

---

# Inhaltsverzeichnis

|   |  |           |
|---|--|-----------|
| <b>1</b>  | <b>Einleitung</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1   | Motivation   | 1         |
| 1.2   | Aufbau des Buches  | 6         |
| 1.2.1   | Teil I   | 7         |
| 1.2.2   | Teil II  | 8         |
| 1.2.3   | Teil III   | 8         |
| 1.3   | Konzeptionelle Grundlagen und methodische Ansätze  | 8         |
| 1.3.1   | Angewandte Transformationsforschung  | 9         |
| 1.3.2   | Analyse und Dekonstruktion von Narrativen  | 15        |
| 1.3.3   | Systemgutanalyse   | 16        |
| <br><b>Teil I Narrative und historische Analysen zur Energiewende</b> |  |           |
| <b>2</b>  | <b>Visionen und narrative Barrieren</b>  | <b>21</b> |
| 2.1   | Einleitung   | 21        |
| 2.2   | Die Vordenker*innen der Energiewende im 20. Jahrhundert  | 21        |
| 2.2.1   | Ernst F. Schumacher 1977 – “Small is beautiful”  | 22        |
| 2.2.2   | Amory B. Lovins 1979 – “Sanfte Energien”   | 24        |
| 2.2.3   | Florentin Krause et al. 1980 – „Energie-Wende –<br>Wachstum und Wohlstand ohne Erdöl und Uran“ | 25        |
| 2.2.4   | Peter Henricke et al. 1985 – „Die Energiewende ist<br>möglich“                                 | 28        |
| 2.2.5   | Klaus Müschen und Erika Romberg 1986 – „Strom<br>ohne Atom“                                    | 29        |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2.3   | Vom Grundlastmodell zur Flexibilität: Ein Blick auf die Entwicklung des deutschen Stromsystems .....             | 30 |
| 2.4   | Strategien und Narrative zur Erhaltung der fossil-zentrischen Energieinfrastruktur: Eine kritische Analyse ..... | 34 |
| 2.4.1 | Brücken-Narrativ .....   | 38 |
| 2.4.2 | „Grüne“-Gase Narrativ .....  | 41 |
| 2.4.3 | Technologieoffenheit .....   | 45 |
| 2.4.4 | „H <sub>2</sub> -ready“ .....  | 48 |
| 2.4.5 | Klimaneutralität und Netto-Null .....  | 51 |
| 2.5   | Schlussfolgerungen für die Sektoranalysen und die Energieinfrastrukturentwicklung .....                          | 52 |

