

Global Energy Perspectives

gefördert aus Kapitel 2302, Titel 687 01

BMZ-Abschlussreport / Basisdokument

Global Energy Solutions e.V.

Teil 1: Grundelemente zur Vermeidung von Treibhausgasen und Herstellung klimaneutraler Energieträger (technischer Werkzeugkasten)

Stand 08. August 2023

Autorenteam:	
Siddhant Bane	Joern Becker
Ulrich Begemann	Leon Berks
Christof von Branconi	Simon Göss
Prof. Dr. Estelle Herlyn	Dr. Wilfried Lyhs
Dr. Tobias Orthen	Dr. Ludolf Plass
Dr. Hans-Peter Sollinger	Dr. Jens Wagner
Dr. Hans Jürgen Wernicke	

Erklärung zum Urheberrecht

Das nachfolgende Dokument ist grundsätzlich ausschließlich für den Empfänger bestimmt. Eine Weitergabe an Dritte oder die Nutzung für Dritte ist – auch auszugsweise – nicht gestattet.

Dem Empfänger des Dokuments wird eine einfache, nicht übertragbare, nicht unterlizenzierbare, eingeschränkte Lizenz gewährt, das Dokument für persönliche, nicht kommerzielle, private Zwecke zu nutzen.

Ulm, im Juni 2023

Global Energy Solutions e.V.

Lise-Meitnerstr. 9

89081 Ulm

Vorsitzender: Christof v. Branconi (Christof.Branconi@Global-Energy-Solutions.org)

o. Verzeichnisse

INHALTSVERZEICHNIS

0.	VERZEICHNISSE	3
0.2	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	12
0.3	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	17
0.4	TABELLENVERZEICHNIS	28
1.	EINFÜHRUNG	31
1.1	EINFÜHRENDE ERLÄUTERUNGEN.....	31
1.2	ÜBERSICHT TREIBHAUSGASE	32
1.3	ÜBERSICHT ÜBER PRIMÄR- UND ENDENERGIENUTZUNG ZUR ENERGIEVERSORGUNG.....	33
2.	HERSTELLUNG KLIMANEUTRALER ENERGIETRÄGER UND VERMEIDUNG VON TREIBHAUSGASEN (TECHNISCHER WERKZEUGKASTEN)	35
2.1	REGENERATIVE ERZEUGUNG VON STROM	35
	Glossar zu 2.1	35
2.1.1	<i>Formen der regenerativen Erzeugung</i>	36
2.1.1.1	Erzeugung durch Photovoltaik	37
2.1.1.2	Erzeugung durch CSP.....	42
2.1.1.3	Erzeugung durch Onshore- und Offshore-Windkraftwerke	44
2.1.1.4	Erzeugung durch Wasserkraftwerke	50
2.1.1.5	Erzeugung durch Bioenergie.....	53
2.1.1.6	Erzeugung durch Geothermie	57
2.1.2	<i>Stromgestehungskosten und Lernkurven</i>	60
2.1.3	<i>Kapazitätsfaktoren</i>	62
2.1.4	<i>Rohstoffbedarf, Emissionen und Umweltbelastung der regenerativen Stromerzeugung</i>	63
	Anhang zu 2.1	66
2.2	ERZEUGUNG VON STROM DURCH KERNKRAFT	67
	Glossar zu 2.2	67
2.2.1	<i>Einleitung</i>	68
2.2.2	<i>Überblick Kernreaktoren</i>	70
2.2.2.1	Verschiedene Arten der Kernreaktoren (SMR)	72
2.2.2.2	Small Modular Reaktoren (SMR)	74
2.2.2.3	Thorium-Kernspaltungsreaktoren	75
2.2.2.4	Kernfusion	76
2.2.3	<i>Entsorgung von Atommüll</i>	77
2.2.4	<i>Finanzielle Aspekte der Kernenergie</i>	79
2.2.4.1	Investitions- und Betriebskosten	79

