

INTERNATIONAL STUDIES in SCIENCE and ENGINEERING

Peter von Dierkes

Guido Bruch

ABFALL UND CHEMIE

Teil I: Grundlagen

**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 3-89720-879-2

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*

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 3-89720-879-2

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

Inhaltsübersicht

Vorwort	i
1. Einführung	1
1.1. Abfall und Schadstoffe.....	1
1.2. Die Abkehr unserer Gesellschaft von Naturwissenschaft und Technik.....	2
1.3. Ein paar Zusatzüberlegungen.....	3
2. Unsere Elemente im Periodensystem der Elemente (PSE)	6
2.1. Entstehung der Elemente.....	6
2.1.1. Bildung der leichteren Elemente.....	6
2.1.2. Bildung der schwereren Elemente.....	6
2.2. Die Häufigkeit der Elemente.....	7
3. Energie, Enthalpie, Entropie	8
3.1. Wärmetheorie in früherer Zeit.....	8
3.2. Thermodynamik.....	8
3.2.1. Allgemeines.....	8
3.2.2. Die Hauptsätze (HS) der Thermodynamik.....	10
3.2.2.1. Erster Hauptsatz (1HS) - Meyer, Joule, Helmholtz.....	10
3.2.2.2. Zweiter Hauptsatz (2HS) - Carnot, Clausius, Thomson.....	15
3.2.2.3. Dritter Hauptsatz (3HS) - Nernst, Planck, Lorentz, Einstein.....	20
3.2.3. Energie und Reaktionen.....	21
3.2.3.1. Bildungsenthalpie.....	21
3.2.3.2. Dissoziationsenthalpie.....	21
3.2.3.3. Neutralisationsenthalpie.....	21
3.2.3.4. Lösungsenthalpien, Mischungen / Konzentrationen.....	22
3.2.3.5. Reaktionen.....	25
4. Das Chemische Gleichgewicht	35
4.1. Allgemeines.....	35
4.2. Gleichgewichtsüberlegungen (das Massenwirkungsgesetz / MWG).....	35
4.3. Löslichkeitsprodukt, Löslichkeit und Verteilung.....	40
4.3.1. Lösungsmittel (LM).....	40
4.3.1.1. Allgemeines.....	40
4.3.1.2. Unterteilung.....	40
4.3.2. Das Lösungsmittel Wasser (physikalische Eigenschaften).....	41
4.3.2.1. Siede- und Schmelzpunkte der H-Verbindungen.....	41
4.3.2.2. Die Dichte des Wassers.....	42
4.3.2.3. Der Dipol Wasser.....	42
4.3.2.4. Eisstruktur.....	43
4.3.2.5. Bildungsenthalpie-H ₂ O (s.d.).....	45
4.3.2.6. Dielektrizitätszahl (ϵ).....	45
4.3.2.7. Dipolmoment-H ₂ O.....	46
4.3.3. Hydratisierungs- vs. Gitterenergie; Löslichkeit.....	47
4.3.4. Löslichkeitsprodukt und Bodenkörper.....	49
4.3.5. Löslichkeit und Verteilung.....	54
4.3.5.1. Wasserlöslichkeit; der S-Wert.....	55
4.3.5.2. Fettlöslichkeit; der POW-Wert und BCF-Wert.....	55
4.3.6. Löslichkeiten von umweltrelevanten Gasen in Wasser.....	57
4.3.6.1. Die Löslichkeitskonstante.....	57
4.3.6.2. Lösevorgang ohne Wasserreaktion (O ₂ , CO ₂ , SO ₂).....	58
4.3.6.3. Lösevorgang mit Wasserreaktion (CO ₂ , SO ₂).....	58
4.3.6.4. Das Gesetz von Henry.....	60
5. Zustandsformen der Materie	61
5.1. Gasförmige Stoffe (Gase).....	61
5.1.1. Die allgemeine Gasgleichung.....	61
5.1.2. Weitere Gas-Gesetze (Gay-Lussac und Boyle-Mariotte).....	63
5.2. Phasenumwandlungen.....	64
5.2.1. Allgemeines.....	64
5.2.2. Der Tripelpunkt des Wassers (Gibbs'sche Freiheitsgrade).....	68

