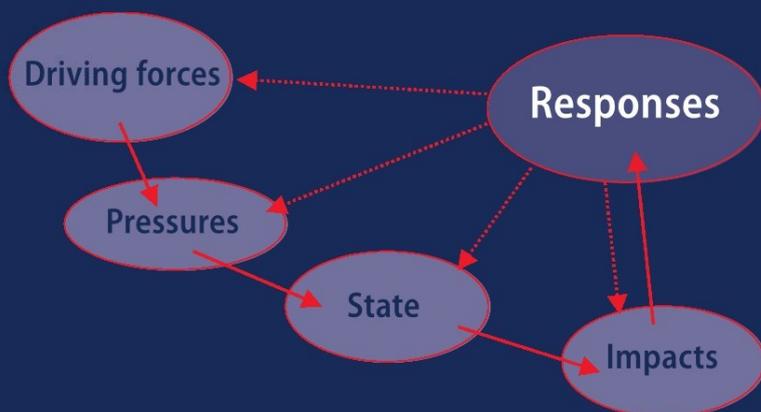


Ulrich Förstner

Umweltschutz- technik

8., neu bearbeitete Auflage



Umweltschutztechnik

Ulrich Förstner

Umweltschutztechnik

8., neu bearbeitete Auflage

 Springer

Prof. Dr. Ulrich Förstner
Technische Universität Hamburg-Harburg
Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft
Eißendorfer Straße 40
21071 Hamburg
Deutschland
u.foerstner@tu-harburg.de

ISBN 978-3-642-22972-5 e-ISBN 978-3-642-22973-2
DOI 10.1007/978-3-642-22973-2
Springer Heidelberg Dordrecht London New York

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

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1990, 1991, 1992, 1993, 1995, 2004, 2008, 2012

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk 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.

Einbandentwurf: WMXDesign GmbH, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem Papier

Springer ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media (www.springer.com)

Für

Dirk, Barbara, Jens, Konrad und Friedrich

Vorwort zur 8. Auflage

Joachim Radkaus „Die Ära der Ökologie – eine Weltgeschichte“, erschienen im Februar 2011, endet mit dem Satz: „aus der Geschichte erkennt man, dass es den historischen Augenblick gibt, wo das Trägheitsmoment bestehender Strukturen durchbrochen wird und manches möglich wird, was bis dahin als unmöglich galt“.

Es wäre zu kurz gegriffen, würde man hier eine Vorahnung auf die Katastrophe im japanischen Fukushima sehen. Tatsächlich hatte die „Große Transformation“ (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen) längst begonnen und auch die „Wege zur 100% erneuerbaren Stromversorgung“ (Sachverständigenrat für Umweltfragen) waren bereits vorgezeichnet. Inzwischen hatte die „Energiewende“ schon die traditionellen Praxisgebiete der Wasser- und Abfallwirtschaft erreicht. Die vorliegende 8. Auflage der „Umweltschutztechnik“ beschreibt diese neueren Entwicklungen in den einzelnen Umweltmedien.

„Innovationsorientierte Industriepolitik – ein Megatrend?“ war eine zentrale Frage im Jahresgutachten 2008 des Sachverständigenrats. Die Prognosen u.a. von Roland Berger Strategy Consultants („GreenTech made in Germany“) und die Studie „Roadmap Umwelttechnologien 2020“ des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (KIT Karlsruhe) haben die Marktchancen und die Prioritätsfelder im Wirtschaftssector Umwelttechnik aufgezeigt. Das Kapitel 2 des vorliegenden Buchs befasst sich mit den Aufgaben der technischen Disziplinen im betrieblichen Umweltschutz. Der Gastbeitrag von Alexander Holst (Accenture) führt die verschiedenen Aspekte zusammen: „Wie Nachhaltigkeit zum Unternehmenserfolg beiträgt: branchenspezifisch, heute und in der Zukunft“.

Umweltschutztechnik ist in gesetzliche Regelungen eingebettet. In dieser Phase wird die Umsetzung der EU-Richtlinien in nationales Umweltrecht abgeschlossen. Fast alle Umweltbereiche sind betroffen: Abfallwirtschafts- und Kreislaufgesetz, Deponieverordnung; Wasserhaushaltsgesetz, Abwasserverordnung und Abwasserabgabengesetz; Klärschlammverordnung; Trinkwasserverordnung; Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen (39. BImSchV). Immer wichtiger werden die EU-weiten BVT(Beste verfügbare Techniken)-Standards nach der Richtlinie „Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung“ (IVU). Die praktische Vorgehensweise wird hier an Beispielen aus den Branchen „Müllverbrennung“ und „Abfallbehandlung“ beschrieben.

Das vorliegende Buch will auf der einen Seite ein breites technikorientiertes Umweltwissen vermitteln, andererseits aber auch den Spezialisten die Querverbindungen zu benachbarten Bereichen erleichtern. Dies gilt u.a. für die Mitwirkung an interdisziplinären Forschungsprojekten zu Fragen der Energie- und Rohstoffeffizienz. So soll sich das kommende EU-Rahmenprogramm für Forschung und Innovation – nach dem Eckpunktepapier des BMBF – ab dem Jahr 2014 noch stärker als bisher der Umwelt- und Nachhaltigkeitsforschung und ihrer Anwendung in der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Praxis verschreiben.

Vorwort zur 7. Auflage

Das Projekt „Umweltschutztechnik“ wurde gemeinsam mit dem Springer-Verlag vor 20 Jahren gestartet und die ersten fünf Auflagen dieses Buchs erschienen in rascher Folge zwischen 1990 und 1995. Die 6. Auflage von 2003 stand am Beginn eines neuen Aufschwungs des ökologisch-technischen Umweltschutzes, begleitet von der erstaunlichen Entwicklung des Umweltinteresses in Europa, das bis heute unvermindert anhält. Gleichzeitig verstärkte sich die globale Debatte über Klima und Energie – das Leitthema der vorliegenden 7. Auflage.

Durch die enge Verknüpfung der übrigen Umweltaspekte mit der Energiefrage haben auch bei den traditionellen Schwerpunktthemen Luftreinhaltung, Wasser-/Abwasser und Boden/Abfall/Recycling größere Veränderungen stattgefunden, die hier beschrieben werden. Die Serie von Gastbeiträgen (in der 6. Auflage „Biotestsysteme“; „Biofilme“; „Recycling im Automobilbau“ und „Nachhaltige Wasserversorgung“) wird in der 7. Auflage mit den Beiträgen von Prof. Joachim Werther und Dr. Henning Friege zum Thema „Stoff- und Energiewirtschaft“ fortgeführt.

Dieses Buch schlägt Brücken zwischen der Grundlagenforschung und der Praxis, aber auch zwischen unterschiedlichen Weltbildern. Beispielhaft zeigen das die beiden Originalbeiträge, die mit zwei Veranstaltungen (beide am selben Tag in Berlin) zu den Themen „Klimawandel“ und „Nachhaltigkeit“ verbunden sind:

- Beim „European Sustainability Summit“ der Zeitschrift *The Economist* befasste sich der Themenschwerpunkt „Consumers and Businesses: Moving to a New Mindset – Seizing the Opportunities?“ mit den wichtigsten Treibern für erfolgreiche Geschäfte in Zeiten des Klimawandels: Der Einstellung der Verbraucher, dem technologischen Fortschritt und der Entwicklung neuer Vermarktungsmodelle. Alexander Holst von Accenture hat internationale Umfragen zu diesen Themen bei Managern und Verbrauchern im Abschn. 2.4.3 „Marktperspektiven für Umweltschutztechnologien“ ausgewertet.
- Bei der Vorstellung der Neuauflage des Buchs „Ökologische Ökonomie – eine Einführung“ (VS Verlag 2008) des Berliner Umweltökonomen und Vorsitzenden der Gesellschaft für Nachhaltigkeit, Prof. Holger Rogall, dominierte in den Diskussionen der kritische Blick auf die „Leitplanken“ für ein sozio-kulturell, ökonomisch und ökologisch ausgewogenes Wirtschaften. Die 10 Kernaussagen Rogalls zur Neuen Ökonomie in den Grenzen der natürlichen Tragfähigkeit stehen im Abschn. 1.1.2 „Umsetzung des Leitbildes Nachhaltigkeit“.

Mein herzlicher Dank geht an die Autoren dieser Beiträge und an alle, die mich mit Detailinformationen unterstützt haben. Für die Anfertigung der Abbildungen bedanke ich mich bei Eveline Hassenklöver und meinem Sohn Friedrich Förstner, für die Zusammenstellung über Literaturdatenbanken bei Herrn Thomas Hapke. Dem Springer-Verlag, insbesondere Herrn Dipl.-Ing. Thomas Lehnert und Frau Sigrid Cuneus, danke ich für das anhaltende Interesse an diesem Projekt und für die aufwändige redaktionelle Bearbeitung der vorliegenden Auflage.