2.2.4.2	Wieviel CO ₂ entsteht bei der Produktion von Atomstrom und was kostet er?.....	80
2.2.4.3	Staatliche und private Investoren	83
2.2.5	<i>Gesundheits- und Umweltrisiken</i>	84
2.2.6	<i>Entwicklungsrelevanz und Geopolitik</i>	86
2.2.6.1	Friedliche Nutzung der Kernenergie.....	87
2.2.6.2	Militärische Nutzung der Kernenergie	88
	Anhang zu 2.2	89
2.3.	SPEICHERUNG VON STROM	96
2.3.1	<i>Formen der Speicherung von Strom</i>	96
2.3.1.1	Lithium-Ionen-Batterien	96
2.3.1.2	Alternativen zur Lithium-Batterie: Metall-Ionen	97
2.3.1.3	Redox Flow Batterie	98
2.3.1.4	Wasserstoff und Wasserstoffderivate.....	99
2.3.1.5	Komprimierte Luft	104
2.3.1.6	Pumpspeicherkraftwerke.....	105
2.3.2	<i>Kosten der Speicherung von Strom</i>	106
2.3.3	<i>Rohstoffbedarf, Emissionen und Umweltbelastung der Speicherung von Strom</i>	113
2.3.4	<i>Beispielsdaten von Ghana, Kenia und Spanien</i>	119
2.4.	HERSTELLUNG VON WASSERSTOFF.....	122
2.4.1	<i>Dampfreformierung von Erdgas</i>	122
2.4.2	<i>Partielle Oxidation/autotherm Reforming von Erdgas</i>	123
2.4.3	<i>Elektrolyse</i>	124
2.4.3.1	Kernaussagen	124
2.4.3.2	Einführung in die Thematik.....	125
2.4.3.3	Relevanz der Thematik für den Gesamtzusammenhang	125
2.4.3.4	Die wichtigsten Kennzahlen im Überblick	127
2.4.3.5	Die verschiedenen Elektrolysetechnologien.....	129
2.4.3.6	Markthochlauf der Wasserstoffelektrolyse	138
2.4.3.7	Limitierende Faktoren für den Markthochlauf.....	143
2.4.3.8	Produktionsstandorte für die Elektrolyse.....	151
2.4.3.9	Zusammenfassung und mögliche Bedeutung für die Entwicklungszusammenarbeit.....	157
2.5	TRANSPORT UND SPEICHERUNG VON WASSERSTOFF	158
2.5.1	<i>Transport gasförmigen Wasserstoffs</i>	159
2.5.1.1	Transport via Pipeline.....	162
2.5.1.2	Kosten des Pipeline-Transports	163
2.5.1.3	Umfunktionieren bestehender Pipelinenetze.....	164

2.5.1.4	Beimischen in bestehende Erdgaspipelinenetze.....	165
2.5.2	<i>Speicherung gasförmigen Wasserstoffs in Salzkavernen</i>	166
2.5.3	<i>Transport</i>	170
2.5.3.1	Transport flüssigen Wasserstoffs per LKW	171
2.5.3.2	Transport flüssigen Wasserstoffs per Schiff.....	172
2.5.4	<i>Chemische Wasserstoffspeicher (Wasserstoffderivate und LOHC)</i>	174
2.5.4.1	Ammoniak als chemischer Wasserstoffspeicher	175
2.5.4.2	Methanol als chemischer Wasserstoffspeicher	178
2.5.4.3	Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC)	183
2.5.5	<i>Zusammenfassende Bewertung der Transport-Optionen</i>	188
2.6.	HERSTELLUNG UND NUTZUNG VON WASSERSTOFFDERIVATEN	191
2.6.1	<i>Herstellung von E-Ammoniak</i>	191
2.6.1.1	Fallstudie Nordeuropa	192
2.6.2	<i>Herstellung von low-carbon Ammoniak</i>	193
2.6.3	<i>Nutzungsoptionen von low-carbon- und E-Ammoniak</i>	193
2.6.4	<i>Herstellung von low-carbon Methanol</i>	198
2.6.4.1	Nutzungsoptionen für low-carbon Methanol	199
2.6.4.2	Fallstudie Nordeuropa	200
2.6.4.3	Zielmärkte.....	202
2.6.5	<i>E-Methan</i>	202
2.6.5.1	Herstellung von e-Methan	203
2.6.5.2	Zielmärkte.....	204
2.6.6	<i>Betrachtung der Folgeprodukte e-Benzin</i>	205
2.6.6.1	Herstellung von e-Benzin	205
2.6.6.2	Produktionskosten e-Benzin.....	206
2.6.6.3	Zielmärkte.....	207
2.7.	KLIMANEUTRALE KRAFTSTOFFE	208
2.7.1	<i>Einleitung</i>	208
2.7.2	<i>Organische Quellen</i>	209
2.7.2.1	Biologische Reststoffe aus der Land- und Forstwirtschaft	209
2.7.2.2	Zucker, Zellulose und Stärke.....	210
2.7.2.3	Natürliche Fette und Öle	211
2.7.2.4	Abwasser.....	212
2.7.2.5	Bioabfälle im MSW	212
2.7.2.6	Kurzumtriebsplantagen	213
2.7.3	<i>Primärenergiepotenzial von Biomasse zur Erzeugung von Treibstoffen</i>	214
2.7.4	<i>Verfahren zur Erzeugung von Biokraftstoffen aus Biomasse</i>	215
2.7.4.1	Herstellung von 1G- und 2G-Biokraftstoffen	215