5.3.	Eigenschaften von Lösungen (Raoult'sche Gesetze).....	71
5.3.1.	Allgemeines	71
5.3.2.	Siedepunkterhöhung und Gefrierpunktniedrigung	72
5.3.3.	Diffusion / Osmose und Verteilung.....	74
5.3.3.1.	Polarität und Verteilung.....	74
5.3.3.2.	Osmose	75
5.3.3.3.	Adsorption	77
5.3.3.4.	Oberflächenspannung.....	77
5.3.4.	Kolloide.....	79
6.	Säuren und Basen.....	80
6.1.	Allgemeines.....	80
6.2.	Säure-Base-Begriff (Lewis, Broensted und Lowry)	81
6.2.1.	Das Proton nach Lewis.....	82
6.2.2.	Broensted-Säuren	83
6.3.	Das Pearson'sche Säure-Base-Prinzip	85
6.3.1.	Allgemeines	85
6.3.2.	Anwendung des HSAB-Prinzips	87
6.3.2.1.	Art der Komplexbildung (Stabilität)	87
6.3.2.2.	Höhe der Oxidationsstufe (Stabilität)	87
6.3.2.3.	Ablauf bei der doppelten Lewis-S-B-Umsetzung.....	87
6.3.2.4.	Aussagen über Energie- und Geschwindigkeiten bei chemischen Reaktionen	87
6.4.	Säure- und Basenkonstanten (pK_S - und pK_B -Werte).....	88
6.4.1.	Protochemische Spannungsreihe	89
6.4.2.	Zusammenhang von pK_S - und pH-Wert.....	90
6.4.3.	Säure-Base-Reaktionen vs. Red.-Ox.-Reaktionen	90
6.5.	Die Rolle des Wassers (Verhalten als Säure / Base; Dissoziation)	90
6.5.1.	Allgemeines	90
6.5.2.	Säure-Basen-Partner – korrespondierende Paare	92
6.5.3.	Säure- / Basenstärke (über pK_S - und pK_B -Werte).....	93
6.5.4.	Säure- / Basenstabilität (EN, Stabilität und Beständigkeit)	95
6.5.5.	MWG-Anwendung / Berechnungen, Ergebnisse	98
6.6.	Der pH-Wert.....	105
6.6.1.	Eigendissoziation des Wassers	105
6.6.2.	Neutrales Wasser	106
6.6.3.	Saure und basische Lösungen	106
6.6.4.	HX-Aciditätsvergleich	107
6.7.	Homolytische und heterolytische Dissoziation des H_2	108
6.8.	Härte des Wassers (GH, CH/TH, NCH/SH).....	109
6.8.1.	Allgemeines	109
6.8.2.	Härteklassifikation	109
6.8.2.1.	Gesamthärte (GH)	109
6.8.2.2.	Carbonat- oder Temporäre Härte (CH)	110
6.8.2.3.	Nicht-Carbonathärte / Sulfathärte (NCH)	110
6.8.3.	Behandlung / Enthärter.....	111
7.	Salze	113
7.1.	Bildungsgesetz und Arten	113
7.2.	Hydrolyse, Hydrolysekonstante.....	114
7.3.	Die Kation-Deformationswirkung vs. Salzcharakter	116
7.4.	Anion-Polarisationswirkung.....	116
7.5.	Elektrolyte, Hydratisierung / Solvatisierung, Komplexe	116
7.5.1.	Elektrolyte	116
7.5.2.	Hydratkomplexe	118
7.5.3.	Beständigkeit von Komplexen (z.B. Anlagerungskomplexe)	118
7.6.	Puffer (Definition).....	119
7.6.1.	Die pH-Berechnung.....	121
7.6.2.	Pufferkapazität	123
7.7.	Die Hydroxid-Fällung	124
7.7.1.	Allgemeines	124

