2.1.	Kohle.....	78
8.4.2.2.	Erdöl.....	78
8.4.2.3.	Erdgas.....	78
8.4.2.4.	Kohlendioxid, CO ₂	79

8.4.2.5.	Graphit und Diamant.....	79
8.4.2.6.	Besondere C-Formen.....	79
8.4.3.	Reaktionen des C mit ausgewählten Elementen / Verbindungen.....	82
8.4.4.	Kohlendioxid, CO ₂ (Sigma- und π-Bindungen).....	82
8.4.4.1.	Allgemeines.....	82
8.4.4.2.	Besonderheiten des CO ₂	82
8.4.4.3.	CO ₂ und die Atmung (Mensch).....	85
8.4.4.4.	CO ₂ -Gefahren.....	85
8.4.4.5.	Zustandsdiagramm des CO ₂	85
8.4.4.6.	Karbonatbildung.....	86
8.4.4.7.	CO ₂ -Quellen und Senken.....	86
8.4.4.8.	CO ₂ -THE / Ausstoß-Emittenten.....	88
8.4.4.9.	C-Kreislauf.....	92
8.4.4.10.	Änderungen d. CO ₂ -Gehaltes (Atmosph.; Photosynthese / Verkehr).....	93
8.4.4.11.	Photosynthese (C-Assimilation).....	99
8.4.5.	Kohlenmonoxid, CO (Sigma und π-Bindungen).....	100
8.4.5.1.	Allgemeines.....	100
8.4.5.2.	Generatorgas (Luftgas; CO/N ₂).....	101
8.4.5.3.	Wassergas (CO/H ₂).....	102
8.4.5.4.	Spaltgas (CO/nH ₂).....	103
8.4.5.5.	Synthesegas (CO, H ₂).....	103
8.4.5.6.	CO-Eigenschaften.....	103
8.4.5.7.	CO-Quellen und Senken.....	104
8.4.5.8.	Verkehr / Autos und CO.....	105
8.4.5.9.	CO-Senken (Besonderheiten).....	108
8.4.5.10.	CO – Wirkungen.....	109
8.4.5.11.	Verbrennung.....	110
8.4.6.	FCKW (Fluorchlorkohlenwasserstoffe; Treibhausgase).....	112
8.4.6.1.	Arten, Einsatz und THE.....	112
8.4.6.2.	FCKW- Ersatzstoffe.....	116
8.4.6.3.	ODP und GWP- Vergleiche.....	116
8.4.6.4.	FCKW-Verbräuche.....	117
8.4.6.5.	Katalytischer Ozonabbau.....	117
8.4.7.	Methan, CH ₄	118
8.4.7.1.	Allgemeines.....	118
8.4.7.2.	Methan und Umwelt.....	120
8.4.7.3.	CH ₄ als Kraftstoff.....	122
8.4.7.4.	CH ₄ – Atmosphäre.....	122
8.4.7.5.	Austrag, Senken, Abbau.....	124
8.4.7.6.	CH ₄ -Umweltauswirkungen, THE / GWP.....	125
8.4.7.7.	Gärung.....	127
9.	Die 5. Hauptgruppe.....	131
9.1.	Allgemeines.....	131
9.2.	N-Kreislauf.....	133
9.2.1.	Biologischer Kreislauf.....	134
9.2.2.	Industrielle N-Fixierung.....	134
9.2.2.1.	N-Kreislauf.....	135
9.2.2.2.	Dissoziationsenergien.....	135
9.2.3.	Luftbelastungen (Troposphäre).....	136
9.2.3.1.	Quellen.....	136
9.2.3.2.	Ionisationen.....	136
9.2.3.3.	N-Kationen / Anionen.....	137
9.2.3.4.	Innenraumluft.....	137
9.2.4.	Anthropogene Einflüsse.....	137
9.2.4.1.	Allgemeines.....	137
9.2.4.2.	Ammonifikation, Nitrifikation / Denitrifikation.....	138
9.3.	Ausgewählte N- Verbindungen (N ₂ , NO, NO ₂ , N ₂ O etc.).....	139
9.3.1.	Allgemeines.....	139
9.3.2.	Stickstoff, N ₂	140

9.3.3.	Stickoxid, NO	141
9.3.3.1.	Allgemeines	141
9.3.3.2.	NO-Bildungsmechanismen.....	142
9.3.4.	Lachgas, N ₂ O.....	143
9.3.4.1.	Wechselwirkung mit O-Verbindungen u.a.....	143
9.3.4.2.	N ₂ O-Gehalte, Senken und Quellen.....	144
9.3.4.3.	N ₂ O-Verhalten in der Troposphäre / Stratosphäre	145
9.3.5.	Stickstoffdioxid, NO ₂	145