2.7.5	<i>E-Diesel und E-Kerosin</i>	216
2.7.5.1	Herstellung von 1G Biodiesel	216
2.7.5.2	Herstellung von 2G Biodiesel	217
2.7.5.3	Herstellung von Biosynthesegas und Biomethan	224
2.7.5.4	Herstellung von Biokraftstoffen aus Algen	226
2.7.5.5.	Herstellung von Wasserstoff aus Klärschlamm und Schmutzwasser	227
2.7.5.6	Wasserbilanz zur Erzeugung von Bio-Ethanol und Bio-Diesel	228
2.7.6	<i>Entwicklungsrelevanz</i>	229
2.8.	TECHNISCHES ABFANGEN UND SPEICHERUNG VON CO ₂ (CCS)	230
	Glossar zu 2.8	230
2.8.1	<i>Einleitung</i>	231
2.8.1.1	Relevanz für den Gesamtzusammenhang	234
2.8.1.2	Zahlenüberblick	235
2.8.1.3	Begriffe	237
2.8.2	<i>Removal: Direct Air Capture (DAC)</i>	242
2.8.2.1	Überblick und Kosten	242
2.8.2.2	Gegenüberstellung zweier DAC-Verfahren mit Hilfe von LCA	246
2.8.3	<i>Reduction: Oxyfuelverfahren, Pre- und Post-Combustion</i>	250
2.8.3.1	Oxy-Fuel-Verfahren	250
2.8.3.2	Kostenentwicklung beim Oxy-Fuel-Verfahren	251
2.8.3.3	CO ₂ -Reduktion durch Pre-Combustion	252
2.8.3.4	CO ₂ -Reduktion durch Post-Combustion	253
2.8.3.5	Kosten von Verfahren zur CO ₂ -Entnahme	261
2.8.3.6	Kosten der CO ₂ -Reduktion bei Kraftwerken	265
2.8.3.7	Kosten der CO ₂ -Reduktion bei der Stahlherstellung	269
2.8.3.8	Kosten der CO ₂ -Reduktion in anderen Branchen	270
2.8.3.9	Aktuelle Projekte zur CO ₂ -Reduktion	272
2.8.4	<i>Transport von CO₂</i>	275
2.8.4.1	Konditionierung des CO ₂	275
2.8.4.2	Invest- und Transportkosten bei Pipelines	276
2.8.4.3	Qualitätsanforderungen für CO ₂ -Pipelines	279
2.8.4.4	Transport von CO ₂ per Schiff	280
2.8.4.5	Transport von CO ₂ per LKW oder Bahn	281
2.8.5	<i>Einlagerung von CO₂ (CCS)</i>	282
2.8.5.1	Verfahren	282
2.8.5.2	Wahrnehmung von Gefahren bei der Verpressung von CO ₂ ..	285
2.8.5.3	In-Situ-Mineralisierung	287