7.7.2.	Die Fällungsgleichung	125
7.7.3.	Hydroxokomplexe.....	126
7.7.4.	Oxide	128
8.	Bau der Atome und Bindungen.....	129
8.1.	Die wichtigsten Atommodelle	129
8.1.1.	Dalton (1805)	129
8.1.2.	Rutherford (1911).....	129
8.1.3.	Bohr (1913).....	130
8.1.4.	Bohr-Sommerfeld (1916).....	130
8.1.5.	De Broglie (1924), E. Schrödinger und Heisenberg (1926).....	131
8.2.	Atomkern und Hülle	132
8.2.1.	Atom	132
8.2.2.	Atomkerne (AK).....	133
8.2.3.	Nuklide, Isotope, Massenzahl	133
8.2.4.	e-Hülle-Orbitalmodelle.....	134
8.2.4.1.	Allgemeines	134
8.2.4.2.	Orbitalmodell nach dem Teilchenmodell	135
8.2.4.3.	Orbitalmodell nach dem Wellenmodell	136
8.2.4.4.	Besetzung der Orbitale durch Elektronen	137
8.2.4.5.	s-Orbitale (Hauptgruppenelemente)	137
8.2.4.6.	p-Orbitale (Hauptgruppenelemente)	138
8.2.4.7.	d- und f-Orbitale (Nebengruppenelemente)	139
8.2.4.8.	Energieniveaus	140
8.3.	Bindungstheorien.....	140
8.3.1.	Allgemeines	140
8.3.2.	VB-Theorie (VB).....	141
8.3.3.	Die Molekularorbitaltheorie (MO-Theorie)	143
8.3.3.1.	Bindende und antibindende MO; Überlappung	143
8.3.3.2.	Symmetrie und Überlappung.....	145
8.3.3.3.	MO-Symmetrien (Bindungstypen)	146
8.3.3.4.	MO in 2-atomigen Molekülen (mit 1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 3d)	146
8.3.3.5.	MO-E-Niveau-Korrektur	150
8.3.3.6.	Hybridisierung.....	151
8.3.3.7.	Das MO-Hybrid-Äquivalent.....	154
8.3.3.8.	Delokalisierung von Bindungen (Resonanzstrukturen).....	154
8.3.3.9.	Resonanz in der MO	156
8.3.3.10.	Kovalenter Charakter vs. ionischem Bdg.-Anteil (Polarisationseffekte)..	156
8.3.3.11.	Polarisationsfolgen (Smp., Sdp., Löslichkeit, Hydratationsenthalpien, Zersetzlichkeiten etc.)	158
8.3.3.12.	Löslichkeit von Salzen (in polaren LM / H ₂ O).....	158
8.3.3.13.	Hydratationsenthalpien (ΔH)	158
8.3.3.14.	Zersetzlichkeit der Karbonate (MeCO ₃ → MeO + CO ₂).....	159
8.3.3.15.	MO in polaren Molekülen	159
8.4.	Ionenbindung, Ionenbeziehung, Heteropolare Bindung	160
8.4.1.	Allgemeines (Ionenentstehung)	160
8.4.2.	Stoffeigenschaften.....	162
8.5.	Kovalente Bindung, homöopolare Bindung, unpolare Bindung	163
8.5.1.	Allgemeines	163
8.5.2.	Bindungen in Molekülen und in Gittern	164
8.5.3.	s-s-σ-Bindungen.....	165
8.5.4.	p-p-σ-Bindungen	167
8.5.5.	s-p-σ-Bindungen	168
8.5.6.	p-p-π-Bindungen	169
8.5.7.	Hybridorbitale.....	172
8.6.	Metallbindung und Bändermodell.....	175
8.6.1.	Metallbindung.....	175
8.6.2.	Bändermodell.....	176
8.7.	Komplexe (Bindungen)	177
8.7.1.	Ligandenfeldbetrachtungen	177