## Teil II Sektoranalysen

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>3</b> | <b>Fossiler Erdgasausstieg .....</b>  | <b>59</b> |
| 3.1      | Einleitung .....  | 60        |
| 3.2      | Rahmenbedingungen für Erdgas in Europa .....  | 62        |
| 3.2.1    | Vom Fokus auf Wettbewerb... ..  | 62        |
| 3.2.2    | ... zum „Brückenenergieträger“... ..  | 64        |
| 3.2.3    | ... zur Überlebensstrategie der fossilen Erdgasindustrie .....  | 65        |
| 3.3      | Analyse von fossilem Erdgas und anderen Energiegasen .....  | 67        |
| 3.3.1    | Übersicht der Energiegase .....   | 67        |
| 3.3.2    | Methan und Klimawandel .....  | 69        |
| 3.3.3    | Erkenntnisse zu Emissionen aus Erdgas werden in Szenarien nur unzureichend behandelt .....                          | 72        |
| 3.3.4    | Kohlenstoffabscheidung, -transport und -speicherung (CCTS) ist keine Lösung .....                                   | 74        |
| 3.3.4.1  | Gegenwärtige Entwicklungen und CCTS in der Kraftwerksstrategie .....  | 79        |
| 3.3.5    | Irreführende Erzählungen verhindern eine direkte Transformation zu einem 100%-EES .....                             | 85        |
| 3.3.6    | Fossile Erdgas Lock-ins verzögern den Transformationsprozess zu einem 100%-EES .....                                | 87        |
| 3.3.7    | Investitionen in die Gasinfrastruktur können „stranden“ und binden das für die Energiewende benötigte Kapital ..... | 88        |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 3.4     | Erkenntnisse aus der Modellierung des europäischen<br>Energiesystems bei vollständiger Dekarbonisierung .....  | 90  |
| 3.4.1   | Die EU-Referenzszenarien .....   | 91  |
| 3.4.2   | Konsequenter Erdgasausstieg bei starken<br>Kohlenstoffbeschränkungen .....   | 91  |
| 3.5     | Schlussfolgerungen und Ausblick – Erdgasausstieg .....   | 94  |
| 4       | <b>Fossiler LNG-Einstieg</b> .....   | 99  |
| 4.1     | Einleitung .....   | 100 |
| 4.2     | Energiewirtschaftliche und industriepolitische Bewertung<br>des Energie- und Industrieprojekts Mukran mit dem Bau<br>von LNG-Infrastruktur und Pipelineanbindung nach Lubmin ... | 105 |
| 4.2.1   | Rahmenbedingungen nachhaltiger<br>Regionalentwicklung .....  | 107 |
| 4.2.1.1 | Klimawirkung von fossilem Erdgas .....   | 107 |
| 4.2.1.2 | Klimaschutzziele in Deutschland und<br>die Gefahren des Aufbaus fossiler<br>Importüberkapazitäten .....  | 108 |
| 4.2.1.3 | Sozial-ökologische Transformation und<br>Erdgasausstieg .....  | 110 |
| 4.2.1.4 | Adäquate Verwendung nachhaltiger<br>Entwicklungsziele (SDGs) für Rügen .....   | 114 |
| 4.2.1.5 | Zwischenfazit .....  | 116 |
| 4.2.2   | Energiewirtschaftliche Notwendigkeit .....   | 117 |
| 4.2.2.1 | Rahmenbedingungen und Prüfpunkte .....   | 117 |
| 4.2.2.2 | Gasversorgung für den Winter 2023/24 .....   | 118 |
| 4.2.2.3 | Analyse potenzieller Kapazitätsengpässe<br>im deutschen Pipelinesystem .....   | 132 |
| 4.2.2.4 | Zwischenfazit .....  | 136 |
| 4.2.3   | Perspektiven einer regionalen Wasserstoffwirtschaft<br>am Standort Mukran/Hafen .....  | 137 |
| 4.2.3.1 | Status quo im Rahmen des<br>LNG-Beschleunigungsgesetzes .....  | 137 |
| 4.2.3.2 | Wasserstoffinfrastruktur: Zentrale vs.<br>dezentrale Ansätze .....   | 139 |
| 4.2.3.3 | Einschätzungen zur Entwicklung eines<br>nachhaltigen Wasserstoff-Clusters<br>in Mukran .....   | 140 |
| 4.2.3.4 | Zwischenfazit .....  | 143 |
| 4.3     | Schlussfolgerungen und Ausblick – LNG-Einstieg .....   | 144 |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>5</b> | <b>Wasserstoffumstieg</b>   | <b>147</b> |
| 5.1      | Einleitung  | 147        |
| 5.2      | Wasserstoff im Kontext der EU   | 149        |
| 5.3      | Technisches System – Herstellungsverfahren,<br>Produktionspotenziale in Europa und Importoptionen | 151        |
| 5.3.1    | Herstellungsverfahren mit Fokus auf die EU  | 151        |
| 5.3.1.1  | Herstellung unter Einsatz von fossilen<br>Energieträgern  | 152        |
| 5.3.1.2  | Herstellung mittels Elektrolyse und<br>EE-Strom   | 154        |
| 5.3.1.3  | Wasserstoffderivate   | 155        |
| 5.3.2    | Produktion in Europa vs. Importe aus Drittländern   | 156        |
| 5.3.2.1  | Produktion in Europa  | 156        |
| 5.3.2.2  | Import aus Drittländern   | 158        |
| 5.3.2.3  | Arbeitsplatzeffekte der<br>Wasserstoffproduktion  | 160        |
| 5.3.3    | Transportinfrastrukturen  | 162        |
| 5.3.4    | Speicheroptionen  | 164        |
| 5.3.5    | Einsatzbereiche   | 167        |
| 5.3.5.1  | Haushalte   | 167        |
| 5.3.5.2  | Industrie   | 171        |
| 5.3.5.3  | Verkehr   | 175        |
| 5.3.5.4  | Strom   | 177        |
| 5.4      | Schnittstellen und Koordinationsbedarf in der<br>Energieinfrastrukturplanung                      | 179        |
| 5.4.1    | Technisch-systemische Aspekte: Wasserstoff als Teil<br>des Energiesystems                         | 180        |
| 5.4.2    | Energieinfrastrukturplanung   | 181        |
| 5.4.3    | Wasserstoffinfrastrukturplanung   | 183        |
| 5.5      | Politische Ebene: Die europäische Wasserstoffstrategie  | 186        |
| 5.5.1    | Herstellungsverfahren   | 188        |
| 5.5.2    | Ausbau- bzw. Mengenziele  | 188        |
| 5.5.3    | Infrastruktur und Kostenüberblick   | 189        |
| 5.5.4    | Priorisierung von Anwendungen/Sektoren  | 190        |
| 5.5.5    | Import  | 191        |
| 5.6      | Schlussfolgerungen und Ausblick – Wasserstoffumstieg  | 192        |