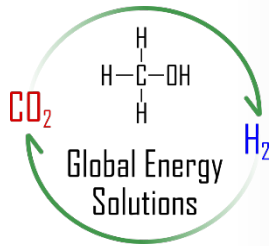
2.8.5.4	Ex-Situ-Mineralisierung	289
2.8.6	<i>Kosten für Abfangen, Transport und Verpressen</i>	289
2.8.6.1	Neue Geschäftsmodelle mit CCUS	290
2.8.6.2	Rechtliche Grundlagen für CCS	292
2.8.6.3	Lebenszyklus eines CCS-Projektes	293
	Anhang zu 2.8	294
2.9	CARBON CAPTURE AND USAGE (CCU).....	296
2.9.1	<i>Einleitung</i>	296
2.9.2	<i>CO₂-Verwendung in der chemischen Industrie</i>	298
2.9.2.1	Einsatz von CO ₂ zur Herstellung von chemischen Rohstoffen	298
2.9.2.2	Methanol.....	299
2.9.2.3	Methan	299
2.9.2.4	Harnstoff.....	300
2.9.2.5	Synthesegas.....	301
2.9.3	<i>Verwendung von CO₂ für die Produktion von Kunststoffen und Polymeren</i>	302
2.9.3.1	Polycarbonate	302
2.9.3.2	Polyole / Polyurethane	303
2.9.4	<i>Beispiele für Anwendungen von CO₂ in der chemischen Industrie Covestro</i>	305
2.9.4.1	Potenzielle Vorteile der Verwendung von CO ₂ als Rohstoff in der chemischen Industrie	306
2.9.5	<i>Herausforderungen bei der Umsetzung der CO₂-Verwendung in der chemischen Industrie</i>	307
2.9.6	<i>Mineralisierung von CO₂ zur Gewinnung von Carbonaten und Baumaterialien</i>	308
2.9.6.1	Carbonate.....	309
2.9.6.2	Baustoffe	310
2.9.6.3	Beispiele für Anwendungen von CO ₂ in der Baustoff-Industrie	312
2.9.7	<i>Enhanced Fuel Recovery</i>	313
2.9.7.1	Enhanced Oil Recovery.....	313
2.9.7.2	Enhanced Gas Recovery	314
2.9.8	<i>Biologische Umwandlung von CO₂ in Algen</i>	315
2.9.8.1	Beispiele für Anwendungen von Mikroorganismen, die CO ₂ umsetzen.....	317
2.9.9	<i>Ausblick und Schlussfolgerungen</i>	318
2.9.9.1	Bewertung des Potenzials von CO ₂ als Rohstoff	318
2.9.9.2	Ausblick auf zukünftige Entwicklungen und Trends in diesem Bereich	319
2.10	NATURBASIERTE LÖSUNGEN.....	320

2.10.1	<i>Naturbasierte Lösungen – Definition und verschiedene Kategorien</i>	320
2.10.2	<i>Die Natur als CO₂-Senke</i>	322
2.10.3	<i>Die Natur als Grundlage wirtschaftlicher Entwicklung</i>	325
2.10.4	<i>Bestehende Herausforderungen</i>	326
2.10.5	<i>Lösungsbausteine des GES-Referenzmodells</i>	328
2.10.5.1	Erhalt der verbliebenen tropischen Regenwälder	329
2.10.5.2	Aufforstung auf 1 Mrd. Hektar degradierter Böden	329
2.10.5.3	Restaurierung von 1 Mrd. Hektar degradierter Böden	330
2.10.5.4	Kurzumtriebsplantagen auf 150 Mio. Hektar	330
2.10.6	<i>Ausblick</i>	330
2.11.	<i>OZEANE ALS SENKE FÜR ANTHROPOGENES CO₂</i>	333
2.11.1	<i>Einführung</i>	333
2.11.2	<i>Mechanismus der natürlichen Speicherung von CO₂ in den Ozeanen</i> ..	336
2.11.3	<i>Chemischer und Biologischer Puffer</i>	339
2.11.3.1	Chemischer Puffer	339
2.11.3.2	Biologischer Puffer	339
2.11.4	<i>CO₂-Aufnahme durch küstennahe Vegetation</i>	340
2.11.5	<i>Künstliche CO₂-Speicher (Ocean Carbon Sequestration – OCR)</i>	340
2.11.6	<i>Zusammenfassung</i>	341
2.12	<i>WEITERE TREIBHAUSGASE AUßER CO₂</i>	343
2.12.1	<i>Klimagas Methan – Status Quo und Optionen zur Verminderung der Emissionen</i>	343
2.12.1.1	Einführung	343
2.12.1.2	Methan in der Atmosphäre	344
2.12.1.3	Methan-Emissionen	347
2.12.1.4	Methansenken, Methanbilanz und Prognosen	349
2.12.1.5	Permafrost und Methanhydrat	351
2.12.1.6	Methanhydrat (Methaneis)	352
2.12.1.7	Optionen zur Verminderung von Methanemissionen	354
2.12.1.8	Methanemissionen in der Öl- und Gasindustrie	356
2.12.1.9	Methanemissionen im Kohlebergbau	357
2.12.1.10	Methanemissionen bei der Tierhaltung	358
2.12.1.11	Methanemissionen beim Reisanbau	359
2.12.1.12	Deponiegas	359
2.12.1.13	Abwasser	360
2.12.1.14	Oxidation von Methan aus diffusen Quellen und bei geringen Konzentrationen	361
2.12.1.15	Zusammenfassung und Ausblick	361