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen der Umweltschutztechnik	1
1.1	Entwicklung der Leitbilder und Strategien	1
1.1.1	Umweltprobleme und Umwelthandeln	4
1.1.2	Leitbild „Nachhaltigkeit“ von Holger Rogall	7
1.1.3	Umsetzung des Leitbildes „Nachhaltigkeit“	14
1.1.4	Strategische Handlungsfelder – Perspektiven 2020	18
1.1.5	Nachhaltigkeitsmodelle für Klimawandel und Energiewende	21
1.2	Ökologische Grundlagen	30
1.2.1	Struktur von Ökosystemen	30
1.2.2	Stabilität von Ökosystemen und technischen Systemen	31
1.3	Technologische Grundlagen	34
1.3.1	Risikoforschung	36
1.3.2	Umweltinformatik	40
1.3.3	Prozessleittechnik	42
1.3.4	Verfahrenstechnik	44
1.3.5	Biotechnologie	47
1.3.6	Nanotechnologie	51
1.3.7	Technische Geochemie	52
1.3.8	Ingenieurgeologie und Geotechnik	53
1.3.9	Schutzmaßnahmen im Wasserbau	54
1.3.10	Energiesparende Bautechnik	55
1.3.11	Umweltschutztechnik als Querschnittsdisziplin	56
1.4	Literatur	57
2	Umwelttechnik im Unternehmen	65
2.1	Umweltrecht und Umweltpolitik als Rahmen	65
2.1.1	Entwicklung des Umweltrechts in Deutschland (nach [2.7])	66
2.1.2	Maßnahmen zur Umsetzung von umweltpolitischen Zielen	67
2.2	Ökologische Ausrichtung der Betriebswirtschaft	71
2.2.1	Einflüsse des Umweltschutzes auf die Unternehmen	72
2.2.2	Einsatz ökologieorientierter Managementsysteme	76
2.2.3	Integrierter betrieblicher Umweltschutz	78
2.2.4	Instrumente ökologischer Industriepolitik	80
2.3	Technik im betrieblichen Umweltschutz	81
2.3.1	Materialwirtschaft und Logistik	81
2.3.2	Produktion- und Fertigungstechnik	83
2.3.3	Verfahrensinterner Umweltschutz	84
2.3.4	Green Chemistry – Katalyseforschung	87
2.3.5	Industrielle Symbiose – Ökopark	88

2.4	Umweltschutzwirtschaft	90
2.4.1	Marktperspektiven für Umweltschutztechnologien	91
2.4.2	Ressourceneffizienz und zukunftsfähige Rohstoffpolitik	93
2.4.3	Wie Nachhaltigkeit zum Unternehmenserfolg beiträgt: branchenspezifisch, heute und in der Zukunft von Alexander Holst [2.127]	101
2.5	Literatur	111
3	Schadstoffe	119
3.1	Gefahrstoffrecht, Schadwirkungen	119
3.1.1	Gefahrstoffrecht	122
3.1.2	Schadwirkungen	124
3.1.3	Umweltgefährliche Stoffeigenschaften	127
3.1.4	Umweltstandards	128
3.1.5	Zeitskalen der Schadstoffausbreitung	130
3.1.6	Parameter der Stoffdynamik in der Umwelt	131
3.2	Schwermetalle	133
3.2.1	Umwelttechnische Relevanz	133
3.2.2	Herkunft und Wirkung	134
3.3	Organische Schadstoffe	136
3.3.1	Umwelttechnische Relevanz	136
3.3.2	Herkunft und Wirkung	139
3.4	Strahlung	143
3.4.1	Natürliche Strahlenbelastung [3.46]	144
3.4.2	Künstliche Strahlenbelastung	145
3.4.3	Elektrosmog	146
3.5	Literatur	147
4	Klima und Energie	151
4.1	Grundlagen des Klimaschutzes	151
4.1.1	Wirkung und Herkunft der Treibhausgase	153
4.1.2	Übergang zu einem nachhaltigeren Energiesystem	154
4.2	Rationelle Energieerzeugung	158
4.2.1	Umwandlung von Energieformen	158
4.2.2	Entkarbonisierung	159
4.2.3	Kraft-Wärme-Kopplung	160
4.2.4	Einsatz von Brennstoffzellen	164
4.2.5	Erhöhung der Wirkungsgrade von Kraftwerken	166
4.2.6	CO ₂ -Sequestrierung – Carbon Capture Storage Technologien	170
4.3	Einsparpotenziale	172
4.3.1	Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	172
4.3.2	Fahrzeugtechnik	174
4.3.3	Haushalte	175
4.4	Erneuerbare Energien	180
4.4.1	Nutzungsformen, Potenziale und Limitierungen	182

4.4.2	Geothermie	186
4.4.3	Solarthermische Wärmebereitstellung	187
4.4.4	Photovoltaik	188
4.4.5	Windenergie	190
4.4.6	Biomasse	192
4.5	Instrumente der Energiewende	198
4.5.1	Wasserstoff und Methan aus Erneuerbaren Energien	198
4.5.2	Stromspeicher [4.130]	200
4.5.3	Lastmanagement [4.130]	201
4.5.4	IKT-betriebene Energiesysteme	202
4.6	Literatur	204
5	Immissionsschutz	213
5.1	Ursachen und Wirkungen von Luftbelastungen	213
5.1.1	Luftschadstoffe in der Troposphäre [5.7]	215
5.1.2	Entstehung von Stickoxiden [5.9, 5.10]	215
5.1.3	Entstehung von Schwefeldioxid [5.9]	216
5.1.4	Ausbreitung von Luftschadstoffen	217
5.1.5	Wirkungen von Luftschadstoffen	219
5.2	Rechtsnormen und Ausbreitungsmodelle	222
5.2.1	Rechtsnormen	223
5.2.2	Feinstaub/Schwebstaub (PM)	226
5.2.3	Ausbreitungsmodelle	228
5.3	Luftreinhaltungstechniken	229
5.3.1	Staubemissionen	229
5.3.2	Verminderung gasförmiger Emissionen [5.29]	233
5.3.3	Entschwefelung in Kraftwerken	236
5.3.4	Minderung von Stickoxiden	237
5.3.5	Kosten der Stromerzeugung	241
5.3.6	Abgasreinigung bei Kraftfahrzeugen	242
5.4	Verkehrslärm	246
5.5	Literatur	249
6	Abwasser	255
6.1	Gewässergüte und Wasserbeschaffenheit	255
6.1.1	EG-Wasserrahmenrichtlinie und Wasser-Agenda 21	258
6.1.2	Klassifizierung der Gewässergüte und Wasserbeschaffenheit	259
6.2	Abwässer und ihre Bestandteile	260
6.2.1	Sammlung und Ableitung des Abwassers	260
6.2.2	Die kommunale Kläranlage	261
6.2.3	Schadstoffe im Abwasser	262
6.2.4	Gesetzliche Regelungen	264
6.3	Biologische Abwasserreinigung	266
6.3.1	Biologische Prinzipien und ihre technischen Anwendungen	266

6.3.2	Tropfkörperverfahren [6.36]	269
6.3.3	Belebungsverfahren	270
6.3.4	Biologische Phosphor- und Stickstoff-Eliminierung	272
6.4	Chemisch-Physikalische Abwasserreinigung	274
6.4.1	Fällung von Schwermetallen	275
6.4.2	Flockung und fest-/flüssig-Trennung [6.43]	278
6.4.3	Behandlung von Abwässern mit organischen Schadstoffen	281
6.5	Schlammbehandlung	283
6.5.1	Verfahrensstufen der Schlammbehandlung	284
6.5.2	Aerobe Schlammbehandlung – Hygienisierung	284
6.5.3	Anaerobe Abwasser- und Schlammbehandlung	285
6.5.4	Abtrennung des Schlammwassers	286
6.5.5	Schlamm-trocknung und Schlammverbrennung	287
6.5.6	Klärschlamm: Ressourcenschonung vs. Bodenschutz	290
6.6	Integrierte Wasserwirtschaft	291
6.6.1	Integration des Gesamtsystems Siedlungswasserwirtschaft	292
6.6.2	Integrierte dezentrale Abwasserentsorgungskonzepte	294
6.6.3	Flussgebietsmanagement mit kontaminierten Sedimenten	297
6.6.4	Ausblick: Energieeffizienz und demographischer Wandel	300
6.7	Literatur	303
7	Trinkwasser	311
7.1	Trinkwasserversorgung	311
7.1.1	Trinkwassernutzung und Einsparmöglichkeiten	317
7.1.2	Wasserbeschaffung	318
7.1.3	Werkstoffe in Leitungsnetzen [7.21]	320
7.1.4	Trinkwasserverordnung	322
7.2	Einflüsse auf die Wasserqualität	325
7.2.1	Chemische Reaktionen im Untergrund	326
7.2.2	Biologische Vorgänge im Untergrund	328
7.3	Methoden der Trinkwasseraufbereitung	330
7.3.1	Künstliche Grundwasseranreicherung und Uferfiltration	332
7.3.2	Physikalisch-Chemische Behandlungsverfahren	334
7.3.3	Biologische Verfahren zur Trinkwasseraufbereitung [7.56]	339
7.3.4	Verfahrenskombinationen bei der Trinkwasseraufbereitung	339
7.3.5	Technisches Sicherheitsmanagement für Trinkwasser	341
7.4	Literatur	343
8	Boden und Altlasten	347
8.1	Grundlagen und Stand des Bodenschutzes	347
8.2	Art und Ausmaß von Stoffeinträgen in Böden	350
8.2.1	Anreicherung von Schadstoffen in Böden	350
8.2.2	Prozesse der Schadstofffreisetzung und -bindung	351
8.2.3	Perspektiven für landwirtschaftlich genutzte Böden [8.10]	354

8.3	Altlastenprobleme	354
8.3.1	Sanierungsziele	356
8.3.2	Erkundung von Altablagerungen und Altstandorten	357
8.4	Sicherungsmaßnahmen	360
8.4.1	Ausgraben und Umlagern	360
8.4.2	Barriersysteme	361
8.4.3	Verfestigung, Stabilisierung und Einbindung	363
8.5	Sanierung von Altlasten	365
8.5.1	Bodenluftabsaugung	365
8.5.2	Waschverfahren	366
8.5.3	Biologische Behandlung von Altlasten	368
8.5.4	Thermische Behandlung kontaminierter Böden	370
8.6	In-situ Methoden	372
8.6.1	Sickerwasserprognose [8.54]	373
8.6.2	Natürlicher Abbau und Rückhalt	376
8.6.3	Reinigungswände [8.75]	380
8.6.4	Flächenrecycling – nachhaltiges Flächenmanagement	381
8.7	Literatur	382
9	Abfall	389
9.1	Abfallwirtschaftliche Grundlagen	389
9.1.1	Abfallwirtschaftliche Leitperspektiven	389
9.1.2	Grundsätze der Kreislaufwirtschaft [9.16]	394
9.1.3	Abfallaufkommen in Deutschland	396
9.2	Abfälle – vom Abraum bis zum Hausmüll	398
9.2.1	Abfälle aus der Bergbautätigkeit	398
9.2.2	Behandlung von Massenabfällen	402
9.2.3	Chemisch-physikalische Behandlung von Industrieabfällen	404
9.2.4	Hausmüll	406
9.3	Müllverbrennung	412
9.3.1	Müllverbrennungsanlagen	414
9.3.2	Rauchgasreinigung	416
9.3.3	Rückstandsbehandlung	417
9.3.4	Verwertung von Müllverbrennungsschlacken [9.62]	420
9.3.5	Thermische Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland [9.94]	422
9.4	Deponierung	423
9.4.1	Deponiegas und Sickerwasser	424
9.4.2	Langzeitprognose für Deponien	428
9.5	Literatur	431
10	Recycling	439
10.1	Theorie und Praxis des Recycling	439
10.1.1	Formen des Recycling	441
10.1.2	Bilanzierung von Stoff- und Energiekreisläufen	442

