

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Problemstellung</b> .....	<b>1</b>
	(R. FRIEDRICH)	
<b>2</b>	<b>Methoden der Technikbewertung</b> .....	<b>5</b>
2.1	Bewertung von Umweltschäden im Konzept einer dauerhaft- umweltgerechten Entwicklung .....	5
	(K. RENNINGS)	
2.1.1	Definition einer dauerhaft-umweltgerechten Entwicklung.....	5
2.1.2	Das neoklassische Konzept ökonomischer Dauerhaftigkeit .....	7
2.1.3	Allokation, Distribution und Skalierung.....	8
2.1.4	Indikatoren für eine dauerhaft-umweltgerechte Entwicklung .....	10
2.1.4.1	Operationalisierung der Managementregeln.....	10
2.1.5	Fazit: Synthese von externen Kosten und kritischen Belastungswerten.	12
2.2	Externe Effekte und ihre Internalisierung.....	14
	(J. DIEKMANN, B. PRAETORIUS)	
2.2.1	Einleitung .....	14
2.2.2	Eigenschaften externer Effekte.....	14
2.2.2.1	Externe Effekte und Marktversagen .....	14
2.2.2.2	Relevante externe Kosten und Vermeidungskosten .....	16
2.2.2.3	Monetarisierung.....	18
2.2.3	Begriffliche Abgrenzung und Aussagefähigkeit externer Kosten .....	19
2.2.4	Internalisierung externer Kosten.....	21
2.2.4.1	Theoretische Grundlagen.....	21
2.2.4.2	Politische Instrumente .....	22
2.3	Methoden zur Schadensabschätzung .....	25
	(W. KREWITT, P. MAYERHOFER)	
2.3.1	Modellierung der Schadstoffausbreitung und -umwandlung.....	27
2.3.2	Modellierung der Wirkung auf verschiedene Rezeptoren .....	31
2.3.3	Modellierung und Bewertung der Umwelteinwirkung mit Hilfe von ökologischen Belastungsgrenzen.....	32
2.4	Ökonomische Bewertung von externen Effekten der Stromerzeugung...37	
	(K. RENNINGS)	
2.4.1	Vergleichende Darstellung von Bewertungsmethoden.....	37
2.4.1.1	Methoden zur Schätzung der Zahlungsbereitschaft für Umweltqualitäten.....	37

2.4.2	Grenzen der Monetarisierung .....	41
2.4.3	Diskontierung externer Kosten der Stromerzeugung .....	43
2.4.3.1	Einführung .....	43
2.4.3.2	Das Konzept der sozialen Zeitpräferenzrate .....	44
2.4.3.3	Das Konzept der sozialen Opportunitätskostenrate .....	45
2.4.3.4	Das Konzept intergenerativer Gerechtigkeit .....	46
2.4.3.5	Schlußfolgerungen .....	49
2.4.4	Bewertung individueller Risikobereitschaft .....	50
2.4.4.1	Einführung .....	50
2.4.4.2	Technische Risikoanalyse und individuelle Bewertung .....	50
2.4.4.3	Marktversagen aufgrund von Informationsmängeln .....	51
2.4.4.4	Schlußfolgerungen .....	52
2.4.5	Bewertung von Gesundheitsrisiken .....	53
2.4.5.1	Mortalität - Der Wert eines statistischen Lebens .....	53
2.4.5.2	Der Wert eines verlorenen Lebensjahres .....	55
	(A. GREBMANN, P. BICKEL)	
2.4.5.3	Morbidität .....	60
2.4.5.4	Schlußfolgerungen .....	60
2.4.6	Bewertung von Klimaschäden .....	60
2.4.7	Bewertung von Lärm .....	62
2.4.7.1	Literaturüberblick .....	62
2.4.7.2	Die Studie von Weinberger, Thomassen und Willeke .....	63
2.4.7.3	Übertragbarkeit der Ergebnisse für niedrige Lärmpegel .....	64
2.4.7.4	Schlußfolgerungen .....	64
2.4.8	Bewertung visueller Beeinträchtigungen .....	65
2.4.8.1	Visuelle Beeinträchtigungen und Sichtbehinderungen .....	65
2.4.8.2	Probleme der Übertragbarkeit von Schätzwerten .....	65
2.4.8.3	Die Studie von Eyre .....	65
2.4.8.4	Deutsche Studien .....	66
2.4.8.5	Schlußfolgerungen .....	67
<b>3</b>	<b>Schäden durch Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern .....</b>	<b>69</b>
	(P. MAYERHOFER, W. KREWITT, A. TRUKENMÜLLER, R. FRIEDRICH)	
3.1	Einleitung .....	69
3.2	Die betrachteten Stromerzeugungssysteme .....	69
3.2.1	Einleitung .....	69
3.2.2	Die fossilen Referenzkraftwerke .....	70
3.2.3	Vor- und nachgelagerte Prozeßstufen für die Stromerzeugung aus Steinkohle .....	71
3.2.4	Vor- und nachgelagerte Prozeßstufen für die Stromerzeugung aus Braunkohle .....	72
3.2.5	Vor- und nachgelagerte Prozeßstufen für die Stromerzeugung aus Öl ...	73
3.2.6	Vor- und nachgelagerte Prozeßstufen für die Stromerzeugung aus	