2.12.1.16	Kosten	362
2.12.1.17	Relevanz für GES.....	362
2.12.2	<i>Spezialfall Methan: Umfang und Kontrolle von LNG Vorkettenemissionen</i>	363
2.12.2.1	Zusammensetzung und Eigenschaften von LNG.....	363
2.12.2.2	Versorgungswege: Weltweiter Handel mit Erdgas (via Pipeline) und LNG	363
2.12.2.3	Situation in Europa	367
2.12.2.4	LNG-Terminals in Europa.....	367
2.12.2.5	LNG-Versorgungskette.....	368
2.12.2.6	Verflüssigung und Transport	369
2.12.2.7	Wiederverdampfung und Einspeisung ins Erdgasnetz.....	370
2.12.2.8	Verteilung als LNG (Flüssiggas).....	371
2.12.2.9	Abschätzung der Vorkettenemissionen und Zusammenfassung	372
2.12.2.10	Klimagas Methan – Umfang und Kontrolle von LNG- Vorkettenemissionen	373
2.12.3	<i>Spezialfall Methan: Restgasfackeln</i>	375
2.12.3.1	Senkung der Emissionen der Restgas-Fackeln	377
2.12.3.2	Aufbau einer Anlage zur Sammlung von Fackelgasen	378
2.12.3.3	Nutzungsoptionen und -potenzial für Fackelgase aus der Erdöl- und Erdgasverarbeitung	380
2.12.3.4	Stoffliche Nutzung	381
2.12.4	<i>Stickoxide (Lachgas) als Treibhausgas</i>	382
2.12.4.1	Optionen zur Verminderung von Stickoxid-Emissionen	386
2.12.5	<i>Wasserstoff als Treibhausgas</i>	389
2.12.5.1	Wasserstoff in der oberen Atmosphäre	389
2.12.5.2	Klimawirkung von Wasserstoff im Vergleich zu CO ₂	390
2.12.5.3	Szenarien für Wasserstoffemissionen	391
2.12.5.4	Leckagen.....	392
2.12.5.5	Fazit: Relevanz von Wasserstoff-Emissionen	393
2.13	KRITISCHE ROHSTOFFE.....	395
2.13.1	<i>Einleitung</i>	395
2.13.1.1	Definition von kritischen Rohstoffen	398
2.13.1.2	Relevanz für den Gesamtzusammenhang	399
2.13.1.3	Kernaussagen	400
2.13.2	<i>Ausgewählte kritische Rohstoffe</i>	401
2.13.2.1	Übersicht kritischer Rohstoffe	401
2.13.2.2	Seltene Erden.....	403

2.13.2.3	Nickel (Ni ²⁸)	407
2.13.2.4	Kupfer (Cu ²⁹)	411
2.13.2.5	Mangan (Mn ²⁵)	414
2.13.2.6	Lithium (Li ³)	417
2.13.2.7	Kobalt (Cobalt, Co ²⁷)	419
2.13.2.8	Iridium (Ir ⁷⁷)	423
2.13.2.9.	Platin (Pt ⁷⁸)	425
2.13.3	<i>Anwendungsfelder</i>	427
2.13.3.1	Überblick der Rohstoffe und ihrer Anwendungsfelder.....	427
2.13.3.2	Produktion von Magneten	432
2.13.3.3	Produktion von Brennstoffzellen.....	433
2.13.3.4	Bau von Hochleistungsspeichern	433
2.13.4	<i>Vorkommen, Reichweiten, Abbausichten</i>	434
2.13.4.1	Grundsätzliches zu Reichweiten	435
2.13.5	<i>Recyclingverfahren und -raten</i>	438
2.13.5.1	Allgemeine Bemerkungen zum Recycling kritischer Rohstoffe	438
2.13.5	Urban Mining	439
2.13.5.3	Weltweite Suche nach Substituten für REE	442
2.13.6	<i>Internationale Rohstoffstrategien zur Sicherung von kritischen Rohstoffen</i>	442
2.13.6.1	Die deutsche Rohstoffstrategie	443
2.13.6.2	Die Europäische Rohstoffstrategie	446
2.13.6.3	Die US-amerikanische Rohstoffstrategie	448
2.13.6.4	Die britische Rohstoffstrategie	450
2.13.6.5	Die japanische Rohstoffstrategie.....	451
2.13.6.6	Die chinesische Rohstoffstrategie	452
2.13.6.7	Die russische Rohstoffstrategie.....	454
2.13.7	<i>Zusammenfassung</i>	454
	<i>Anhang zu 2.13</i>	456
2.14	INFRASTRUKTUREN ZUM ENERGIETRANSPORT	463
2.14.1	<i>Abstract</i>	463
2.14.2	<i>Einführung und Relevanz</i>	466
2.14.3	<i>Strom: Bestandsaufnahme und Perspektiven</i>	469
2.14.3.1	Bestandsaufnahme Strominfrastruktur	470
2.14.3.2	Perspektiven für die Strominfrastruktur	471
2.14.4	<i>Energie in Form von Molekülen</i>	476
2.14.4.1	Wasserstoff	479
2.14.4.2	Ammoniak	486