10.2	Recycling in verschiedenen Wirtschaftssektoren	444
10.2.1	Verwertung im Bergbau und in der Grundstoffindustrie	444
10.2.2	Urban Mining, Recycling von Baumaterialien	446
10.2.3	Recycling von Kunststoffen	450
10.2.4	Aufbereitung von Elektronikschrott	454
10.2.5	Altfahrzeug-Recycling	456
10.3	Integrierte Stoffwirtschaft	458
10.3.1	Entwicklung einer integrierten Abfallwirtschaft in Europa	458
10.3.2	Material- und Energie-Intensität über einen Gebrauchszyklus	460
10.3.3	Vermeidung von Abfällen und Schadstoffen	461
10.3.4	Alternativen für eine nachhaltige Reststoffverwertung	462
10.3.5	Abfallwirtschaft und Klimaschutz	463
10.4	Literatur	466

Anhang

Anhang zu Kapitel 1	471	
A 1.1	Das Vorsorgeprinzip im Umweltschutz (aus: 2.–4. Auflage)	471
A 1.2	Definitionen zur Umwelttechnik (Coenen et al. 1995, S. 21–25)	472
A 1.3	Frühe Denkansätze zu Umwelt und Technik (aus 1. Auflage)	474
A 1.4	Technik – angepasst oder superindustrialisiert? (aus 1. Auflage)	476
A 1.5	Zum Begriff „Transition“ – Neue Wege in die Nachhaltigkeit	478
Anhang zu Kapitel 2	479	
A 2	Entwicklung „Umwelttechnik im Unternehmen“ (4. Auflage)	479
Anhang zu Kapitel 3	481	
A 3	Entwicklung und Leitbilder der Chemiepolitik (5. Auflage)	481
Anhang zu Kapitel 4	483	
A 4.1	Energetische Umrechnungsfaktoren	483
A 4.2	Aufteilung des Energieverbrauchs in Deutschland 2004	483
A 4.3	IEKP-Gesetze, KWK-Markt, GuD-Anlagen, Bioenergie (7. Aufl.)	484
A 4.3.1	Integriertes Energie-/Klimaprogramm der Bundesregierung	484
A 4.3.2	Marktperspektiven der Kraft-Wärme-Kopplung	486
A 4.3.3	Einsatzstoffe, Emissionen, Nebenprodukte in GuD-Anlagen	488
A 4.3.4	Humid Air Turbine (HAT) als Alternative zum GuD-Prozess	489
A 4.3.5	Fortschreibung der Bioenergietechnologien bis 2020/2030	490
A 4.4	Energiewende 2011: EE-Bericht, Regelungen, Vergütungen	492
A 4.4.1	Erfahrungsbericht 2011 zum Erneuerbare-Energien-Gesetz	492
A 4.4.2	Beschlüsse des Bundeskabinetts zur Energiewende 2011	494
A 4.4.3	Vergütungen und Kosten nach dem EE-Gesetz 2011	495
A 4.5	E-Energy – Smart Grids in Germany	496

Literatur Anhang

Literatur Anhang Kapitel 1	498
A 1.1 Das Vorsorgeprinzip im Umweltschutz	498
A 1.3 Frühe Denkansätze zu Umwelt und Technik	498
A 1.4 Technik – angepasst oder superindustrialisiert?	499
Literatur Anhang Kapitel 2	500
A 2 Entwicklung „Umwelttechnik im Unternehmen“	500
Literatur Anhang Kapitel 3	502
A 3 Entwicklung und Leitbilder der Chemiepolitik	502
Literatur Anhang Kapitel 4	503
A 4.3 IEKP-Gesetze, KWK-Markt, GuD-Anlagen, Biomasse	503
A 4.3.1 Integriertes Energie-/Klimaprogramm der Bundesregierung	503
A 4.3.2 Marktperspektiven der Kraft-Wärme-Kopplung	504
A 4.3.3 Einsatzstoffe, Emissionen, Nebenprodukte in GuD-Anlagen	505
A 4.3.4 Humid Air Turbine (HAT) als Alternative zum GuD-Prozess	505
A 4.3.5 Fortschreibung der Bioenergietechnologien bis 2020/2030	505
Literaturdatenbanken „Umweltschutztechnik“	506

Verzeichnis der Kasten-Themen

Verzeichnis der Kasten-Themen aus Kapitel 1 – 4

Kap.	Thema	Seite
1.1.1	„Die Technologiepolitik muss sich auf die Technologien des 'Jahrhunderts der Umwelt' konzentrieren“ (E.U. v. Weizsäcker)	5
1.1.2	Nachhaltigkeit in Politik, Recht und Verwaltung – Beispiele aus der Schweiz (Knoepfel)	13
1.1.5	Welt im Wandel: Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation (WBGU, Wiss. Beirat Globale Umweltveränderungen)	23
1.1.5	Weltklimarat zur Zukunft der Regenerativen Energien (IPCC)	25
1.1.5	Wege zur 100 % erneuerbaren Stromversorgung – Sondergutachten des Sachverständigenrats für Umweltfragen (SRU)	27
1.2.2	Gekoppelte Kreislaufprozesse: Die Erde als Wärmemaschine	33
1.3.1	Acht Grundregeln für überlebensfähige Systeme (Vester)	35
2.1.2	Kriterien zur Bestimmung des Standes der Technik (BImSchG), Produktverantwortung (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz)	69
2.2.1	Studien und Broschüren zum Thema „Nachhaltiges Wirtschaften“	73
2.2.1	Beispiel: Unternehmensbericht „Zukunft gestalten“ (BASF)	75
2.3.3	Umweltgerechte Produktgestaltung – Integrierte Produktpolitik	85
2.4.2	Alternativen bei der Verwendung seltener Rohstoffe (CS3)	97
2.4.2	Sachverständigenrat für Umweltfragen: „Umweltinnovationen“	100
3.1.4	Grenzwerte im Spannungsfeld von Politik, Ökonomie und Wissenschaft (Dieter & Grohmann)	129
3.3.1	Chlorkohlenwasserstoffverbindungen – Struktur und Benennung	137
3.3.2	Abbaubarkeit von organischen Schadstoffen (Track & Michels)	141
4.1.1	Geschichte einer wissenschaftlichen Konsensbildung	152
4.1.2	Strategiepfade einer nachhaltigen Entwicklung im Energiebereich	155
4.2.3	„Bullensee-These“ Nr. 8 zur Dezentralen Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung (Luther et al.)	161
4.2.4	Elektromobilität – Potenziale und Herausforderungen (acatech)	165
4.2.5	Neue Steinkohle- und Braunkohlekraftwerke	167
4.2.6	Initiative COORETEC (<i>CO₂-Reduktions-Technologien</i>) für Kohlekraftwerke (BMWi)	171
4.3.1	„Vermeidungshebel“ für CO ₂ -Emissionen in der Industrie (BDI)	173
4.3.3	Vermeidungskostenkurve im Gebäudesektor – Deutschland 2020	177
4.4.5	Genehmigungsverfahren für deutsche Offshore-Windparks (BSH)	191
4.4.6	VDI Statusreport „Regenerative Energien in Deutschland“	197
4.5.1	Wasserstoff und synthetisches Erdgas nehmen Fahrt auf	199

Verzeichnis der Kasten-Themen aus Kapitel 5 – 10

Kap.	Thema	Seite
5.1.5	Internationales Kooperativprogramm zur Wirkung von Luftschadstoffen auf Materialien, historische und kulturelle Denkmäler	221
5.3.6	Externe Kosten des Verkehrs – Instrumente zur Internalisierung	245
6.1	Abwasserprobleme im 19. und 20. Jahrhundert	256
6.3.1	Biofouling – Biofilm-Reaktoren am falschen Ort (Flemming)	267
6.4.1	Ionenaustauscher-Anlagen, kombinierte Nachreinigung	277
6.5.5	Perspektiven der Klärschlamm-Mitverbrennung (Werther)	289
6.6.2	Integrierte dezentrale Abwasserentsorgung (Otterpohl)	295
6.6.4	Energiebedarf von Kläranlagen nach Größe und Ausstattung	301
7.1	Nachhaltige Wasserversorgung – Eine Aufgabe mit globaler Bedeutung (Peter Wilderer, Stockholm Water Prize 2003)	313
7.1.4	„Wasser ist nicht gleich Wasser“ – Heilwasser, Mineralwasser	323
7.2.2	Mikroorganismen im Trinkwasser (Flemming)	329
8.1	Schweiz: Konzept zum planerisch-nachhaltigen Umgang mit Bodenqualität (BAFU, Hepperle & Stoll)	349
8.6.1	Konzept zur Beurteilung des Einsatzes mineralischer Ersatzbaustoffe (Susset und Grathwohl)	375
8.6.2	Rechtliche Aspekte beim Einsatz von Natural Attenuation Prozessen (BMBF Verbundprojekt KORA, Steiner et al.)	379
9.1.2	Novelle des Kreislaufwirtschaftsgesetzes	395
9.2.2	DWA Merkblatt zum Umgang mit Baggergut: Fallbeispiele	403
9.2.4	Langzeitverhalten von organischen Substanzen in Deponien	411
9.3.4	Bestandteile der Ersatzbaustoffverordnung (Entwurf)	421
10.3.1	Abfallwirtschaft, Stoffstrommanagement und zukünftige Entwicklungslinien für die Qualität der Stoffe (Friege)	459

1 Grundlagen der Umweltschutztechnik

Umweltschutztechnik verbindet die Herstellung und Verwendung von Nutzgegenständen mit dem Schutz natürlicher Ressourcen – das sind sowohl die materiellen Komponenten wie Wasser, Luft und Boden als auch ideelle Werte wie bspw. das Wohnumfeld. Ziel und Aufgabe in Forschung und Praxis sind die Vermeidung von unerwünschten Nebenwirkungen für die Umwelt bei Ingenieurlösungen.

