

Jochen Bayer

Ein Zertifikatssystem zur Kontrolle von Treibhausgasen

INHALTSVERZEICHNIS

EINLEITUNG	13
0. VOM TREIBHAUSEFFEKT ZUM GLOBALEN ZERTIFIKATSMODELL - EINE „ROAD MAP“ ZUR ARBEIT	17
1. NATURWISSENSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN	23
1.1 Klimatologische Grundlagen	23
1.1.1 Klima und Klimasystem	24
1.1.1.1 Die Komponenten des Klimasystems	24
1.1.1.2 Die Antriebskräfte des Klimasystems	30
1.1.2 Die Strahlungsbilanz der Erdoberfläche	36
1.1.3 Strahlungsumsatz an der Erdoberfläche	40
1.1.4 Der Treibhauseffekt	41
1.2 Anthropogene Beeinflussungen des Klimasystems	46
1.2.1 Die anthropogene Verstärkung des Treibhauseffektes durch den Ausstoß von Treibhausgasen	47
1.2.2 Langfristige Klimaentwicklung, natürliche Variabilität und Nachweis des Treibhauseffektes	53
1.2.3 Treibhausgase - Quellen und Senken	57
1.2.3.1 Kohlendioxid (CO ₂)	57
1.2.3.2 Methan (CH ₄)	67
1.2.3.3 Distickstoffoxid (N ₂ O)	73
1.2.3.4 Halogenkohlenwasserstoffe	76
1.2.3.5 Ozon (O ₃)	81
1.2.4 Aerosole	86
1.2.5 Verweildauer der Treibhausgase und Aerosole in der Atmosphäre	89
1.3 Die globale Klimaerwärmung	92
1.3.1 Emissionsszenarien	92
1.3.2 Strahlungsantrieb	93
1.3.3 Globale Erwärmungspotentiale	95
1.3.4 Beobachtete Klimaentwicklung 1800 - 2000	96
1.3.5 Klimaprojektionen	99
2. DIE FOLGEN DER GLOBALEN KLIMAERWÄRMUNG	103
2.1 Regionale Temperaturveränderungen, Niederschlagsverhalten und extreme Wetterereignisse	103
2.1.1 Regionale Temperaturentwicklungen	103
2.1.2 Niederschlagsverhalten und extreme Wetterereignisse	105
2.2 Auswirkungen auf das Klimasystem	106
2.2.1 Ozeane	106
2.2.1.1 Anstieg des Meeresspiegels	106
2.2.1.2 Meeresströmungen und marine Ökosysteme	110
2.2.2 Auswirkungen auf die Kryosphäre	112
2.2.3 Terrestrische Biosphäre und Geosphäre	113
2.3 Sozioökonomische Auswirkungen	117
2.3.1 Industrie-, Energie- und Transportsektor	117
2.3.2 Landwirtschafts- und Fischereisektor	118
2.3.3 Menschliche Siedlungen und Gesundheitsrisiken	119
2.4 Zusammenfassung der Schadensschätzungen	123
2.4.1 Benchmark-Schätzungen für ein 2xCO ₂ -Szenario	123
2.4.2 Langfristige Erwärmungsszenarien	125
2.4.3 Sensitivitätsstudie	128