2.14.4.3	Methanol.....	488
2.14.5	<i>Aufbau, Umstellung und Umbau von Infrastruktur</i>	490
2.14.5.1	Neue Wasserstoff-Pipelines	490
2.14.5.2	Umfunktionieren bestehender Erdgaspipelines.....	491
2.14.5.3	Case Study European Hydrogen Backbone.....	491
2.14.5.4	Aufbau, Umstellung und Umbau	492
2.14.5.5	Die Rolle bestehender Infrastruktur – Case Study EU	494
2.14.6	<i>Realisierung und Betrieb von Energieinfrastruktur</i>	496
2.14.6.1	Beimischung von Wasserstoff in bestehende Erdgasnetze	496
2.14.6.2	Transport von flüssigem Wasserstoff	497
2.14.6.3	Flüssiger Wasserstofftransport via LKW	498
2.14.6.4	Flüssiger Wasserstofftransport via Schiff	499
2.14.6.5	Wasserstoffspeicher	500
2.14.6.6	Liquid Organic Hydrogen Carriers	502
2.14.6.7	Vergleich der H ₂ -Transportmöglichkeiten.....	504
2.14.6.8	Skalierung des Wasserstoffbedarfs und der Infrastruktur	506
2.14.6.9	Transport von CO ₂	507
2.14.6.10	Kosten von Abfangen, Transport und Verpressen von CO ₂	510
2.14.6.11	Skalierung der CO ₂ -Infrastruktur	511
2.14.6.12	Rahmen für Infrastrukturentwicklung in unterschiedlichen Ländern	513
2.14.6.13	Realisierung / Betrieb von Energie- und CO ₂ -Infrastruktur.....	515
2.14.6.14	Finanzierung von Energieinfrastruktur	521
2.14.7	<i>Relevanz für die Entwicklungszusammenarbeit</i>	531
	<i>Anhang zu 2.14</i>	534
2.15	LITERATURVERZEICHNIS	540



Global Energy Perspectives

gefördert aus Kapitel 2302, Titel 687 01

BMZ-Abschlussreport / Basisdokument

Global Energy Solutions e.V.

