

|  |    |
|--|----|
| <b>Vorwort</b>   | 1  |
| <b>I. Zusammenfassung</b>  | 3  |
| <b>1. Die Ergebnisse der vergleichenden Analyse bisheriger TA-ähnlicher Arbeiten zur Solarenergienutzung</b>                   | 4  |
| <b>2. Die Ergebnisse der eigenen TA zur Sonnenenergienutzung durch die drei Solartechniken</b>                                 | 9  |
| 2.1 Hauptergebnisse der Annahmen zur Entwicklung der Rahmenbedingungen   | 9  |
| 2.2 Stand der Technik und die Entwicklung der drei Solarenergietechniken unter den Rahmenbedingungen des Status quo-Szenariums |    |
| 2.3 Die Auswirkungen der drei Solartechniken für das Status quo-Szenarium  | 13 |
| 2.4 Realisierungsbedingungen und notwendige Maßnahmen  | 23 |
| <b>3. Fazit aus der methodenkritischen Begleitforschung während der TA</b>   | 27 |
| <b>II. Problemstellung und Zielsetzung der Untersuchung</b>  | 32 |
| <b>1. Zur Vorausschau von Auswirkungen technischer Neuerungen</b>  | 34 |
| 1.1 Zur Konzeption der Technikfolgen-Abschätzung (TA)  | 34 |
| 1.2 Hypothesen zu den Realisierungschancen der TA-Konzeption   | 37 |
| 1.2.1 Die trivialen Begrenzungen der TA  | 37 |
| 1.2.2 Der Stand wissenschaftlicher Methoden und Erkenntnis als Grenzerfahrung des Analytikers                                  | 39 |
| 1.2.3 Prinzipielle Grenzen der Prognosemöglichkeiten   | 40 |
| 1.2.4 Personelle und institutionelle Begrenzungen  | 42 |
| <b>2. Zur Entwicklung von Energiebedarf und -versorgungsstruktur der Bundesrepublik in den kommenden 50 Jahren</b>             | 45 |
| 2.1 Die nächsten 15 bis 20 Jahre   | 45 |
| 2.2 Die Unsicherheiten der ersten 30 Jahre nach 2000 und der Beitrag der Solarenergie zur Wärme- und Stromversorgung           | 46 |
| <b>3. Untersuchungsziele</b>   | 48 |
| 3.1 Vergleichende Literaturanalyse   | 49 |

|   |            |
|---|------------|
| 3.2 Durchführung einer TA für drei ausgewählte Solartechniken   | 50         |
| 3.3 Methodenkritische Begleitforschung  | 51         |
| <b>III. Vergleichende Analyse bisheriger TA-ähnlicher Arbeiten zur Solarenergienutzung</b>                            | <b>52</b>  |
| <b>1. Kurzdarstellung der untersuchten Arbeiten</b>   | <b>52</b>  |
| 1.1 Dezentrale thermische und photovoltaische Solarnutzung  | 54         |
| 1.2 Photovoltaik-Satelliten   | 65         |
| <b>2. Vergleich zwischen Konzeption und Realisierung</b>  | <b>70</b>  |
| 2.1 Zur Diskrepanz der konzeptionellen Vollständigkeit  | 72         |
| 2.2 Zur Diskrepanz der personellen und arbeitstechnischen Anforderungen   | 85         |
| 2.3 Vermeidbare und nichtvermeidbare Mängel bei TA-Analysen   | 92         |
| <b>IV. Durchführung einer TA zur Solarenergienutzung in der Bundesrepublik und methodenkritische Begleitforschung</b> | <b>97</b>  |
| <b>1. Methodisches Vorgehen</b>   | <b>99</b>  |
| <b>2. Wichtige Rahmenbedingungen und Annahmen für das Umfeld (Szenarien)</b>  | <b>101</b> |
| 2.1 Weltweite Rahmenbedingungen - Präsznarien   | 105        |
| 2.1.1 Entwicklung der Weltbevölkerung   | 105        |
| 2.1.2 Wirtschaftsentwicklung  | 106        |
| 2.1.3 Primärenergiebedarf und -struktur   | 107        |
| 2.1.4 Primärenergieangebot (Mengen und Preise)  | 110        |
| 2.1.5 Politische Einflüsse im internationalen Bereich   | 115        |
| 2.2 Status quo-Entwicklung  | 117        |