Der ökologische Technikansatz ist dem *Vorsorgeprinzip* verpflichtet, der frühzeitigen Erfassung möglicher negativer Effekte. Er folgt dem *Leitbild der Nachhaltigkeit*, das den Einklang von wirtschaftlicher Entwicklung, sozialer Sicherheit und der langfristigen Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen anstrebt.

Abschnitt 1.1 befasst sich mit der Umsetzung dieses Leitbildes, u.a. bei den globalen Klimaschutzzielen; die Abschn. 1.2 und 1.3 beschreiben die ökologischen und technologischen Grundlagen der Querschnittsdisziplin Umweltschutztechnik mit Beispielen aus den einzelnen Schwerpunktbereichen. Themen in Abschn. 1.1 sind u.a.: traditionelle und moderne Umweltprobleme – Technikbilder und Umwelthandeln – Nachhaltigkeit in Wirtschaft (Gastbeitrag Holger Rogall, S. 8-12), Politik, Recht und Verwaltung – Bilanzen, Modelle, Indikatoren – strategische Handlungsfelder im Umweltschutz – nachhaltiger Wandel: „Transition“ am Beispiel der Energie- und Klimafragen, kommunal, national, europäisch, global.

1.1 Entwicklung der Leitbilder und Strategien

Umweltschutztechnik umfasst in einem erweiterten Rahmen die Bestandsaufnahme und Bewertung einer Problemsituation, die Planung und Durchführung technischer Maßnahmen zur Problemlösung, sowie deren Überwachung und Nachsorge. Der Begriff „Umwelttechnik“ (*Anhang A 1.2*) wird häufig für zentrale Ingenieuraufgaben bei der Begrenzung und Reparatur von Umweltschäden benutzt.

Diese Aufgaben lassen sich weder einem technologischen Kernbereich noch bestimmten Branchen (wie Energiewandlung, Transport, Landwirtschaft) zuordnen, sondern betreffen das gesamte Spektrum von Produktion und Konsumtion [1.1]: „jedes Produkt steht in Wechselwirkungen mit der Umwelt, von der Bereitstellung der zu seiner Herstellung benötigten Rohstoffe und Energie, über den eigentlichen Herstellungsprozess und die Nutzung bis hin zu seiner Entsorgung als Abfall. Umwelttechnologien haben somit Querschnittscharakter; sie stellen bestimmte Eigenschaften oder Bestandteile von Technologien dar, durch deren gezielten Einsatz den Anforderungen an den Schutz und die Entlastung der natürlichen Umwelt entsprochen werden soll“. Ein Großteil der Umweltschutzgüter konzentriert sich auf forschungs- und wissensintensive Industrie- und Dienstleistungsbereiche, wie den Maschinen- und Fahrzeugbau, die Mess-, Steuer- und Regeltechnik, Metallverarbeitung, Elektrotechnik, Chemie- und Kunststoffindustrie sowie auf hochwertige Forschungs-, Planungs- und Beratungsleistungen [1.2].

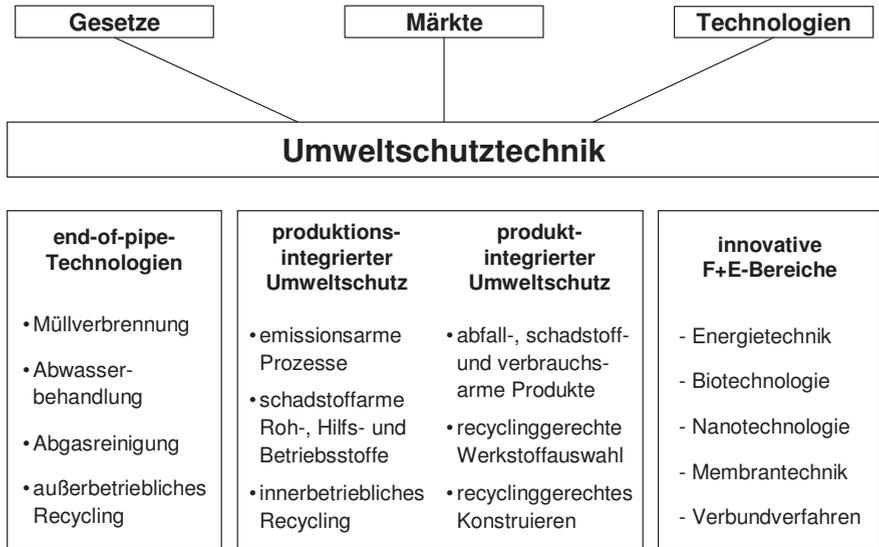


Abb. 1.1 Entwicklungsstadien der Umweltschutztechnik (nach Kaiser [1.3])

In Abb. 1.1 ist die Entwicklung von den nachbessernden zu den integrierten Umweltschutztechnologien im Überblick dargestellt:

- Für den Einsatz von Umwelttechnik sind neben dem technischen Entwicklungsstand die Marktsituation und die gesetzlichen Regelungen maßgebend (Kap. 2); letzteres gilt vor allem für die nachgeschaltete Reinigung von Abgas und Abwasser. *End-of-the-pipe*-Methoden können durchaus fortschrittlich sein, wie das Beispiel der Aktivkohlesfiltertechnik zeigt, deren hoher Wirkungsgrad den Einsatz von Müllverbrennungsanlagen in Stadtgebieten akzeptabel gemacht hat.
- Der *produktionsintegrierte Umweltschutz* zielt auf die Vermeidung und Verminderung von Abfällen innerhalb eines Produktionsprozesses, die Verwertung von Abfällen und Energien in anderen Bereichen des eigenen Betriebes und eine recyclinggerechte Auswahl von Materialien und Verfahren zur Vermeidung von nichtverwertbaren Produktionsabfällen.
- Der *produktintegrierte Umweltschutz* erweitert die verfahrensternen Maßnahmen auf den gesamten Lebensweg eines Produktes. Nachhaltigkeitsziele orientieren sich an der Einsparung von Energie und Materialien, an der Vermeidung von Schadstoffemissionen und an einem recyclingfreundlichen Produktdesign. Nach den klassischen Problemlösungen für gasförmig/flüssig/fest-Emissionen umfasst die zweite und dritte Generation von Umwelttechnologien die Nutzung von Produkten, inklusive deren Transport, Lagerung und Verteilung und am Ende die Ablagerung von Produkten und Nebenprodukten.

In allen drei Bereichen – nachbessernd, verfahrenstern und produktintegriert – werden die technischen Potenziale weiterentwickelt, auch unter Verwendung von *Innovationen* aus benachbarten Disziplinen (Abb. 1.1, rechte Säule).

Die zu lösenden Umweltprobleme befinden sich aus der Sicht der Forschung in ganz unterschiedlichen *Entwicklungsstadien*. Das erklärt auch die teilweise sehr beträchtliche Diskrepanz zwischen den öffentlichen Erwartungen oder gar Ansprüchen auf rasche Problemlösungen und den realistischen Möglichkeiten der Forschung und Praxis. Nach den Einteilungsprinzipien eines frühen niederländischen Umweltprogramms [1.4] werden in Tabelle 1.1 vier Phasen unterschieden, die mit typischen Vorgehensweisen in der Forschung und Praxis verbunden sind:

Ein Beispiel für die *Erkenntnisphase* ist der Treibhauseffekt, bei dem über eine Reihe potenzieller Ursachen, deren interne Vernetzungen und über das Ausmaß der regionalen Auswirkungen bislang weitgehende Unklarheit herrscht. Bei den Schadstoffen im Wasser besteht u.a. Unsicherheit über die Rolle von hormonaktiven Substanzen, die aus human- und tiermedizinischen Anwendungen eingetragen werden. In der *Erfassungsphase* befinden sich nach wie vor eine große Zahl von Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel, die – ebenso wie Nitrat – vor allem Probleme für die Trinkwasserversorgung darstellen. Komplexe Systeme mit vielschichtigen Wechselwirkungen sind bei den neuartigen Waldschäden („Waldsterben“) und bei der Versauerung von Böden zu erfassen. Ein typisches Beispiel für die *Handlungsphase* ist die biologische Sanierung von Altlasten, an dem sich aber auch zeigen lässt, dass die Forderung nach raschen Maßnahmen oft zu ökonomisch und technisch unbefriedigenden Ergebnissen führt, und man besser daran getan hätte, den Aufwand für wissenschaftliche Voruntersuchungen zu erhöhen. Überwiegend in der *Nachsorgephase* befinden die meisten Gewässer, die früher vor allem durch Bakterien und Viren für Menschen gefährlich waren. Gänzlich ohne Nachsorge soll die Deponierung von inertisiertem Restabfall in „Endlagerqualität“ auskommen und so die Reaktordeponie mit ihren langfristig unabsehbaren Auswirkungen („chemische Zeitbomben“) und Folgekosten ablösen.