Erdgas .....	73
3.2.7 Emissionen der fossilen Referenzenergiesysteme .....	76
3.3 Öffentliche Gesundheitsschäden durch Luftschadstoffe .....	79
3.3.1 Epidemiologische Studien als Grundlage von Dosis- Wirkungsbeziehungen .....	79
3.3.2 Die Wirkungen der relevanten Schadstoffe .....	81
3.3.2.1 Staub und SO <sub>2</sub> .....	81
3.3.2.2 Stickstoffdioxid .....	83
3.3.2.3 Ozon .....	83
3.3.3 Ableitung von Expositions-Wirkungsbeziehungen .....	84
3.3.4 Quantifizierung der Gesundheitsschäden .....	86
3.4 Berufliche Gesundheitsrisiken .....	91
3.4.1 Verfahren zur Quantifizierung beruflicher Gesundheitsrisiken.....	92
3.4.1.1. Das Konzept des Nettorisikos.....	92
3.4.1.2 Prozeßkettenanalyse .....	93
3.4.1.3 Quantifizierung beruflicher Gesundheitsschäden mit Hilfe von Expositions-Wirkungsbeziehungen.....	93
3.4.2 Quantifizierung der beruflichen Gesundheitsrisiken für die Referenzenergiesysteme .....	96
3.5 Schädigungen von Feldpflanzen durch Luftverunreinigungen.....	98
3.5.1 Wirkungsprozesse.....	98
3.5.2 Verfahren zur Schadensabschätzung .....	99
3.5.2.1 Expositions-Wirkungsbeziehungen für SO <sub>2</sub> .....	99
3.5.2.2 Expositions-Wirkungsbeziehungen für O <sub>3</sub> .....	100
3.5.2.3 Daten zur Agrarproduktion.....	102
3.5.2.4 Das Verfahren zur Quantifizierung der Produktionsverluste.....	102
3.5.2.5 Das Verfahren zur Quantifizierung des erhöhten Kalkbedarfs.....	102
3.5.3 Quantifizierung für die Referenzenergiesysteme.....	103
3.6 Schädigungen von Wäldern und naturnahen Ökosystemen durch Luftverunreinigungen .....	105
3.6.1 Wirkungsprozesse.....	105
3.6.1.1 Die Bodenversauerung .....	106
3.6.1.2 Die Eutrophierung .....	106
3.6.1.3 Die Waldschäden .....	107
3.6.1.4 Zusammenhang zwischen Waldschäden und Wachstumsraten .....	108
3.6.1.5 Die Erfassung der Waldschäden .....	109
3.6.2 Das Critical Levels und Loads-Konzept der UN-ECE .....	110
3.6.2.1 Einführung.....	110
3.6.2.2 Critical Levels.....	110
3.6.2.3 Critical Loads .....	113
3.6.3 Verfahren zur Abschätzung der Umwelteinwirkung mit Hilfe von ökosystemaren Belastungsgrenzen .....	118
3.7 Schäden an Sachgütern durch Luftverunreinigungen .....	123
3.7.1 Wirkungsprozesse.....	123

3.7.1.1	Metalle.....	124
3.7.1.2	Anorganische, nichtmetallische Werkstoffe.....	125
3.7.1.3	Anstrichsysteme.....	125
3.7.2	Verfahren zur Schadensabschätzung.....	126
3.7.2.1	Schadensfunktionen.....	128
3.7.2.2	Quantitative Erfassung des gefährdeten Bestands.....	130
3.7.2.3	Instandsetzungskriterien und -kosten.....	131
3.7.2.4	Kulturgüter.....	132
3.7.3	Quantifizierung für die Referenzenergiesysteme.....	135
3.8	Schäden durch den anthropogenen Treibhauseffekt.....	136
3.8.1	Wirkungsprozesse.....	136
3.8.2	Die Schadenskosten für den „Benchmark Case“.....	138
3.8.3	Verfahren zur Schadensabschätzung.....	142
3.8.3.1	Einleitung.....	142
3.8.3.2	Modellierung der globalen Temperaturerhöhung.....	142
3.8.3.3	Berechnung der treibhausgasspezifischen Schadenskosten durch die Klimaänderung.....	143
3.8.4	Quantifizierung für die fossilen Referenzenergiesysteme.....	147
3.8.5	Verwendung von Vermeidungskosten statt der externen Kosten für die Klimaänderung.....	148
3.9	Auswirkungen von Ölaustritten auf marine Ökosysteme.....	155
3.9.1	Auswirkungen von Öleinträgen auf Organismen.....	155
3.9.2	Wirkung auf Biota.....	155
3.9.2.1	Phytoplankton.....	155
3.9.2.2	Fische.....	156
3.9.2.3	Vögel.....	156
3.9.2.4	Meeressäuger.....	156
3.9.2.5	Ölunfall AMOCO CADIZ – Bretagne.....	157
3.9.2.6	Ölunfall EXXON VALDEZ – Alaska.....	157
3.9.2.7	Abschätzung externer Kosten.....	157
3.10	Sonstige Effekte.....	158
<b>4</b>	<b>Schäden durch Stromerzeugung aus Kernenergie.....</b>	<b>161</b>
	(W. KREWITT)	
4.1	Einleitung.....	161
4.2	Beschreibung des nuklearen Stromerzeugungssystems.....	162
4.3	Öffentliche Gesundheitsschäden durch ionisierende Strahlung.....	165
4.3.1	Wirkungsprozesse.....	165
4.3.2	Verfahren zur Schadensabschätzung.....	166
4.3.3	Quantifizierung der Gesundheitsschäden.....	169
4.3.3.1	Normalbetrieb.....	169
4.3.3.2	„Brennstoffkreislauf“ mit direkter Endlagerung.....	173
4.3.3.3	Schäden durch nichtradioaktive Emissionen.....	174