8.7.1.1.	Allgemeines	177
8.7.1.2.	Valenzstruktur-Theorie (Pauling)	179
8.7.1.3.	Prinzip der Elektroneutralität und Rückbindung	180
8.7.1.4.	Carbonyle (analog auch Nitrosyle)	181
8.7.1.5.	Entwicklungen der Ligandenfeldtheorie (LFT) und Oktaederfeld	182
8.7.1.6.	LF-Stabilisierung im schwachen Liganden-Feld (Oktaederfeld).....	185
8.7.1.7.	Ligandenfeld bei einer Tetraedersymmetrie.....	188
8.7.1.8.	Die Paarbildungsenergie	190
8.7.1.9.	10Dq-Abhängigkeiten und Fakten	191
8.7.1.10.	Die tetragonale Verzerrung (Jahn-Teller-Effekt; JTE)	193
8.7.1.11.	Quadratisch planare Koordination	199
8.7.2.	Die Molekülorbitaltheorie in Komplexen	201
8.7.2.1.	Der Nephelauxetische Effekt (N.E.)	202
8.7.2.2.	Bindungen nach der LFT und MO	203
8.7.2.3.	Die Orbitalsymmetrie.....	204
8.7.2.4.	Die π -Bindung in der MO-Theorie	208
8.7.3.	NiMe-Komplexe.....	210
8.7.4.	Me-Komplexe	211
8.8.	Wertigkeiten / Ox.-Zahlen	213
8.8.1.	Stöchiometrische Wertigkeit	213
8.8.2.	Ionenwertigkeit	214
8.8.3.	Oxidationszahl.....	215
8.8.4.	Bindigkeit	217
9.	Das Periodensystem der Elemente (PSE)	218
9.1.	Allgemeines.....	218
9.2.	Die wichtigsten Tendenzen im PSE	219
9.3.	Die Hauptgruppenelemente (PSE-verkürzt)	220
9.3.1.	Die HG-Elemente und die Füllung der Lücken	222
9.3.2.	Aufbau der e-Schalen (HG)	224
9.3.2.1.	Das Schalenmodell (Bauprinzip)	224
9.3.2.2.	Die Hauptquantenzahl (n)	225
9.3.3.	Die Nebenquantenzahl (l).....	231
9.3.4.	Die Magnetische Quantenzahl.....	233
9.3.5.	Die Spinquantenzahl	233
9.4.	Energie-Inhalte (e-Einbau).....	234
9.5.	Besondere Eigenschaften im PSE (HG).....	236
9.5.1.	Orbitalformen und Knoteneffekte	236
9.5.2.	Die Abschirmung; Slater-Regeln.....	238
9.5.3.	Die Größe der Atome	241
9.5.3.1.	Allgemeines	241
9.5.3.2.	Atom-, Ionen- und Kovalenzradien	243
9.5.4.	Die Ionisierungsenergie (IE)	245
9.5.4.1.	Allgemeines	245
9.5.4.2.	Die Ionisierungsenergie (IE).....	246
9.5.4.3.	Der Verlauf der IE	248
9.5.4.4.	IE-Sprünge im PSE.....	250
9.5.4.5.	Der Zick-Zack-Verlauf in der Periode des PSE	250
9.5.4.6.	Die e-Abgabe vs. Orbitalbesetzung	251
9.5.4.7.	IE (Radien; e-Aufnahme / -Abgabe).....	254
9.5.5.	Elektronenaffinitäten (EA).....	255
9.5.6.	Elektronegativität / EN.....	260
9.5.6.1.	Allgemeines	260
9.5.6.2.	Spezielles	262
9.5.6.3.	Die Pauling-Skala, ebenso AR-, M-J-, S-Skalen	263
9.5.6.4.	Veränderlichkeit der EN	271
9.6.	Weitere Eigenschaftstrends in den HG.....	273
9.6.1.	Allgemeine Reaktivität.....	273
9.6.2.	Die Schrägbeziehung	274
9.6.3.	Ni-Me und Me-Charakter	276

9.6.4.	Maximalwertigkeiten von Elementen (Ionen).....	278
9.6.5.	Die Dichten	280
9.6.6.	Redoxstabilität.....	280
9.6.7.	Basizität und Acidität.....	281
9.6.7.1.	Allgemeines.....	281
9.6.7.2.	Die Basizität der OH-Verbindungen in der Periode (HG).....	283
9.6.7.3.	Die Basizität der OH-Verbindungen in der Gruppe (HG)	284
9.6.7.4.	Acidität und Basizität verschiedener H-Verbindungen.....	287
9.7.	Anomalien der 3. und 4. HG.....	288
9.8.	Eine Auswahl von Nebengruppen-Elementen (d-Block); Übergangselemente	290
9.8.1.	Der d ⁰ -Block.....	290
9.8.2.	Der d ¹ -Block.....	292
9.8.3.	Der d ² -Block.....	292
9.8.4.	Der d ³ -Block.....	293
9.8.5.	Der d ⁴ -Block.....	293
9.8.6.	Der d ⁵ -Block.....	293
9.8.7.	Der d ⁶ -Block.....	293
9.8.8.	Der d ⁷ -Block.....	293
9.8.9.	Der d ⁸ -Block.....	294
9.8.10.	Der d ⁹ -Block.....	294
9.8.11.	Der d ¹⁰ -Block.....	294
10.	Oxidation und Reduktion.....	295
10.1.	Ursprungsdefinition.....	295
10.2.	Korrespondierende Paare.....	299
10.3.	Redox.-Systeme vs. S/B-Paare.....	299
10.4.	Stärke von Redox.-Systemen	300
10.5.	Oxidation und Reduktion des Wassers.....	301
10.6.	Die Stabilität von Oxidationsstufen (wässr. System).....	302
10.6.1.	Ox.-Stufen und das E ⁰	302
10.6.2.	Stabilität und Konzentration.....	304
10.6.3.	Auswahl der wichtigsten NG-Elemente (Ox.-Stufenstabilität)	305
10.6.3.1.	Erste NG -d ⁹ - (Cu, Ag)	305
10.6.3.2.	Zweite NG -d ¹⁰ - (Zn, Cd, Hg).....	306
10.6.3.3.	Sechste NG -d ⁴ - (Chrom)	307
10.6.3.4.	Siebte -d ⁵ s ² - und achte NG -d ^{6,7,8} s ² - (Fe, Co, Ni)	307
10.7.	Dissoziationsenergie, DE.....	308
10.8.	Bindungsenergie, BE aus DE.....	310
10.9.	Potential – ein Vermögen der Kraft – (Halbzellen, NP / E ⁰ , Spannungsreihe etc.)..	310
10.9.1.	Allgemeines	310
10.9.2.	Halbzellen, Normal-/Standardpotential.....	313
10.9.3.	Die Daniell'sche EMK und die elektrolytische Zelle	315
10.9.3.1.	Daniell'sches Element (freiwilliger Ablauf)	315
10.9.3.2.	Die elektrolytische Zelle (Zersetzungsspannung; erzwungener Ablauf).....	317
10.9.4.	Die Potentialdiagramme	318
10.9.5.	Vorgänge in den Zellen	318
10.9.5.1.	Allgemeines.....	318
10.9.5.2.	Die elektromotorische Kraft (EMK); NWE	319
10.9.5.3.	Festlegung von NP / E ⁰	320
10.9.5.4.	Rechenregeln / Kombinationsvorschriften	324
10.9.5.5.	Spannungsreihe.....	326
10.9.5.6.	NP und Freie Energie (ΔG)	327
10.9.5.7.	NP-Ordnungen (Spannungsreihe).....	328
10.9.5.8.	Nernst'sche Gleichung (NP als Funktion der Konzentration).....	332
10.9.5.9.	Donnan-Potentiale	336
10.9.5.10.	Wasser-Spaltung	338
10.9.5.11.	Elektrochemische Spaltung.....	338
10.9.5.12.	Chemische Spaltung.....	339
10.9.5.13.	Wassergas.....	340
10.9.5.14.	Synthesegase	340