Teil 2: Wesentliche treibhausgasverursachende
Branchen

Stand 30.Juni 2023

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	6
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	8
TABELLENVERZEICHNIS	12
3. WESENTLICHE TREIBHAUSGAS-VERURSACHENDE BRANCHEN	13
3.1. STROMERZEUGUNG AUS FOSSILEN BRENNSTOFFEN.....	13
3.1.1 <i>Kohle</i>	13
3.1.1.1 Darstellung der globalen Produktionsmengen und Emissionen	13
3.1.1.2 Quellen der CO ₂ -Emission.....	15
3.1.1.3 Möglichkeiten zur technischen CO ₂ -Minderung.....	15
3.1.2 <i>Erdgas</i>	17
3.1.2.1 Darstellung der globalen Produktionsmengen und Emissionen	17
3.1.2.2 Quellen der THG-Emissionen.....	19
3.1.2.3 Möglichkeiten zur technischen THG-Minderung.....	19
3.1.3 <i>Öl</i>	20
3.1.3.1 Darstellung der globalen Produktionsmengen und Emissionen	20
3.1.4 <i>Entwicklungsrelevanz</i>	21
3.1.4.1 Zentrale und dezentrale Stromversorgungssysteme	22
3.1.4.2 Etablierung fairer Wasserstoffmärkte auf Augenhöhe	24
3.2 WESENTLICHE PROZESSINDUSTRIEN	26
3.2.1 <i>Stahl</i>	26
3.2.1.1 Darstellung der globalen Produktionsmengen und Emissionen	26
3.2.1.2 Quellen der CO ₂ -Emissionen.....	29
3.2.1.3 Technische Möglichkeiten zur CO ₂ -Minderung	30
3.2.1.4 Entwicklungsrelevanz	32
3.2.2 <i>Zement</i>	33
3.2.2.1 Darstellung der globalen Produktionsmengen und Emissionen	33
3.2.2.2 Quellen der CO ₂ -Emissionen.....	37
3.2.2.3 Technische Möglichkeiten zur CO ₂ -Minderung.....	39
3.2.2.4 Anwendungsbeispiel Schwenk Zement.....	49
3.2.2.5 Entwicklungsrelevanz	50
3.2.3 <i>Chemie</i>	52
3.2.3.1 Darstellung der globalen Produktionsmengen und Emissionen	52
3.2.3.2 Quellen der CO ₂ -Emissionen.....	54
3.2.3.3 Technische Möglichkeiten zur CO ₂ -Minderung	56
3.2.3.4 Entwicklungsrelevanz	62
3.2.4 <i>Weitere Industrien: Zellstoff und Papier</i>	63

3.2.4.1	Darstellung der globalen Produktionsmengen und Emissionen	63
3.2.4.2	Energieverbrauch und Quellen der CO ₂ -Emissionen	68
3.2.4.3	Technische Möglichkeiten zur CO ₂ -Minderung	76
3.2.4.4	Anwendungsbeispiele.....	83
3.2.4.5	Entwicklungsrelevanz	86
ANHÄNGE ZUM KAPITEL 3.2	88
3.3	VERKEHR	96
3.3.1	<i>Straßenverkehr</i>	99
3.3.1.1	Quellen der CO ₂ -Emissionen.....	99
3.3.1.2	Technische Möglichkeiten zur CO ₂ -Minderung	103
3.3.2	<i>Bahnverkehr</i>	107
3.3.2.1	Quellen der CO ₂ -Emissionen.....	108
3.3.2.2	Technische Möglichkeiten zur CO ₂ -Minderung	109
3.3.3	<i>Luftverkehr</i>	111
3.3.3.1	Quellen der CO ₂ -Emissionen.....	111
3.3.3.2	Technische Möglichkeiten zur CO ₂ -Minderung	112
3.3.4	<i>Schiffsverkehr</i>	112
3.3.4.1	Quellen der CO ₂ -Emissionen.....	112
3.3.4.2	Technische Möglichkeiten zur CO ₂ -Minderung	114
3.3.5	<i>Anwendungsbeispiele</i>	114
3.3.6	<i>Entwicklungsrelevanz</i>	116
3.4	WOHNUNGSWIRTSCHAFT & GEBÄUDE.....	119
<i>Glossar</i> 119		
3.4.1	<i>Energieverbrauch und Co₂-Emissionen von Gebäuden</i>	120
3.4.1.1	Einleitung	120
3.4.1.2	Globale Betrachtungen der Verbräuche	121
3.4.1.3	Klassifizierung der Gebäude	125
3.4.1.4	Spezialfall GdW	126
3.4.2	<i>CO₂-Emissionsquellen</i>	129
3.4.2.1	CO ₂ -Emissionen von Privatgebäuden	129
3.4.2.2	CO ₂ -Emissionen von Bürogebäuden.....	133
3.4.3	<i>Möglichkeiten zur technischen Minderung der Emissionen</i>	135
3.4.3.1	Technische Lösungen zur Wärmeerzeugung	135
3.4.3.2	Solarthermie	138
3.4.3.3	Pyrolyse	138
3.4.3.4	Fernwärme	141
3.4.3.5	Technische Lösungen zur Wärmedämmung und Kühlung.....	141
3.4.3.6	Technische Möglichkeiten zur Minderung der Emissionen	142

3.4.4	<i>Anwendungsbeispiele</i>	145
3.4.5	<i>Entwicklungsrelevanz</i>	145
LITERATURVERZEICHNIS	147