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| <b>6</b> | <b>Atomwende</b>   | 197 |
| 6.1      | Einleitung   | 198 |
| 6.1.1    | Atomenergie und Nachhaltige Entwicklung  | 200 |
| 6.1.2    | Atomwende und Energiewende in Deutschland  | 201 |
| 6.1.3    | Technische Betrachtungen der Atomenergie in der Energiewende   | 202 |
| 6.2      | Das Konzept der „Atomwende“  | 205 |
| 6.2.1    | Zum Begriff der „Atomwende“  | 206 |
| 6.2.2    | Narrative und Gegenarrative  | 209 |
| 6.3      | Atompolitische Wendepunkte   | 210 |
| 6.3.1    | 20. Jahrhundert  | 213 |
| 6.3.1.1  | (Atom-)Einstieg auch in Deutschland (1959/1960): Die ersten Atomgesetze (BRD und DDR)                          | 213 |
| 6.3.1.2  | 1970er-Jahre: Institutionalisierung der technischen Kontroverse und der Anti-Atom-Bewegung                     | 213 |
| 6.3.1.3  | 1990er: Aufbrechen vertikal integrierter (Gebiets-)Monopole  | 214 |
| 6.3.2    | 21. Jahrhundert  | 214 |
| 6.3.2.1  | Erster Beschluss zur Beendigung der kommerziellen Nutzung von Atomenergie (1998–2002)                          | 214 |
| 6.3.2.2  | EEG (2000)   | 215 |
| 6.3.2.3  | Wendepunkte im Energiekonzept: Laufzeitverlängerung (2010) und beschleunigte Abschaltung post-Fukushima (2011) | 215 |
| 6.3.3    | Zeitenwende 2022 und mögliche zukünftige Ereignisse und Wendepunkte  | 216 |
| 6.4      | Atomwende? Ja, bitte!  | 216 |
| 6.4.1    | Zusammenhang zwischen der Atomwende, dem Endlagerprozess und der Energiewende                                  | 217 |
| 6.4.2    | Eine neue Atomenergie-Ära?   | 220 |
| 6.4.3    | Die Entsorgung radioaktiver Abfälle als zentrales Element der Atomwende  | 222 |
| 6.4.3.1  | Der Bedeutungsrahmen des „wicked problem“ der Endlagersuche  | 224 |
| 6.4.3.2  | Rahmenbedingungen für einen „guten“ Endlagerprozess  | 227 |