4.3.3.4	Folgen eines auslegungüberschreitenden Unfalls .....	176
4.4	Berufliche Gesundheitsschäden .....	182
4.5	Bewertung der Gesundheitsrisiken .....	184
4.5.1	Berechnung externer Kosten .....	184
4.5.2	Ansätze zur Berücksichtigung von Risikoaversion .....	184

## **5 Schäden durch Stromerzeugung mit erneuerbaren Energieträgern .....**

(F. RAPTIS, F. KASPAR, J. SACHAU) **189**

5.1	Photovoltaik .....	189
5.1.1	Eigenschaften der photovoltaischen Energieversorgung .....	189
5.1.1.1	Allgemeines .....	189
5.1.1.2	Stand der Technik und Entwicklungstendenzen .....	190
5.1.1.3	Besonderheiten der Photovoltaik .....	191
5.1.2	Referenzstandorte und -technologien .....	191
5.1.2.1	Standorte .....	191
5.1.2.2	Systemtechnik .....	194
5.1.2.3	Energieerzeugung .....	196
5.1.2.4	Betriebsphase .....	196
5.1.2.5	Abfallbeseitigung .....	197
5.1.3	Schadstoffabgabe in die Umwelt .....	197
5.1.3.1	Modulproduktion .....	197
5.1.3.2	Schadstoffabgabe während der Modulproduktion .....	198
5.1.3.3	Material- und Energiebedarf für Systemkomponenten .....	202
5.1.3.4	Spezifische Emissionsfaktoren .....	203
5.1.3.5	Gesamte atmosphärische Emissionen .....	204
5.1.3.6	Wirkungen und Kosten der Emissionen .....	206
5.1.4	Berufliche Gesundheitsrisiken .....	206
5.1.4.1	Methode .....	206
5.1.4.2	Quantifizierung der Gesundheitsrisiken .....	207
5.1.4.3	Ökonomische Bewertung .....	210
5.1.5	Flächenverbrauch und optische Belastungen .....	211
5.1.6	Zusammenfassung .....	211
5.2	Windenergie .....	215
5.2.1	Eigenschaften der Stromerzeugung mit Windenergie .....	215
5.2.1.1	Allgemeines .....	215
5.2.1.2	Stand der Technik und Entwicklungstendenzen .....	215
5.2.1.3	Besonderheiten der Windenergie .....	216
5.2.2	Referenzstandort und -technologie .....	217
5.2.2.1	Standorte .....	217
5.2.2.2	Systemtechnik .....	218

5.2.2.3	Betriebsphase.....	220
5.2.3	Luftschadstoffe und Treibhausgase .....	221
5.2.3.1	Materialeinsatz.....	221
5.2.3.2	Spezifische Emissionsfaktoren .....	222
5.2.3.3	Gesamte atmosphärische Emissionen .....	222
5.2.3.4	Wirkungen und Kosten der Emissionen .....	223
5.2.4	Lärmbelastungen .....	224
5.2.4.1	Berechnung der Schallausbreitung .....	224
5.2.4.2	Hintergrund-Geräuschpegel.....	226
5.2.4.3	Betroffene Bevölkerung .....	226
5.2.4.4	Ökonomische Bewertung .....	226
5.2.5	Visuelle Störungen .....	227
5.2.5.1	Visuelle Effekte von Windparks.....	227
5.2.5.2	Visuelle Wirkungen des "Nordfriesland Windpark" .....	228
5.2.5.3	Ökonomische Bewertung .....	228
5.2.6	Berufliche Gesundheitsrisiken.....	229
5.2.6.1	Quantifizierung der Gesundheitsrisiken .....	229
5.2.6.2	Ökonomische Bewertung .....	233
5.2.7	Direkte Wirkungen auf Flora und Fauna.....	233
5.2.8	Zusammenfassung .....	234
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Schlußfolgerungen.....</b>	<b>237</b>
	(W. KREWITT, R. FRIEDRICH)	
6.1	Methodik und Bewertungsansätze .....	237
6.2	Quantifizierung umweltrelevanter Effekte .....	241
6.3	Ergebnisse der Quantifizierung externer Kosten .....	247
6.4	Schlußfolgerungen und Ausblick .....	255
	<b>Literatur .....</b>	<b>259</b>
	<b>Abkürzungen.....</b>	<b>279</b>