10.9.6.	Zellen und Akkus.....	341
10.9.6.1.	Allgemeines	341
10.9.6.2.	Primärzellen (Galvanische Elemente; irreversibel).....	341
10.9.6.3.	Sekundärzellen (Akkumulatoren; reversibel).....	341
10.9.6.4.	Batterie / Akkus.....	341
10.9.6.5.	Galvanische Elemente	342
10.9.6.6.	Daniell Element.....	342
10.9.6.7.	Leclanche Element	343
10.9.6.8.	Akkumulatoren.....	344
11.	Die Katalyse	350
11.1.	Überblick zur Geschichte	350
11.2.	Definition und Grundarten.....	350
11.3.	Die Katalysatorwirkung	351
11.4.	Bildung der Zwischenprodukte (Übergangszustand).....	353
11.5.	Kenngrößen eines Katalysators	353
12.	Anlagen.....	356
12.1.	Stöchiometrie oder das Chemische Rechnen.....	356
12.1.1.	Allgemeines	356
12.1.2.	Gesetz der konstanten Proportionen.....	356
12.1.3.	Gesetz der multiplen Proportionen.....	357
12.1.4.	Gesetz der äquivalenten Proportionen.....	358
12.1.5.	Definitionen	359
12.1.5.1.	Die relative Atommasse und Molekülmasse	359
12.1.5.2.	Die absoluten Massen; M_a	359
12.1.5.3.	Das Mol (Molekulargewicht in Gramm).....	360
12.1.5.4.	Teilchenzahl und Mol	360
12.1.5.5.	Atomvolumen (AV).....	361
12.2.	Maßsysteme / Maßeinheiten / Umrechnungen	362
12.2.1.	Allgemeines	362
12.2.2.	Die Elektrizitätsmenge.....	364
12.2.3.	Umrechnungshilfen	364
12.2.4.	Fehlerbetrachtung	365
12.2.4.1.	Messergebnisse - Beurteilung, Signifikanz, Fehler.....	365
12.2.4.2.	Zusammenfassung	367
12.3.	Nachweisverfahren über Spektroskopie	368
12.3.1.	Allgemeines	368
12.3.2.	IR-Spektroskopie.....	369
12.3.2.1.	Absorption und Durchlässigkeit einer Probe (organische Substanzen).....	369
12.3.2.2.	Bewegungen / Schwingungen	370
12.3.2.3.	Auswahlregeln	371
12.3.2.4.	Harmonischer und anharmonischer Oszillator	371
12.3.3.	Elektronen-Sprungspektren (UV-Bereich + sichtbarer Bereich).....	376
12.3.3.1.	Allgemeines	376
12.3.3.2.	Vergleich IR vs. UV / sichtbare Strahlung	376
12.3.3.3.	Das Übergangsmoment	377
12.3.4.	Kern- und e-Spin-Resonanz-Spektren	384
	Verzeichnis der Abkürzungen.....	386
	Verzeichnis der Abbildungen	390
	Verzeichnis der Tabellen.....	393
	Glossar	396
	Stichwortverzeichnis	434
	Verwendete Literatur.....	438
	Vita	440