| 2.2.1 Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung in der Bundesrepublik Deutschland                                      | 118        |
| 2.2.2 Energiepreisentwicklung für Haushalte und Kleinverbrauch  | 121        |
| 2.2.3 Energiebedarfsschätzung für Haushalte, Kleinverbrauch und Verarbeitendes Gewerbe                                | 123        |
| 2.2.4 Zur Entwicklung der Elektrizitätswirtschaft   | 130        |
| 2.3 Szenarien-Varianten 'Solar hoch' und 'Solar niedrig'  | 132        |
| 2.3.1 Entwicklung im internationalen Bereich  | 133        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 2.3.2     | Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung   | 133        |
| 2.3.3     | Energie- und umweltrechtliche Entwicklungen  | 138        |
| 2.3.3.1   | 'Solar hoch'-Szenarium   | 138        |
| 2.3.3.2   | 'Solar niedrig'-Szenarium  | 141        |
| 2.3.4     | Energiepreisentwicklung für Haushalte und Kleinverbrauch   | 142        |
| 2.3.5     | Energiebedarf der Haushalte, Kleinverbraucher und des Verarbeitenden Gewerbes  | 145        |
| 2.3.6     | Zur Entwicklung der Elektrizitätswirtschaft  | 149        |
| <b>3.</b> | <b>Die drei Solartechniken - Stand der Technik und ihre mögliche Entwicklungen in der Bundesrepublik Deutschland (Status quo-Projektion)</b> | <b>151</b> |
| 3.1       | Thermische Solarkollektoren  | 151        |
| 3.1.1     | Heutige Solarsysteme zur Warmwasserbereitung und Heizung   | 151        |
| 3.1.1.1   | Systemkomponenten  | 151        |
| 3.1.1.2   | Systeme zur Erwärmung von Schwimmbädern  | 155        |
| 3.1.1.3   | Anlagen zur Brauchwasserbereitung  | 156        |
| 3.1.1.4   | Anlagen zur Raumheizung  | 157        |
| 3.1.1.5   | Wärmepumpen-Systeme  | 157        |
| 3.1.2     | Technische Entwicklungsmöglichkeiten   | 158        |
| 3.1.3     | Marktdurchdringung unter den Bedingungen des Status quo-Szenariums   | 162        |
| 3.2       | Photovoltaische dezentrale Systeme   | 171        |
| 3.2.1     | Stand der Technik  | 171        |
| 3.2.2     | Technische Entwicklungsmöglichkeiten und Kostenreduktion   | 171        |
| 3.2.3     | Marktdurchdringung unter den Bedingungen des Status quo-Szenariums   | 175        |
| 3.3       | Solar-Satelliten-Systeme   | 180        |
| 3.3.1     | Technische Entwürfe  | 181        |
| 3.3.2     | Anwendbarkeit von Solar-Satelliten in der Bundesrepublik Deutschland   | 192        |
| 3.3.2.1   | System- und Standortauswahl  | 192        |
| 3.3.2.2   | Ökonomische Aspekte  | 198        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>4. Abschätzung der Auswirkungen der drei Solartechniken für das Status quo-Szenarium</b> | <b>204</b> |
| 4.1 Energietechnische und -wirtschaftliche Auswirkungen                                     | 205        |
| 4.1.1 Auswirkungen auf die Elektrizitätswirtschaft  | 206        |
| 4.1.2 Auswirkungen auf den Endenergie- und Primärenergiebedarf 2000 und 2030                | 221        |
| 4.2 Ökonomische Auswirkungen  | 229        |
| 4.2.1 Zur Methode   | 229        |
| 4.2.2 Auswirkungen auf Arbeitsplätze, Einkommen und Importe                                 | 237        |
| 4.3 Umweltauswirkungen  | 243        |
| 4.3.1 Veränderung der Luftemissionen  | 243        |