---

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 6.4.3.3  | Risiken, Herausforderungen und der lange Weg zur Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland .....  | 229        |
| 6.4.3.4  | Begleitprodukte für transdisziplinäre Dialoge und Lehre für die Entsorgung radioaktiver Abfälle .....       | 232        |
| 6.4.4    | Barrieren für eine konsequente Atomwende .....  | 234        |
| 6.4.4.1  | Bagatellisierung von LZV von Kernkraftwerken in Deutschland .....   | 236        |
| 6.4.4.2  | Banalisierung der Gefahren von neuen Kernkraftwerken in Deutschland .....                                   | 239        |
| 6.4.4.3  | Subventionierung von Atomenergie als „nachhaltige“ Technologie im Rahmen der EU-Taxonomie Regulierung ..... | 241        |
| 6.5      | Schlussfolgerungen und Ausblick – Atomwende .....   | 243        |
| <b>7</b> | <b>Energieinfrastrukturentwicklung für ein 100 %-Erneuerbare-Energiesystem .....</b>                        | <b>247</b> |
| 7.1      | Einleitung .....  | 248        |
| 7.2      | Analyse der Energieinfrastrukturplanung .....   | 248        |
| 7.2.1    | Infrastruktur hat „dienende“ Funktion .....   | 249        |
| 7.2.2    | Traditionelles System: Infrastrukturausbau für Engpassfreiheit .....  | 250        |
| 7.2.3    | Unbundling und Engpassmanagement ohne Klimaschutzziele .....  | 250        |
| 7.2.4    | Klimaschutzziele erst seit 2014 im Szenariorahmen für den NEP Strom 2015 .....                              | 252        |
| 7.3      | Status quo der Netzentwicklungsplanung .....  | 252        |
| 7.3.1    | Zwischenstand NEP Gas 2022–2023 .....   | 252        |
| 7.3.2    | Netzentwicklung im Stromsektor .....  | 254        |
| 7.3.3    | Neubau von Erdgaskraftwerken? .....   | 255        |
| 7.4      | Problemfelder der Netzentwicklungsplanung .....   | 257        |
| 7.4.1    | Fossile Überkapazitäten .....   | 257        |
| 7.4.2    | Pfadabhängigkeiten und fehlende Ausrichtung auf ein Zielsystem .....  | 259        |
| 7.4.3    | Kein umfassender Einbezug von Klimazielen .....   | 259        |
| 7.4.4    | Keine integrierte Betrachtung auf Basis quantitativer Modellierung .....                                    | 260        |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 7.4.5 | Kein systemdienlicher Ausbau von Wasserstoffinfrastruktur .....                                      | 261 |
| 7.4.6 | Agilität vs. Planungssicherheit .....  | 262 |
| 7.4.7 | Klimakrise und Energieinfrastrukturplanung .....   | 263 |
| 7.5   | Von der Netzentwicklungsplanung zur Systementwicklungsstrategie .....                                | 264 |
| 7.5.1 | Strategien der Bundesregierung und einzelner Ministerien zur Transformation des Energiesystems ..... | 264 |
| 7.5.2 | Die Systementwicklungsstrategie als Weg zu einem ganzheitlichen Energiekonzept .....                 | 266 |
| 7.5.3 | Gegenwärtiger Stand der Systementwicklungsstrategie und offene Fragen .....                          | 267 |
| 7.6   | Elemente zur Ausgestaltung einer 100%-EES-kompatiblen Energieinfrastrukturplanung .....              | 270 |
| 7.6.1 | Element Szenarienentwicklung („Angebot“) .....   | 270 |
| 7.6.2 | Element Energieverbrauch („Nachfrage“) .....   | 272 |
| 7.6.3 | Element Zentralität – Dezentralität .....  | 275 |
| 7.6.4 | Element Wasserstoff und PtG/PtL .....  | 277 |
| 7.7   | Empfehlungen zur intentionellen Weiterentwicklung der SES .....                                      | 280 |
| 7.7.1 | Transformation zur Sache der Bundesregierung machen .....  | 280 |
| 7.7.2 | Kohärenzanspruch erfüllen .....  | 281 |
| 7.7.3 | Nicht-lineare Entwicklungen frühzeitig antizipieren – SES agil organisieren .....                    | 286 |
| 7.7.4 | Beteiligung effektiv steuern und Transparenz schaffen .....  | 290 |
| 7.7.5 | Flankierende Maßnahmen .....   | 296 |
| 7.8   | Schlussfolgerungen und Ausblick – Energieinfrastrukturentwicklung im 21. Jahrhundert .....           | 299 |

**Teil III 100 %-Erneuerbare-Energien-Ökonomie**

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 8   | Schlussfolgerungen und Ausblick .....  | 305 |
| 8.1 | Einleitung .....   | 305 |
| 8.2 | Thesen und Gedanken zum „eigentlichen“ Energieproblem im 21. Jahrhundert ..... | 305 |

---

|         |  |            |
|---------|--|------------|
| 8.2.1   | Paradigmenwechsel in der<br>Energieinfrastrukturplanung für ein 100%-EES .....   | 306        |
| 8.2.2   | Ressourcenknappheit und -ungerechtigkeit erfordert<br>nachhaltigere und regenerative Energien .....                          | 308        |
| 8.2.3   | Der fossil-fissile Kampf um die Grundlasterzeugung ....  | 309        |
| 8.2.4   | Vom „harten“ zum „sanften“ Pfad im 21.<br>Jahrhundert .....  | 312        |
| 8.2.5   | Wirtschaftliches Erwachsenwerden: Auf dem Weg<br>zu einer nachhaltigen Entwicklung jenseits des<br>Wachstumsparadigmas ..... | 314        |
| 8.3     | Grundpfeiler einer 100%-Erneuerbare-Energien-Ökonomie<br>für das 21. Jahrhundert .....                                       | 319        |
| 8.3.1   | Logik der Systemintegration ändern: Vom Ziel<br>ausgehend denken und planen .....  | 320        |
| 8.3.2   | Reform des Strommarktdesigns: Der Weg<br>zur optimalen Nutzung von EE und gerechte<br>Kostenverteilung .....                 | 322        |
| 8.3.3   | Organisation von Bereitstellungsentscheidungen für<br>Infrastruktur: Lang- und Kurzfriststrategien .....                     | 323        |
| 8.3.4   | Ein Leitbild für die Energieinfrastrukturentwicklung<br>im 21. Jahrhundert .....   | 324        |
| 8.3.4.1 | Die „Notwende“<br><br>in der Energieinfrastrukturplanung... ..   | 325        |
| 8.3.4.2 | ...hin zum „sanften“<br>100%-EE-Zielsystem... ..   | 326        |
| 8.3.4.3 | ...in einer versorgungssicheren 100%-EEÖ ....  | 327        |
|         | <b>Literaturverzeichnis .....</b>  | <b>329</b> |