Tabelle 1.1 Behandlung von Umweltproblemen durch Forschung und Praxis (nach [1.4])

<i>Erkennen</i>	<i>Erfassen</i>	<i>Handeln</i>	<i>Nachsorgen</i>
Entwicklungen deuten sich in Messungen an	Einzelfragen und mögliche Lösungen werden erforscht	Detailplanungen werden durch Praktiker umgesetzt	Problemlösungen werden langfristig überwacht
Treibhauseffekt	Waldsterben	Altlastensanierung	Gewässerschutz
Arzneimittelreste u. hormonaktive Stoffe	PSBM und Nitrat in Grundwässern	Phosphat in Binnen- u. Küstengewässern	Gefährdung durch Bakterien und Viren
Elektromagn. Feld: „Elektro-Smog“	Endlagerung von Nuklearabfällen	Zwischenlagerung von Nuklearabfällen	Anwendung von Röntgen-Strahlung
Verzögerte, nicht-lineare Wirkungen: Zeitbombeneffekte	Deponierung von Industriemüll, Klär- und Baggerschlämme	Müllentsorgung, konventionelle „Reaktordeponie“	Ablagerung von Inert-/Restabfall: „Endlagerqualität“
<i>Grundlagenforschung</i>	<i>angewandte Forschung</i>	<i>praxisbegleitende Forschung</i>	<i>Standardisierung und Normung</i>

1.1.1 Umweltprobleme und Umwelthandeln

In einer historischen Standortbestimmung hat Sieferle [1.5] die folgenden quantitativen und qualitativen Unterschiede zwischen den traditionellen und den modernen Umweltzerstörungen beschrieben:

- An die Stelle punktueller treten *universelle Probleme*. Vor- und frühindustrielle Umweltschäden blieben lokal oder regional, auf die Umgebung einer Stadt oder einer Fabrik beschränkt, während weite Bereiche des betreffenden Ökosystems nicht beeinträchtigt wurden. Bspw. erzeugte erst die völlige Mechanisierung und Chemisierung der Landwirtschaft flächendeckende Umweltschäden.
- An die Stelle einfacher treten *komplexe Wirkungen*. So sind etwa die modernen Waldschäden nicht mehr auf die Wirkung eines bestimmten Stoffes zurückzuführen, sondern auf vielfache „Synergismen“, so dass weder ein „Verursacher“ noch auch eine „Ursache“ eindeutig identifiziert werden kann.
- An die Stelle reversibler treten tendenziell *irreversible Schädigungen*. Die Anreicherung der Böden mit Schwermetallen ist ebenso wenig umkehrbar wie die Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre mit ihren unabhgbaren Konsequenzen für das Klima.

Der Grundtenor der frühen geisteswissenschaftlichen Debattenbeiträge stimmte darin überein, dass die Wurzeln der modernen Umweltprobleme an der Schnittstelle zwischen Technik und Natur zu suchen wären. Gegensätzlich entwickelten sich jedoch die Reaktionen auf eine solche „unzulängliche ökologische Einbettung der Technik“: Der *naturalistische* Ansatz enthielt vor allem die Forderung nach einer weitergehenden „moralischen Pflicht gegenüber der Natur“ [1.6]; der *kulturalistische* Ansatz betrachtete dagegen die „Maße für die Umwelt“, z.B. Umweltstandards, als soziale Konventionen [1.7].

Da sich bisher kein eigenständiges *gesellschaftliches Subsystem* „Ökologie“ ausdifferenzieren konnte (vermutlich weil die mit der Ökologie verbundenen Interessen zu bestehenden Funktionssystemen wie z.B. Politik, Wissenschaft, Religion usw. zu groß sind), müssen auch in Zukunft ökologische Fragen dezentral gelöst werden, d.h. im Rechtssystem als Rechtsfragen, etwa unter dem Aspekt des Raumrechts, im ökonomischen System über die Marktgesetze, usw. [1.8].

Nach den moralisierenden Schuldzuweisungen der frühen Umweltdiskussion – ökonomisches Fehlverhalten oder unzureichendes Verantwortungsgefühl – wurden in den 90er Jahren zunehmend praxisnähere Ökologieprobleme, z.B. im betrieblichen Umweltschutz, aufgegriffen. Auch bei der Wiederherstellung von geschädigten Umweltbereichen hat sich eine pragmatischere Haltung durchgesetzt („für eine wachsende Zahl von Umweltschützern ist die Technik ein Mittel zum Zweck des Umweltschutzes geworden“) und es gibt keinen Widerspruch zu der Forderung, „dass sich die Technologiepolitik auf die Technologien des ‚Jahrhunderts der Umwelt‘ konzentrieren muss“ ([1.9] siehe *Kasten*).

„Die Ära der Ökologie – eine Weltgeschichte“ von *Joachim Radkau* [1.10] ist eine erste Bilanz der Umweltbewegung, Das Buch berichtet umfassend über ausschlaggebende Ereignisse wie die Reaktorkatastrophe von Tschernobyl und beleuchtet die Zusammenhänge mit anderen historischen Strömungen.

„Die Technologiepolitik muss sich auf die Technologien des 'Jahrhunderts der Umwelt' konzentrieren“ (E.U. v. Weizsäcker)

Wenn der Zwang zu einem neuen umwelt- und ressourcenschonenden Wohlstandsmodell zur beherrschenden Rahmenbedingung für die Technologieentwicklung wird, steht uns eine Transformation der Technologie bevor, die noch wesentlich tiefer geht als das, was wir in den ersten 30 Jahren „Umwelttechnik“ erlebt haben. Ernst Ulrich v. Weizsäcker hat sieben Kriterien für diesen Technikwandel aufgestellt [1.9]:

- 1) *Sauberkeit*: Im wesentlichen werden nur noch emissionsfreie oder emissionsarme Technologien eingesetzt. Die Emissionsvermeidung wird durch Ausmustern von emissionsträchtigen Techniken, nur im Ausnahmefall durch Emissionsrückhaltung am Ende des Prozesses erreicht.
- 2) *Rohstoffeffizienz*: Der Verbrauch nicht erneuerbarer Rohstoffe wird auf ein Minimum reduziert. Das Verbrennen fossiler Kohlenwasserstoffe wird sehr stark zurückgedrängt und in den hochentwickelten Ländern schließlich völlig eingestellt. Metalle werden weitgehend rezykliert. Langlebigkeit von Produkten sowie bequeme Rohstoffrückführung nach Gebrauch werden selbstverständliche Prinzipien im Produktdesign.
- 3) *Energieproduktivität*: Maschinen, Raumheizung, Beleuchtung, Transport und Verteilersysteme werden auf höchste Energieeffizienz bzw. Energieproduktivität getrimmt; die verengte Verwendung des Begriffes Produktivität auf die Arbeitsproduktivität wird aufgehoben. Fortschritte bei der Energie- oder Rohstoffproduktivität werden allgemein als viel bedeutungsvoller für den Fortschritt angesehen als weitere Arbeitsproduktivitätsgewinne.
- 4) *Ökologische Flächennutzung*: Landwirtschaft, Siedlungen, Industrie und Verkehrswege werden nach dem Gesichtspunkt minimaler Versiegelung, Bodenerosion und Gewässerbelastung umgestaltet, und große Teile des Landes werden vorrangig dem Erhalt ökologisch wertvoller Funktionen gewidmet.
- 5) *Hohe Informationsintensität*: Produkte, Dienstleistungen, Produktions- und Konsumprozesse nehmen relativ an Informationsintensität zu. Wissenschaft und Technik, Datensysteme und Kundeninformation, sprachliche und kulturelle Übersetzungsleistungen belasten die Umwelt wenig und liefern doch Komfort und Freiheit.
- 6) *Fehlerfreundlichkeit*: Politik und Technologie müssen hohes Augenmerk auf Fehlerbegrenzung legen. Da völlige Fehlervermeidung utopisch ist, muss das Konstruktions- und Nutzungsprinzip der Technik die „Fehlerfreundlichkeit“ sein – eine entscheidende Voraussetzung der Evolutionsfähigkeit.
- 7) *Eignung für Eigenarbeit*: Da die Bedürfnisbefriedigung durch Konsum von kurzlebigen, weither transportierten, ressourcenverschlingenden Waren abnehmen muss, wird das Bedürfnis nach befriedigenden und nutzbringenden Tätigkeiten jenseits der formalisierten Erwerbswelt, d.h. nach befriedigender Eigenarbeit zunehmen.

Die Gründe für die Probleme bei der ökologischer Durchdringung der naturwissenschaftlich-technischen Disziplinen liegen auch in den traditionellen „Welt- und Technikbildern“ [1.11] und insbesondere in dem Begriff „Umweltschutztechnik“ treffen zwei grundsätzlich verschiedene Orientierungen und Ausprägungen in allen Lebensbereichen (Naturbild, Bild der Wissenschaftsgesellschaft, Sozialbild, Menschenbild) hart aufeinander¹. Dabei erweist sich die Vorstellung, Technik- und Umweltfragen auf rein natur- und ingenieurwissenschaftlicher Grundlage beantworten zu können, zunehmend als technokratische Illusion. Streitigkeiten etwa um Grenzwerte sind „vernünftig“ nur entscheidbar bei Kenntnis der soziokulturellen Dimension des Problems und einer bewussten Auseinandersetzung mit den Weltbildern, d.h. mit grundsätzlichen Sinn- und Orientierungsfragen².

Aus dieser Bipolarität der persönlichen Welt- und Technikbilder, die sich auch im Akzeptanzverhalten und in der Umweltpolitik manifestiert, entstanden unterschiedliche Strategien des *Umwelthandelns* [1.12]:

- Die *Suffizienz-Strategie* – sei es als „voluntary simplicity“ der Vernunftliebenden und Empfindsamen („Living poor with style“), sei es als autoritäre Zwangsbewirtschaftung in einer Ökodiktatur – ist unrealistisch wegen des weltweiten Vormarsches des Nützlichkeitsdenkens und Glückseligkeitsstrebens, unerwünscht wegen der gewaltsamen Zerstörung freiheitlich-rechtstaatlicher und ziviler Lebensbedingungen, und unwirksam, weil sie implizieren würde, die Weltbevölkerung auf vorindustrielle Ausmaße zurückzuholen.
- Die *Effizienz-Strategie* zielt darauf ab, betriebliche Wirtschaftlichkeitsprinzipien noch konsequenter auch auf ökologische Zusammenhänge anzuwenden. Stoffe sollen möglichst lange immer wieder genutzt werden, ehe sie als Abfall wieder im Naturkreislauf für menschliche Zwecke verloren gehen. Neubekehrte Industrielle neigen dazu, „Nachhaltigkeit“ mit „Effizienz“ weitgehend gleichzusetzen. Bei ökologisch unangepassten bzw. unverträglichen Stoffströmen gelten aber letztlich die gleichen Restriktionen wie für die Suffizienz-Strategie.
- Die *Konsistenz-Strategie* will verhindern, dass sich anthropogene und geogene Stoffströme einander stören oder symbiotisch-synergetisch verstärken. Konsistente Stoffströme sind also solche, die entweder weitgehend störicher im abgeschlossenen technischen Eigenkreislauf geführt werden, oder aber mit den Stoffwechselprozessen der umgebenden Natur so weit übereinstimmen, dass sie sich, auch in großen Volumina, relativ problemlos darin einfügen. Die Strategie der Konsistenz deckt sich mit den Zielen und Prinzipien des *vorsorgenden integrierten Umweltschutzes*. Je mehr erneuerbare Ressourcen zugleich in naturintegrierten umweltverträglichen Kreisläufen bewirtschaftet werden, um so mehr kann das nackte Effizienz-Handeln wieder in den Hintergrund treten, zumindest aus ökologischer Sicht [1.12].