9.3.5.1.	Photochemisches Gleichgewicht	145
9.3.5.2.	Umweltauswirkungen	146
9.3.5.3.	NO _x -Quellen.....	146
9.3.5.4.	Emissionen und Gehalte in der Luft.....	147
9.3.5.5.	Lebensdauer in Abhängigkeit der Reaktanten	147
9.3.5.6.	Reaktionen in der Atmosphäre	148
9.3.6.	Nitrat, NO ₃ ⁻	149
9.3.6.1.	Nitrat in Pflanzen etc.....	149
9.3.6.2.	Nitrat im Körper.....	149
9.3.7.	NO ₂ als Verbindung.....	150
10.	Die 6. Hauptgruppe.....	151
10.1.	Die O-Gruppe	151
10.1.1.	Allgemeines	151
10.1.2.	Besondere Fragen.....	151
10.1.3.	Ionisierungsenergie und Bindungslängen	155
10.2.	Sauerstoff, O ₂	155
10.2.1.	Allgemeines	155
10.2.2.	O ₂ -Verbrauch / Abbau	157
10.2.3.	Photolyse und Photoionisation.....	158
10.2.4.	Photosynthese	159
10.2.5.	OH- Radikale	159
10.3.	Ozon, O ₃	160
10.3.1.	Allgemeines	160
10.3.2.	O ₃ -Quellen / Senken.....	161
10.3.3.	Ozon in der Troposphäre (< 10 km) / Photooxidantien	162
10.3.4.	Smog	163
10.3.4.1.	Allgemeines	163
10.3.4.2.	Reaktionsabläufe	163
10.3.5.	O ₃ -Verbrauch / Abbau	166
10.3.6.	O ₃ -O ₂ -Chapman-Zyklus.....	167
10.3.7.	Ozon-Loch	168
10.3.8.	Der Wassertropfen in der Atmosphäre, Aerosole	170
10.4.	Der Schwefel, S und ausgewählte S-Verbindungen.....	171
10.4.1.	S-Verbindungen in der Umwelt.....	173
10.4.2.	S-Quellen + Senken / Kreislauf.....	173
10.4.3.	Schwefeldioxid, SO ₂	174
10.4.3.1.	Allgemeines	174
10.4.3.2.	SO ₂ -Emissionen.....	175
10.4.3.3.	SO ₂ - Smog	176
10.4.4.	Schwefelhexafluorid, SF ₆	177
10.4.5.	Sulfat / SO ₄ ²⁻ und Schwefelsäure / H ₂ SO ₄	178
10.4.6.	Sulfit / SO ₃ ²⁻ , Schwefelige Säure / H ₂ SO ₃	178
10.4.7.	Carbonylsulfid / COS und Schwefelkohlenstoff / CS ₂	179
10.4.8.	Dimethylsulfid, Methylmercaptan und Schwefelwasserstoff / H ₂ S.....	179
11.	Die 7. Hauptgruppe.....	181
11.1.	Halogengruppe	181
11.1.1.	Allgemeines	181
11.1.2.	Besonderheiten	181
11.1.3.	Die Säurestärke der HX (Abnahme von U → O)	184
11.1.4.	Das Redoxverhalten der HX / X ⁻ ; X ₂	184
11.2.	Fluorwasserstoff / HF und Salzsäure / HCl.....	185

12.	Asbest	188
12.1.	Allgemeines.....	188
12.2.	Besonderheiten	189
12.3.	Gesundheitsaspekte	190
12.4.	Anordnung der Silicate in div. Asbestformen und Asbestarten	190
12.5.	Asbestanwendungen	191
13.	Polychlorierte Biphenyle / PCB, Dioxine und Furane	193
13.1.	Chlorchemie	193
13.2.	Polychlorierte Biphenyle, PCB	194
13.2.1.	Schadstoffpotential von Polychlorbiphenylen (PCB).....	195
13.2.2.	Wirkung von PCB auf den Menschen u. a. Lebewesen	196
13.3.	Dioxine und Furane; PCDD + PCDF	196
13.3.1.	Allgemeines zu PCDD, PCDF.....	196
13.3.2.	Freisetzung von Dioxinen	197
13.3.3.	Toxizitätsäquivalent (TE)	200
13.3.4.	Bildungs- und Reaktionswege	201
13.3.5.	Dioxinaufnahme beim Menschen	203
13.3.6.	Nachweise	204
13.3.7.	Toxikologie → Wirkungsmechanismen	205
13.3.8.	Akute Vergiftungserscheinungen	206
14.	Die Schwermetalle, Pb, As, Cu, Hg und Cd	208