3. VERMEIDUNG DES TREIBHAUSEFFEKTS	133
3.1 Optionen zur Reduzierung von Treihhausgasemissionen	134
3.1.1 Reduktionsoptionen im Energiesektor	134
3.1.1.1 Energieausblick	135
3.1.1.2 Reduktionsoptionen im energieerzeugenden Sektor	138
3.1.1.3 Energienachfrage	145
3.1.1-4 LESS - Low CO₂-Emitting Energy Supply System	149
3.1.2 Vermeidungsoptionen im landwirtschaftlichen Sektor	153
3.1.2.1 Kohlendioxidemissionen in der Landwirtschaft	153
3.1.2.2 Methan- und Distickstoffemissionen in der Landwirtschaft	154
3.1.3 Vermeidungsoptionen im forstwirtschaftlichen Sektor	155
3.1.3.1 Vermeidungspotential	155
3.1.3.2 Vermeidungskosten	158
3.1.4 Geoengineering	162
3.2 Modelle zur Berechnung der globalen und regionalen Vermeidungskosten	163
3.2.1 Top-down/Bottom-Up-Kontroverse	163
3.2.2 Referenzszenarien in Kostenmodellen zur CO ₂ -Vermeidung	167
3.2.3 Top-Down-Modelle - ein Überblick über die wichtigsten Studien	169
3.2.3.1 Top-Down-Studien über die CO ₂ -Vermeidungskosten in den USA	169
3.2.3.2 Globale Top-Down-Kostenstudien	173
3.2.4 Bottom-Up-Modelle	188
3.2.4.1 Regionale und nationale Bottom-Up-Studien	188
3.2.4.2 Globale Bottom-Up Studien	194
4. EINE SYNTHESE DER KOSTEN UND NUTZEN	197
4.1 Bestimmung des CO₂-Emissionszieles - eine vorläufige Nutzen-Kosten Analyse	198
4.1.1 Das Konzept der Nutzen-Kosten-Analyse	198
4.1.2 Die marginale Kostenfunktion - erste Ergebnisse	201
4.1.3 Die marginale Nutzenfunktion	205
4.1.4 Nutzen-Kosten-Vergleich	209
4.2 Sekundärnutzen einer CXVReduzierung	211
4.3 Modifikationen der CO_i-Vermeidungskostenkurve - eine erweiterte Nutzen-Kosten-Analyse	215
4.3.1 Effizienzgewinne durch internationale Kooperation	215
4.3.2 Kosteneffiziente Vermeidungsmöglichkeiten - Erweiterung der Kostenkurve um das „no-regrets“-Potential	217
4.3.3 Integration der forstwirtschaftlichen Vermeidungsoptionen	221
4.3.4 Integration von Backstop-Technologien	223
4.4 Kosteneffiziente Vermeidung anderer Treibhausgase	226
4.5 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	229
ZWISCHENFAZIT - LEKTIONEN FÜR EINE GLOBALE KLIMALÖSUNG	235
1. Einsichten aus dem naturwissenschaftlichen Teil	235
2. Schadenseinblicke	237
3. Vermeidungsmöglichkeiten	238
4. Kosteneinblicke	238

5. ANFORDERUNGEN AN EINE GLOBALE KLIMALÖSUNG	241
5.1 Die ganzheitliche Dimension der Klimaproblematik	241
5.1.1 Ganzheitliches Treibhausproblem: Berücksichtigung aller wichtigen Treibhausgase	241
5.1.2 Ganzheitliche Umwelt	243
5.1.3 Ganzheitliches Vermeidungsspektrum	245
5.1.4 Ganzheitliche politische Dimension	245
5.1.4.1 Internationaler politischer Kontext.	245
5.1.4.2 Nationaler politischer Kontext	249
5.2 Gerechtigkeitsanspruch einer globalen Klimälösung	255
5.2.1 Gerechtigkeit als zentrale Voraussetzung für eine globale Kooperationsbereitschaft	255
5.2.2 Gerechtigkeitskriterien einer globalen Klimälösung	259
5.3 Weitere Anforderungen an eine internationale Klimaschutzlösung	263
5.3.1 Ökologische Effektivität und ökonomische Effizienz	263
5.3.2 Flexibilität	264
5.3.3 Kompatibilität und politische Eignung	265
5.4 Die Wahl der umweltpolitischen Instrumente	266
5.4.1 Nicht-marktwirtschaftliche Instrumente	266
5.4.2 Umweltsteuern	267
5.4.3 Joint Implementation	268
5.4.4 Handelbare Emissionsrechte (Umweltzertifikate.)	269
5.5 Allokationsmöglichkeiten für handelbare Emissionsrechte	272
5.5.1 Eindimensionale Verteilungsschlüssel	273
5.5.1.1 Bevölkerung (Pro-Kopf-Verteilung)	273
5.5.2 „Natural debf-Index	276
5.5.3 Aktuelle Emissionen als Ausgangspunkt („Grandfathering“)	277
5.5.4 Verteilung nach dem Bruttosozialprodukt	279
5.5.5 Landfläche	280
5.5.6 Auktionierung	280
5.5.7 Vereinheitlichung der marginalen Vermeidungskosten	281
5.5.8 Weitere Verteilungskriterien	282
5.5.2 Multidimensionale Allokationsschlüssel	283
5.5.2.1 Gemischte Allokationsverfahren	283
5.5.2.2 Multi-Tender-Allokationsverfahren	284
5.5.2.3 Die Kant'sche (Kanlian)-Allokationsregel	285
5.6 Transferimplikationen unterschiedlicher Allokationsformen - Literaturergebnisse	286
5.6.1 Konzeptionelle Überlegungen	286
5.6.2. Barren (1992)	289
5.6.2.1 Annahmen	289
5.6.2.2 Vergleichsbasis	290
5.6.2.3 Ergebnisse der eindimensionalen Verteilungsschlüssel	291
5.6.2.4 Schlußfolgerungen	295
5.6.3 Edmonds et al. (1995)	297
5.6.3.1 Aufbau der Studie	297
5.6.3.2 Ergebnisse der Studie	298
5.6.3.3 Schlußfolgerungen	300
5.6.4 Fazit der Allokationsdiskussion	301
6. EIN GLOBALES ZERTIFIKATSSYSTEM ZUR KONTROLLE VON TREIBHAUSGASEN	303
6.1 Konzeption	303
6.2 Struktur des Zertifikatssystems	306