¹ In der Definition von *Huber* [1.11] sind dies „eutope“ bzw. „dystope“ Technikbilder. „Eutop“ aus eudämonistisch-utilitaristischer (Glückseligkeits-/Nützlichkeitsphilosophie) Utopie; „dystop“ aus negativer Utopie von der Art „1984“ oder „Schöne Neue Welt“.

² *Anhang A 1.3* gibt einen Auszug aus der 1. Auflage über „Frühe Denkansätze zu Technik und Umwelt“, unter anderem mit der Kernenergie-Debatte der 70er und 80er Jahre.

1.1.2 Leitbild „Nachhaltigkeit“ von Holger Rogall

Die Leitbilder und Konzepte im ökologisch-technischen Umweltschutz gründen sich auf politischen und wirtschaftlichen Vorstellungen und Prinzipien, die sich ihrerseits in den vergangenen Jahren weiterentwickelt haben. War es zunächst der Grundsatz „der Verschmutzer zahlt“, mit dem die Verantwortlichen für offensichtliche Fehlentwicklungen vorrangig vom *Staat* zur Rechenschaft gezogen werden sollten, so setzte man seit Ende der achtziger Jahre nach der knappen und einprägsamen Formulierung *Ernst Ulrich v. Weizsäcker* [1.10] „Die Preise müssen die ökologische Wahrheit sagen“ auf die *wirtschaftliche Eigendynamik* („Der Markt als grüner Zuchtmeister“). Die Lösung komplexer Umweltprobleme erfordert jedoch auch die Berücksichtigung *sozialer Aspekte*. Über die Vorsorge- und Kooperationsprinzipien entwickelte sich aus dem Brundtland-Report (1987[1.13]) „Our Common Future“ das Leitbild einer „langfristig naturverträglichen Entwicklung“.

„Sustainable Development“ in der Agenda 21 der UN Umweltkonferenz von Rio de Janeiro von 1992 ist definiert als „dauerhafte Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen“ [1.14]. Nachhaltigkeitsstrategien wurden auf allen Ebenen weiterentwickelt, z.B. in der Definition der Lokalen Agenda 21 Berlin von 2006 [1.15]: „eine nachhaltige Entwicklung strebt für alle heute lebenden Menschen und künftigen Generationen hohe ökologische, ökonomische und sozial-kulturelle Standards *in den Grenzen der natürlichen Tragfähigkeit* an; sie will somit das intra- und intergenerative Gerechtigkeitsprinzip umsetzen“. Hiernach ist es bei besonders wichtigen natürlichen Lebensgrundlagen, wie einem stabilen Klima oder der Existenz der lebensschützenden Ozonschicht, unsinnig das Erhaltungsinteresse auf Grundlage einer Abwägung aus Kostengründen hinanzustellen (wobei natürlich weiterhin geprüft werden muss, mit welchen Maßnahmen Klimaschutz und Ozonschicht am kostengünstigsten zu erreichen ist [1.16]). Als solche „ökologischen Leitplanken“ hat die Enquêtekommision des Deutschen Bundestages „Schutz des Menschen und der Umwelt“ vier grundlegende Regeln formuliert [1.17, 1.18]:

1. Die Abbaurate erneuerbarer Ressourcen soll deren *Regenerationsraten* nicht überschreiten. Dies entspricht der Forderung nach Aufrechterhaltung der ökologischen Leistungsfähigkeit, d.h. (mindestens) nach der Erhaltung des von den Funktionen her definierten ökologischen Realkapitals.
2. Nicht erneuerbare Ressourcen sollen nur in dem Umfang genutzt werden, in dem ein physisch und funktionell *gleichwertiger Ersatz* in Form erneuerbarer Ressourcen oder höherer Produktivität der erneuerbaren sowie der nicht erneuerbaren Ressourcen geschaffen wird.
3. Stoffeinträge in die Umwelt sollen sich an der *Belastbarkeit der Umweltmedien* orientieren, wobei alle Funktionen zu berücksichtigen sind, nicht zuletzt auch die „stille“ und empfindlichere Regelungsfunktion.
4. Das Zeitmaß anthropogener Einträge bzw. Eingriffe in die Umwelt muss in einem ausgewogenen Verhältnis zum Zeitmaß für das *Reaktionsvermögen* der umweltrelevanten natürlichen Prozesse stehen.

Beitrag der Ökonomie zur Nachhaltigen Entwicklung³

Die moderne Volkswirtschaftslehre entstand im 18. und 19. Jh., die bedeutendste Schule wird *klassische Ökonomie* genannt, wesentliche Vertreter waren *Adam Smith*, *David Ricardo*, *Jean Baptist Say* und *John Stuart Mill*. Diese Ökonomen kannten die wichtige Rolle des Bodens, Umweltprobleme spielten keine Rolle. An sie anknüpfend entwickelte sich die *neoklassische Theorie* Ende des 19. Jh., sie stellt heute das herrschende ökonomische Lehrgebäude dar. Ihr Ausgangspunkt ist das Modell der vollständigen Märkte, auf denen alle Produktionsfaktoren und Güter mittels Tauschprozessen optimal verteilt werden sollen [1.19]. Natürliche Ressourcen und ihre Übernutzung werden hier nicht thematisiert.

Diese Sichtweise änderte sich in den 1970er Jahren als mit den Publikationen des Club of Rome, den sichtbar werdenden Übernutzungen und Unfällen sowie den beiden Erdöl-Preiskrisen deutlich wurde, dass die Märkte offensichtlich nicht in der Lage sind eine optimale Allokation (Einsatz/Verwendung) der natürlichen Ressourcen sicher zu stellen, für diese Güter herrscht *Marktversagen*. Aus dieser Erkenntnis entwickelte sich die *neoklassische Umwelt- und Ressourcenökonomie*.⁴ Diese Unterschule der neoklassischen Ökonomie zeigte, dass auf die Wirtschaftsakteure (Konsumenten und Unternehmen) sozial-ökonomische Faktoren einwirken, die dafür sorgen, dass die Mehrzahl der Akteure nicht in der Lage ist sich durchgehend umweltbewusst und nachhaltig zu verhalten. Diese Verhaltensweise wird auch durch stärkere Information und Aufklärung nicht verändert, da sie sich vor die Alternative gestellt hat, die betriebswirtschaftlich (nicht volkswirtschaftlich) preiswertere Öl-Heizung oder die Solaranlage anzuschaffen und sich dabei für die umweltschädliche Heizungsanlage entscheiden. Theoretisch wurde das durch die Theorie der Externen Effekte,⁵ der öffentlichen Güterproblematik⁶ und anderen sozial-ökonomischen Faktoren wie das Gefangenendilemma⁷ erklärt. Damit legte die

³ Der Beitrag beruht auf dem Lehrbuch von Rogall H (2008): *Ökologische Ökonomie – Eine Einführung*, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, Wiesbaden. Hier findet sich auch die weiterführende Literatur. Dem Leser unbekannte Begriffe können in dem Online-Glossar nachgelesen werden: <http://www.holger-rogall.de/glossar.htm>

⁴ Wesentliche deutschsprachige Autoren sind: Endres A (2007): *Umweltökonomie*, 3. Auflage, Stuttgart; Cansier D (1996): *Umweltökonomie*, 2. Auflage, Stuttgart).

⁵ Bei der Theorie der externen Effekte wird gezeigt, wie die Verursacher von Umweltschäden die entstehenden volkswirtschaftlichen Kosten auf andere überwälzen (externalisieren) können und hierdurch die umweltschädlichen Produkte zu preiswert angeboten werden. Eine Übernutzung ist dadurch die zwingende ökonomische Folge (Ernst Ulrich von Weizsäcker nennt das „die Produkte sagen nicht die ökologische Wahrheit“ [1.10]).

⁶ Die Öffentliche-Güter-Problematik zeigt, dass die Akteure die natürlichen Ressourcen als öffentliche Güter ansehen, die keine Knappheitsgrenze haben, weil sie keinen oder zu geringen Preis haben (siehe das Verhalten vieler Menschen bei Freibier).

⁷ Für die einzelnen Wirtschaftsakteure ist es schwer, etwas für die Gemeinschaft zu tun, was ihren eigenen Nutzen beeinträchtigt. Ja selbst wenn der Akteur weiß, dass sein Verhalten gesellschaftliche Gefahren verstärkt, ist er kaum bereit auf seine Nutzenmaximierung zu verzichten, wenn er nicht sicher sein kann, dass alle anderen Menschen auch ver-

neoklassische Umweltökonomie zentrale Grundlagen für alle späteren nachhaltigkeitsorientierten Wirtschaftsschulen – ihre eigenen Beiträge zu einer Nachhaltigen Entwicklung blieben jedoch begrenzt.