14.1.	Allgemeines.....	208
14.2.	Me-Emissionen, Kreisläufe.....	209
14.2.1.	Emissionen (natürlich, anthropogen).....	210
14.2.2.	Biologische HWZ.....	210
14.3.	Blei, Pb.....	211
14.3.1.	Allgemeines	211
14.3.2.	Pb-Quellen, Mengen	212
14.3.3.	Autoverkehr.....	213
14.3.4.	Pb-Toxische Wirkungen	213
14.4.	Arsen, As.....	214
14.4.1.	Allgemeines	214
14.4.2.	Ökochemische As-Reaktionen.....	215
14.4.3.	Besonderheiten	216
14.5.	Kupfer, Cu	218
14.5.1.	Kupfer- Salze	218
14.5.2.	Toxische Wirkung und Besonderheiten.....	218
14.6.	Die Zn-Cd-Hg-Gruppe.....	219
14.6.1.	Elemente.....	219
14.6.2.	Besonderheiten	219
14.6.3.	Zinkgruppe- Eigenschaften, gerundete Werte	222
14.6.4.	Hg, Quecksilber.....	223
14.6.4.1.	Der Name	223
14.6.4.2.	Spezielle Hg-Eigenschaften	223
14.6.4.3.	Hg- Eintrag in die Umwelt.....	224
14.6.4.4.	Umweltchemie des Hg	227
14.6.4.5.	Hg - Amalgam.....	230
14.6.4.6.	Toxische Wirkungen von Hg und Hg- Verbindungen.....	232
14.6.4.7.	Hg und Hausmüll	235
14.7.	Cadmium, Cd.....	236
14.7.1.	Allgemeines	236
14.7.2.	Cd in der Umwelt / Toxizitäten	237
14.7.3.	Grenzwerte	238
14.7.4.	Wirkungen / Mensch.....	238
15.	Zigaretten	239
15.1.	Allgemeines.....	239
15.2.	Tabakrauchinhaltsstoffe	239
15.3.	Nachweise von Schadstoffen im Rauch	241
15.3.1.	Schwefeldioxid, SO ₂	241

15.3.2.	Schwefelwasserstoff, H ₂ S.....	242
15.3.3.	Stickoxide, NO / NO _x	242
15.3.4.	Kohlendioxid und -monoxid, CO ₂ , CO, (s.d.).....	242
15.3.5.	Ungesättigte KW	242
15.3.6.	Ammoniak, NH ₃	242
15.4.	Sonstiges.....	242
16.	Kunststoffe.....	244
16.1.	Allgemeines.....	244
16.2.	Wichtiges zu Kunststoffen / Arten.....	244
16.2.1.	Die verschiedenen Kunststoffgruppen	244
16.2.2.	Zusatzstoffe (insbes. Weichmacher).....	246
16.2.2.1.	Allgemeines	246
16.2.2.2.	Weichmacher.....	246
16.2.2.3.	Verarbeitungsarten von Weichmachern.....	249
16.2.3.	Polymerisation.....	249
16.2.3.1.	Allgemeines	249
16.2.3.2.	Polymerisationsarten.....	250
16.3.	Kunststoffverwertung	253
16.3.1.	Probleme	253
16.3.2.	Verfahren	253
16.3.3.	Einsatzmöglichkeiten.....	254
16.4.	Ku.-Stoffe und Ökobilanzen	254
16.5.	Abbaubare Kunststoffe	255
16.5.1.	Allgemeines	255
16.5.2.	Definition.....	256
16.5.3.	Anforderungen an die Kunststoffe.....	257
16.5.4.	Zusatzstoffe	257
16.5.5.	Einsatzmöglichkeiten.....	257
16.5.6.	Synthese- und Abbauprozesse.....	258
16.5.7.	Ausgangsstoffe	258
16.5.8.	Abbaubare Kunststoffe auf Stärke- und Cellulosebasis	258
16.5.8.1.	Allgemeines	258
16.5.8.2.	Mischung mit anderen Polymeren	259
16.5.8.3.	Einsatz als Copolymer	259
16.5.8.4.	Stärkederivate.....	259
16.5.9.	Materialien auf Polyesterbasis.....	260
	Verzeichnis der Abkürzungen	262
	Verzeichnis der Abbildungen	266
	Verzeichnis der Tabellen.....	269
	Stichwortverzeichnis.....	277
	Verwendete Literatur.....	278
	Geschichte der Elementnamen.....	280