6.3 Teilsysteme	311
6.3.1 CO ₂ -Zertifikatssystem	311
6.3.1.1 CO ₂ -Basissystem	311
6.3.1.2 Spezifisches CO ₂ -Zertifikatssystem	318
6.3.1.3 CO ₂ -„Created Permits“-System	320
6.3.1.4 Forstwirtschaftliches CO ₂ -Zertifikatssystem	322
6.3.1.5 Dynamik des Systems	328
6.3.1.6 Transferströme des CO ₂ -Zertifikatssystems - eine erste Einschätzung	330
6.3.1.7 Quantitative Transfereinschätzung/Zertifikatszuteilungen	332
6.3.2 Methan-Zertifikatssystem	345
6.3.2.1 CH ₄ -Basissystem	345
6.3.2.2 Spezifisches CH ₄ -Zertifikatssystem	348
6.3.2.3 CH ₄ -„Created Permits“-System	354
6.3.2.4 Internationale Transferzahlungen im CH ₄ -Zertifikatssystem	355
6.3.3 Distickstoffoxid-Zertifikatssystem	356
6.3.3.1 N ₂ O-Basissystem	356
6.3.3.2 Spezifisches N ₂ O-Zertifikatssystem	357
6.3.3.3 Transferkonsequenzen	360
6.3.4 Zertifikatssystem für die Halogenkohlenwasserstoffe	362
6.3.4.1 Basissystem	364
6.3.4.2 Spezifisches System	364
6.3.4.3 „Created Permits“-System	365
6.3.4.4 Transferströme	365
6.3.5 Weitere Treibhausgase	366
6.3.5.1 Schwefelhexafluorid und Perfluorkohlenstoffe (SF ₆ , CF ₄ und C ₂ F ₆)	366
6.3.5.2 Troposphärisches Ozon	366
6.3.5.3 Wasserdampf	368
6.3.6 Erweiterungen des Gesamtsystems	368
6.3.6.1 Aerosole	369
6.3.6.2 Schwankungen der Sonnenaktivität	371

7. IMPLEMENTIERUNG DES ZERTIFIKATSSYSTEMS 373

7.1 Vom globalen Erwärmungsziel zum Zertifikatssystem	373
7.1.1 Temperaturziel und Emissionsvorgaben	373
7.1.2 Wahl der umweltpolitischen Instrumente und des Allokationsschemas	377
7.1.3 Gesamtsystem, Startsystem und Ausweitungspfade	378
7.1.3.1 Auswahl der CO ₂ -Komponenten	379
7.1.3.2 Auswahl der CH ₄ -Komponenten	380
7.1.3.3 Auswahl der N ₂ O-Komponenten	381
7.1.3.4 Auswahl der halogenierten Substanzen	381
7.1.3.5 Erweiterungen	382
7.1.3.6 Ausweitung und Modifikation des Startsystems	383
7.2 Weitere Implementierungsaspekte	385
7.2.1 Laufzeit der Zertifikate	385
7.2.2 „Inter-pollutant“-Trading	385
7.2.3 Preisgestaltung der Zertifikate	387
7.2.4 Überwachung und Durchsetzung	389
7.2.4.1 Monitoring	389
7.2.4.2 Enforcement	392

7.3 Eine multiple Problemlösungsstrategie 393

ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION DER ERGEBNISSE 397

ANHANG 404

LITERATURVERZEICHNIS 407