Die *Ökologische Ökonomie* (andere Autoren sprechen von *Ökonomik*) hat sich in den 1980er Jahren (zunächst in den USA als *Ecological Economics*), aus der Kritik an der neoklassischen Umweltökonomie, zu einer eigenen Schule bzw. Teildisziplin innerhalb der Ökonomie entwickelt. Sie kann als ökonomische Theorie der Nachhaltigen Entwicklung unter Berücksichtigung der transdisziplinären Grundlagen bezeichnet werden, wobei z.Z. die Frage im Mittelpunkt steht, wie die Grenzen der natürlichen Tragfähigkeit eingehalten werden können.⁸

Über die Grundlagen einer *Nachhaltigen Ökonomie* wird seit Ende der 1990er Jahre im Zuge der Diskussion um den Beitrag der Ökonomie für eine Nachhaltige Entwicklung an der Fachhochschule für Wirtschaft Berlin diskutiert. Sie versteht sich als Unterschule der Ökologischen Ökonomie, wobei sie die gemeinsamen Erkenntnisse in zehn Kernaussagen zusammenfasst (Rogall 2008, Kap. 3):

- (1) *Starke Nachhaltigkeit*: Die derzeitige Entwicklung der Menschheit wird als nicht zukunftsfähig betrachtet, Ökologische Ökonomen sehen daher die Notwendigkeit eines neuen Leitbilds und bekennen sich zu einer Position der starken Nachhaltigkeit. Damit wird die Wirtschaft als ein Subsystem der Natur und die natürlichen Ressourcen größtenteils als nicht substituierbar angesehen. Das sog. Drei-Säulen-Modell, das von einer Gleichwertigkeit der Zieldimensionen ausgeht (ohne absolute Naturgrenzen), wird somit abgelehnt und stattdessen absolute Grenzen der Natur anerkannt. Im Mittelpunkt steht die dauerhafte Erhaltung und nicht der optimale Verbrauch der natürlichen Ressourcen.
- (2) *Pluralistischer Ansatz bei Abgrenzung zur neoklassischen Umweltökonomie*: Die Ökologischen Ökonomen fühlen sich einem Methodenpluralismus verpflichtet. Sie erkennen einerseits bestimmte Erkenntnisse der neoklassischen Umweltökonomie an (z.B. die sozial-ökonomischen Erklärungsansätze der Übernutzung der natürlichen Ressourcen und die daraus abgeleitete Diskussion um die Notwendigkeit politisch-rechtlicher Instrumente). Sie grenzen sich aber andererseits von einer Reihe Aussagen der neoklassischen Ökonomie ab (z. B. Verabsolutierung der Konsumentensouveränität,⁹ Diskontierung künfti-

zichten. Individuell ist dieses Verhalten nachzuvollziehen, da ein individueller Verzicht tatsächlich an den Problemen nichts ändert. Nur wenn (fast) alle Menschen ihr Verhalten verändern, ließen sich die Probleme lösen. Ein gutes Beispiel ist die mangelnde Bereitschaft der meisten Menschen in den Industriestaaten auf Flugreisen zu verzichten, obgleich die weit überdurchschnittlichen Belastungen durch den Flugverkehr bekannt sind.

⁸ Wesentliche Autoren sind: Bartmann H (1996): *Umweltökonomie - ökologische Ökonomie*, Stuttgart; Beckenbach F et al. (1999-2005): *Jahrbücher Ökologische Ökonomie*, Marburg; Costanza R et al. (2001): *Einführung in die Ökologische Ökonomie*, Stuttgart.

⁹ Die Verwendung des Begriffs der K. beinhaltet das neoklassische Paradigma, dass niemand das Recht habe – auch die demokratisch legitimierten Entscheidungsträger nicht – Entscheidungen der Konsumenten zu ändern. Dieser Aussage liegt die Vorstellung zugrunde, dass Menschen immer zu ihrem eigenen Besten handeln (und nach der Neo-

ger Umweltkosten,¹⁰ Substituierbarkeit aller natürlichen Ressourcen, Position der schwachen Nachhaltigkeit, Monetarisierung aller Umweltschäden). Sie sehen daher den Beitrag der neoklassischen Ökonomie für eine Nachhaltige Entwicklung als sehr begrenzt an.

- (3) *Ersetzung des traditionellen Wachstumsparadigmas durch ein Nachhaltigkeitsparadigma*: Ein exponentielles Wachstum mit der Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen über Jahrtausende kann es nicht geben. Damit wird langfristig die Ersetzung durch ein Nachhaltigkeitsparadigma zur notwendigen Voraussetzung einer dauerhaften Entwicklung. Über die mittelfristige Ausgestaltung existieren allerdings unterschiedliche Meinungen (Steady-State-Ansatz mit konstantem BIP versus selektives Wachstum, das den Ressourcenverbrauch trotz wirtschaftlicher Entwicklung senkt).
- (4) *Prinzip der ständigen Diskussion und Weiterentwicklung*: Die Ökologische Ökonomie ist keine statische Theorie, sondern sieht die Notwendigkeit eines weiteren Diskussionsprozesses und die Ausweitung des Erkenntnisinteresses entsprechend der globalen Entwicklung. Hierzu unterbreitet u. a. die Nachhaltige Ökonomie (als Unterschule) Vorschläge, z.B. die Forderung die ö.Ö. zu einer *Nachhaltigen Ökonomie* weiterzuentwickeln, ein neues Menschenbild (homo cooperativus) u.v.a.m.
- (5) *Eine Nachhaltige Entwicklung beruht auf ethischen Prinzipien*: Die Ökologische Ökonomie erfolgt auf der Grundlage von ethischen Überzeugungen: Im Mittelpunkt stehen die Grundwerte der intra- und intergenerativen Gerechtigkeit und Verantwortung. Hinzu kommt die Anerkennung weiterer wichtiger Prinzipien: u.a. des Vorsorgeprinzips und der Prinzipien einer partizipativen Demokratie und Rechtsstaatlichkeit, aus der die Notwendigkeit eines gesellschaftlichen Diskursprozesses abgeleitet wird.
- (6) *Transdisziplinärer Ansatz*: Die Ökologische Ökonomie will über die rein ökonomische Betrachtungsweise (wie sie der neoklassischen Umweltökonomie eigen ist) hinausgehen und die ökonomischen Prozesse im Rahmen eines sozial-ökologischen Zusammenhanges unter Berücksichtigung der Wechselbeziehung zwischen Menschen und der übrigen Natur analysieren. Hierbei spielt die Nutzung der Erkenntnisse sowie eine enge Kooperation mit den

klassik damit in der Summe auch für die Gesellschaft als Ganzes). In dieser theoretischen Vorstellung ist kein Platz für gesellschaftliche Ziele jenseits der Interessen der einzelnen Gesellschaftsmitglieder. Einige neoklassische Ökonomen gehen sogar soweit, dass sie die Konsumentenouveränität absolut setzen und eine Veränderung der politisch-rechtlichen Rahmenbedingungen durch die demokratisch legitimierten Entscheidungsträger als illegitim ablehnen.

¹⁰ Unter D. wird eine Methode der neoklassischen Ökonomie verstanden, mit der ein in der Zukunft auftretender Schaden in der Gegenwart bewertet bzw. errechnet werden soll. Empirisch lässt sich nachweisen, dass Menschen künftige Kosten/Schäden abzinsen (abwerten). So bewerten Menschen Schäden der Zukunft kleiner, als sie tatsächlich sind. Diese Verhaltensweise erklärt (ökonomisch), warum Menschen gegen gravierende Umweltgefahren (z.B. Klimaveränderungen) nur unzureichende Maßnahmen ergreifen.

Politik- und Rechtswissenschaften sowie mit den Natur- und Ingenieurwissenschaften eine besonders wichtige Rolle.

- (7) *Notwendigkeit der Operationalisierung des Nachhaltigkeitsbegriffs, Managementregeln und neuen Messsysteme*: Eine Sinnentleerung des Nachhaltigkeitsbegriffs soll durch die Formulierung von Prinzipien, Managementregeln und neuen Messsystemen für den Nachhaltigkeitsgrad und die Lebensqualität verhindert werden. Anders als die traditionelle Ökonomie, die Lebensqualität und Wohlstand (gemessen am BIP pro Kopf) gleichsetzt, benötigt eine Nachhaltige Entwicklung Ziel- und Indikatorensysteme.
- (8) *Notwendigkeit der Änderung der Rahmenbedingungen mittels politisch-rechtlicher Instrumente*: Mit Hilfe politisch-rechtlicher Instrumente sollen die Rahmenbedingungen so verändert werden, dass ein nachhaltiges Verhalten für Konsumenten und Produzenten vorteilhafter wird, als sich so zu verhalten wie bisher. Hierzu werden der *Standard-Preis-Ansatz*¹¹ und der Ansatz der *meritorischen Güter*¹² verwendet.
- (9) *Sozial-ökologische Markt- oder Gemischtwirtschaft*: Ökologische Ökonomen lehnen eine reine Marktwirtschaft ebenso ab wie zentrale Verwaltungswirtschaften, weil sie davon überzeugt sind, dass nur marktwirtschaftliche Systeme mit einem sozial-ökologischen Ordnungsrahmen zukunftsfähig sind. Danach muss die Politik aktiv eingreifen, um eine Nachhaltige Entwicklung sicherzustellen und die Folgen von Marktversagen zu vermindern.
- (10) *Anerkennung besonderer globaler Voraussetzungen für eine Nachhaltige Entwicklung*: Als zentrale Bedingungen werden u. a. anerkannt: Einführung eines Ordnungsrahmens, Senkung des Pro-Kopf-Ressourcenverbrauchs der Industrieländer, um 80-90% bis 2050 und Verminderung der Bevölkerungszunahme der Entwicklungsländer. Hierbei wird akzeptiert, dass die Industrieländer aufgrund der historischen Entwicklung und der größeren Leistungsfähigkeit eine besondere Verantwortung für die Verwirklichung der intragenerativen Gerechtigkeit, globalen Nachhaltigkeit und fairen Handelsbeziehungen tragen.

¹¹ Die demokratisch legitimierten Entscheidungsträger legen hiernach einen bestimmten Umweltstandard fest (z.B. die Höhe des Verbrauchs an natürlichen Ressourcen), der dann über die Erhebung von Umweltabgaben erreicht werden soll. Die Höhe der Abgaben wird durch ein mehrjähriges Trial-and-Error-Verfahren variiert, bis schließlich die Abgabenhöhe gefunden ist, mit der der Umweltstandard eingehalten wird.