| 4.3.1.1 Vermiedene Luftemissionen durch die solarthermischen Anwendungen, 2000 und 2030     | 250        |
| 4.3.1.2 Vermiedene Luftemissionen durch dezentrale PV-Anwendung 2000 und 2030               | 252        |
| 4.3.1.3 Vermiedene und zusätzliche Luftemissionen durch zwei Solar-Satelliten in 2030       | 254        |
| 4.3.2 Nettobilanzen bei Produktionsrückständen und Abfallentsorgung                         | 256        |
| 4.3.3 Auswirkungen auf Vegetation und Tierwelt  | 259        |
| 4.4 Auswirkungen auf die Arbeitssicherheit  | 267        |
| 4.4.1 Erklärung der Methode   | 268        |
| 4.4.2 Unfallrisiken der konventionellen Energieträger                                       | 269        |
| 4.4.2.1 Kohle   | 269        |
| 4.4.2.2 Erdöl und Heizöl  | 273        |
| 4.4.2.3 Erdgas  | 277        |
| 4.4.2.4 Elektrizität  | 278        |
| 4.4.3 Unfallrisiken der Solarenergie  | 283        |
| 4.4.3.1 Thermische Solarkollektoren   | 284        |
| 4.4.3.2 Dezentrale Photovoltaik   | 284        |
| 4.4.3.3 Solar-Satelliten  | 288        |
| 4.4.4 Zusammenfassende Bewertung der Unfallrisiken  | 289        |
| 4.5 Auswirkungen auf Gesellschaft und Individuum  | 293        |
| 4.5.1 Dezentrale Anwendungen: thermische Solarenergie-nutzung und Photovoltaiksysteme       | 298        |
| 4.5.2 Solar-Satelliten  | 300        |

|  |            |
|--|------------|
| 4.6 Auswirkungen auf inländisches und internationales Recht  | 303        |
| 4.6.1 Auswirkungen auf inländisches Recht  | 303        |
| 4.6.2 Internationales und Weltraum-Recht   | 306        |
| 4.7 Militärische Auswirkungen  | 310        |
| <b>5. Realisierungsbedingungen und notwendige Maßnahmen</b>  | <b>315</b> |
| 5.1 Hemmnisse und Rahmenbedingungen der dezentralen Solartechniken                                     | 316        |
| 5.1.1 Generelle Hemmnisse  | 317        |
| 5.1.2 Solarspezifische Hemmnisse   | 327        |
| 5.2 Maßnahmen für beide dezentrale Solartechniken  | 328        |
| 5.2.1 Beratung, Information und Fortbildung  | 329        |
| 5.2.2 Finanzielle Anreize durch Staat, Verwaltung und Versorgungsunternehmen                           | 330        |
| 5.2.3 Standards und Verordnungen sowie Veränderungen rechtlicher Regelungen                            | 333        |
| 5.2.4 Veränderungen der Tarifstrukturen für Strom, Gas und Fernwärme                                   | 334        |
| 5.2.5 Verbesserung der stromwirtschaftlichen Zusammenarbeit  | 335        |
| 5.3 Spezifische Fördermaßnahmen  | 336        |
| 5.3.1 Forschung und Entwicklung für thermische Kollektoranlagen  | 336        |
| 5.3.2 Forschung und Entwicklung für PV-Anlagen   | 339        |
| <b>V. Fazit aus der methodenkritischen Begleitforschung</b>  | <b>342</b> |
| 1. Hintergründe zur Diskrepanz TA-Konzeption und TA-Praxis   | 343        |
| 1.1 Zu den trivialen Einflüssen und zugleich notwendigen Erfolgsbedingungen                            | 343        |
| 1.2 Aktueller Stand der Kenntnisse und Methoden als Grenze heutiger Analyse- und Prognosemöglichkeiten | 352        |
| 1.3 Prinzipielle Grenzen einer TA  | 354        |
| 1.4 Personale und institutionelle Grenzen  | 355        |
| 2. Die Wechselwirkungen der vorliegenden Arbeit mit anderen Untersuchungen des Projektteams            | 357        |
| <b>VI. Literatur</b>   | <b>360</b> |