¹² M. sind *kollektive Güter*, die der Staat über Steuereinnahmen finanziert und entweder kostenlos anbietet oder preislich subventioniert, weil sie gesamtwirtschaftlich oder gesellschaftlich bedeutsam sind (positive externe Effekte erzeugen), Konsumenten und Produzenten aber nicht ausreichende Geldmittel für sie aufwenden (Marktversagen). Bekannte Beispiele sind Infrastruktureinrichtungen (z.B. Bildungseinrichtungen), soziale Sicherungssysteme, Arbeits- und Verkehrssicherheit *und* natürliche Ressourcen. In diesen Fällen muss der Gesetzgeber zu allgemeinverbindlichen Regelungen kommen (Abgaben und gesetzliche Pflichten z.B. Gurtanschnallpflicht im PKW).

Die *Nachhaltige Ökonomie* vertritt die Kernaussagen der Ökologischen Ökonomie, für einige Punkte empfiehlt sie aber eine Weiterentwicklung der Theorie, u.a.: (1) selektives Wachstum statt Steady-State, (2) grundlegende Reform der traditionellen Ökonomie und ihrer Grundlagen, (3) Entwicklung eines realitätsnäheren Menschenbildes („homo cooperativus“ genannt), (4) Schaffung neuer Rahmenbedingungen („ökologische Leitplanken“), statt Hoffnung auf Bewusstseinswandel (Rogall 2008, Kap. 4). Als besonders wichtig wird die Diskussion um die Vereinbarkeit von wirtschaftlichem Wachstum und Nachhaltiger Entwicklung angesehen. Anders als die Vertreter einer Steady-State-Economy mit konstantem BIP strebt die Nachhaltige Ökonomie ein selektives Wachstum an, bei dem nur das wachsen soll, was keine Gefahr für die natürliche Tragfähigkeit darstellt. Hierzu fordert sie die Einhaltung der *Formel für eine Nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung*.¹³ Sie spricht statt von sozialen von *sozial-kulturellen* Zielen, da hierdurch die partizipativen und demokratisch-rechtsstaatlichen Ziele besser zu integrieren sind.

In einem erweiterten Zielsystem (Abb. 1.2) geht die *Nachhaltige Ökonomie* über die ökologische Dimension der Nachhaltigkeit hinaus und fordert – innerhalb der natürlichen Tragfähigkeit – hohe Standards für alle Dimensionen



Abb. 1.2 Zielsystem einer Nachhaltigen Entwicklung (nach Rogall und Treschau [1.20])

¹³ Nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung (Nachhaltigkeitsformel): Die Nachhaltige Ökonomie akzeptiert wirtschaftliches Wachstum (Δ BIP) im Rahmen der Formel für eine wirtschaftlich Nachhaltige Entwicklung (Δ Ressourcenproduktivität $>$ Δ BIP). Die Einhaltung dieser Formel soll sichergestellt werden, indem politisch-rechtliche Instrumente ökologische Leitplanken schaffen. Somit tritt an die Stelle des ökonomischen Ziels der größtmöglichen Steigerung des BIP die Steigerung der Lebensqualität (als Summe vieler Qualitätsziele und des selektiven Wachstums oder Entwicklung).

Nachhaltigkeit in Politik, Recht und Verwaltung – Beispiele aus der Schweiz

Neue Entwürfe zur Ausgestaltung von politischen Rahmenbedingungen zur Nachhaltigkeit, die in der Schweiz entwickelt werden [1.21], zeigen, dass die klassischen Umweltvorschriften nicht ausreichen, die Akteure zum schonenden Umgang mit den Ressourcen anzuhalten. Gründe sind vor allem die dauerhaften, mehr oder weniger exklusiven Eigentums- und Nutzungsrechte, aber auch z.T. konkurrierende Infrastrukturpolitiken (Verkehr, Zivilluftfahrt, Energie und Kommunikation), sowie die Agrar- und Regionalpolitik. Zudem erscheinen manche gängigen Konzepte von nachhaltiger Entwicklung in einem problematischen Licht, wenn sich diese nicht an Ressourcenbeständen, sondern an politisch mehr oder weniger erwünschten Zuständen in ausgewählten Segmenten von Umwelt, Gesellschaft oder Wirtschaft orientieren. Da diese Politik indirekt sogar Übernutzungen fördern kann, „verlangt das Nachhaltigkeitsgebot den Einbezug der Inputseite industrieller, reproduktiver oder urbaner Metabolismen, und nicht nur die Steuerung des Outputs“ [1.22]. Der neue Ansatz befasst sich mit Fragen der politischen Konstruktion von Ressourcen, der Definition der zulässigen Erntemengen (*Globalquoten*) sowie der Umsetzung von Globalquoten in *individuelle Nutzungsrechte*.

In der Praxis sind für eine nicht nachhaltige Ressourcennutzung die mangelhafte Koordination durch die politisch-administrativen Instanzen und unscharf definierte Nutzungsrechte verantwortlich. Diese beiden Steuerungsdimensionen – Koordination und Inhalt – ermöglichen eine Bewertung der *institutionellen Regime*, das bedeutet die Gesamtheit der Regulierungen der betroffenen Ressource. In Abb. 1.3 beschreibt die *Regimekohärenz* die Fähigkeit, die Nutzungsrechte und -ansprüche so abzustimmen, dass Rivalitäten friedlich gelöst werden; das *Ausmaß* des Regimes gibt an, welche Nutzungen der bereitgestellten Güter und Dienstleistungen reguliert werden und welche nicht. Die meisten heutigen Regime natürlicher Ressourcen (der Schweiz) liegen im Feld der komplexen Regime; d.h. die Kohärenzdefizite garantieren noch keine nachhaltige Entwicklung dieser Ressource.

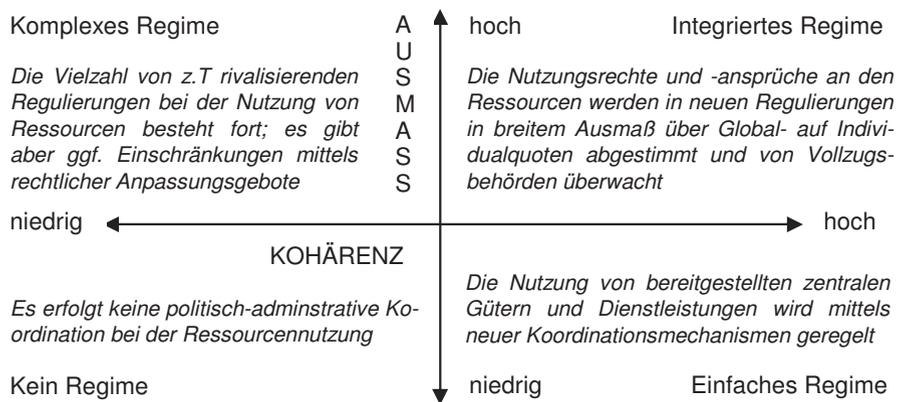


Abb. 1.3 Typisierung institutioneller Regime natürlicher Ressourcen (nach [1.21, 1.23])

1.1.3 Umsetzung des Leitbildes „Nachhaltigkeit“

Bilanzen

Das Leitbild „Nachhaltigkeit“ mit seinen Umweltqualitätszielen und Umwelthandlungszielen (in Form messbarer und überprüfbarer Ziele) erfordert die Erstellung von *Sachbilanzen*, eine *Wirkungsabschätzung* und davon abgeleitete *Handlungsstrategien*. Ein zentraler Aspekt ist die Stoffbilanz, die den Eintrag von Material, Energie und Wasser in den Wirtschafts- und Gesellschaftsbereich mit dem Output in Form von Abfall, Emissionen und Abwasser misst, vergleicht und bewertet¹⁴:

Agenda 21

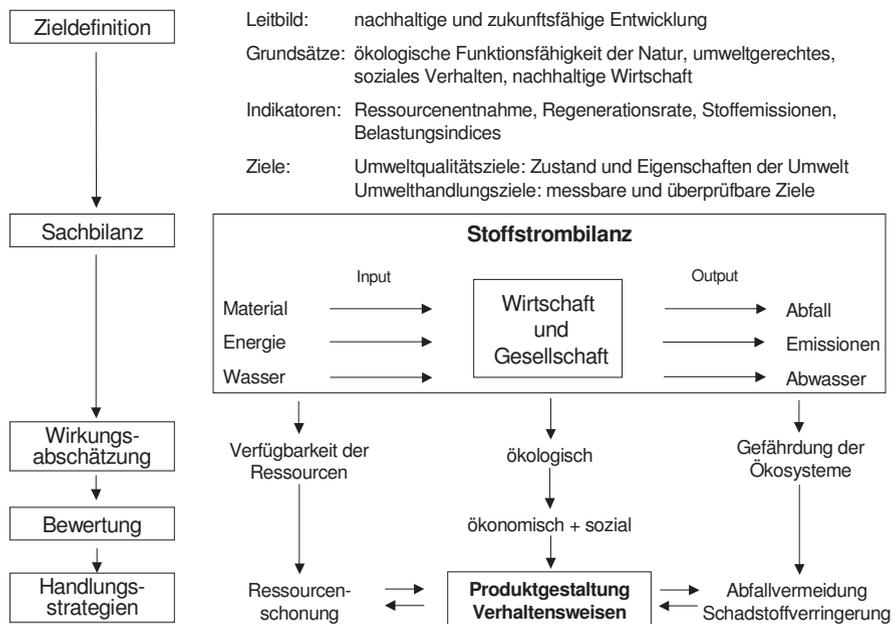


Abb. 1.4 Definitionen und Aufgaben im Leitbild „Nachhaltige Entwicklung“ [1.24]

Modelle

Bei der Erstellung von Ökobilanzen müssen die Ergebnisse von Sachbilanzen und Wirkungsabschätzungen kombiniert und evtl. zu einer einzigen Maßzahl aggregiert werden. In einer Übersicht „Kreislaufwirtschaft und nachhaltige Entwicklung“ vergleicht Moser [1.25] die unterschiedlichen *Modelle*, die derzeit bei einer Bewertung der „Nachhaltigkeit“ eingesetzt werden:

¹⁴ Dieser Ansatz „Input“, „Wirtschaft/Gesellschaft“, „Output“ wird uns bei den gesetzlichen Regelungen wieder begegnen; dort wird „Wirtschaft/Gesellschaft“ durch „Technischer Prozess“ ersetzt und der Input-/Output entsprechend definiert (Abb. 2.1, 2.2, 2.7).