

Herbert Niederhausen

Was übrig bleibt

Der verlustreiche Weg des Stroms zum Verbraucher

Eine thematische Führung

Rhombos

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie.
Detaillierte bibliografische Daten sind im Internet abrufbar: <http://dnb.d-nb.de>

Abbildungsnachweis:

Titelabbildung: Entwurf: Niederhausen / Grafik: Kaiser

Abbildungen im Buch: Kaiser

© 2017 RHOMBOS-VERLAG, Berlin

ISBN: 978-3-944101-44-6

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, verboten. Kein Teil dieses Werkes darf außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedem benutzt werden dürfen. Eine Haftung für die Richtigkeit der veröffentlichten Informationen kann trotz sorgfältiger Prüfung von Autor und Verlag nicht übernommen werden.

Druck: PRINT GROUP Sp. z o.o.

Printed in Poland

In der Reihe "Pro und Contra" werden Forschungsarbeiten, wissenschaftliche Veröffentlichungen und – auch konträre – Standpunkte zu aktuellen Themen aus Forschung und Politik publiziert und zur Diskussion gestellt. Die einzelnen Veröffentlichungen in dieser Reihe stehen für sich und geben die Standpunkte und Argumente der einzelnen Autoren wieder. Die Veröffentlichungen sollen die Diskussion anregen, zu einem Erkenntnisgewinn beitragen und eine Hilfestellung bei Entscheidungen bieten.

INHALT

| | | |
|---|---|-----------|
| 1 | VORWORT | 7 |
| Dank | 9 | |
| TEIL I | | 11 |
| Windenergieanlagenbetrieb – Was übrig bleibt vom politisch geleiteten unvernünftigen Interesse | | 11 |
| 1 | Windenergieanlagenbetrieb in Deutschland | 13 |
| 1.1 | Subventionierung und Förderung | 18 |
| 1.1.1 | Kernenergie | 18 |
| 1.1.2 | Windenergie 1** | 19 |
| 1.1.3 | Windenergie 2*** | 19 |
| 1.1.4 | Photovoltaik**** | 19 |
| 1.1.5 | Alle EEG-Anlagen***** | 20 |
| 1.1.6 | Höhe der jährlichen Subventionierung bzw. Förderung | 20 |
| 1.1.7 | Zur angeblichen Kohlesubventionierung | 20 |
| 1.2 | Ressourcen, Energien, Emissionen..... | 21 |
| 1.2.1 | Komponenten und Massen einer Windenergieanlage | 22 |
| 1.2.2 | Bewehrung für ein WEA-Fundament | 23 |
| 1.2.3 | Die WEA-Turmkopfmasse im Vergleich | 24 |
| 1.2.4 | Die WEA-Gesamtmasse im Vergleich | 25 |
| 1.2.5 | Leistungsspezifische Masse (kg/kW) und massespezifische Leistung (kW/kg) von Antrieben, Kraftwerken, Anlagen im Vergleich | 26 |
| 2 | Aufwand vs. Nutzen | 28 |
| 2.1 | Fakten, statt politisch korrekte Täuschung | 28 |
| 2.2 | Beispiel-WEA: Ressourcen und Emissionen..... | 29 |
| 2.3 | Die Energie-Gesamtbilanz für eine 7,5-MW-WEA: | 30 |
| 2.4 | Der Erntefaktor EF | 31 |
| 2.5 | Energetische Amortisationszeit t_A | 31 |
| 2.6 | Die energetische Autarkie $E_{Aut.}$ | 31 |
| 2.7 | CO ₂ -Emissionen als Folge der monetären Investition..... | 32 |
| 2.7.1 | CO ₂ -Analogien | 33 |
| 2.8 | Masse aller WEA' im Vergleich..... | 34 |
| 2.9 | Die Effizienz der WEA' | 34 |
| 3 | Von potenzieller zur elektrischen Energie | 35 |
| 4 | Strom | 36 |
| 4.1 | Grundlaststrom..... | 36 |

| | | |
|----------------|---|-----------|
| 4.2 | „Atom- und Kohleausstieg“ | 36 |
| 4.2.1 | Die Folgen | 37 |
| 4.3 | Engpassmanagement / Redispatch | 37 |
| 5 | Photovoltaik | 40 |
| 5.1 | PV-Strom aus dem erdnahen Orbit | 41 |
| 6 | „Atomausstieg“ und „Energiewende“ | 43 |
| 7 | CO ₂ -Emissionen | 46 |
| 7.1 | Was bleibt | 46 |
| 8 | Das Zwei-Zonen-Land | 47 |
| 8.1 | Was helfen würde | 49 |
| | 8.1.1 Neues zum Stromtransport | 50 |
| 9 | „Extrablatt“ | 51 |
| 10 | Was übrig bleibt | 52 |
| | 10.1 „Grüne“ Kernenergie | 52 |
| TEIL II | | 55 |
| | POWER TO GAS UND POWER TO GAS TO POWER – WAS ÜBRIG BLEIBT | 55 |
| 1 | Strom zu Wasserstoff (H ₂) | 57 |
| 1.1 | Gaserzeugung durch Strom – Alternativen, die keine sind | 58 |
| 2 | Die Wasserelektrolyse | 60 |
| 2.1 | Der Wasser-Elektrolyseur | 60 |
| 2.2 | Die Enthalpie H | 63 |
| | 2.2.1 Die Bildungsenthalpie ΔH | 63 |
| 2.3 | Das Mol | 64 |
| | 2.3.1 Das Molvolumen | 64 |
| 2.4 | Die relative Atommasse, die molare Masse | 64 |
| 2.5 | Die stöchiometrische Zahl | 65 |
| 2.6 | Die Mengenberechnung | 66 |
| 2.7 | Nutzen und Aufwand | 67 |
| | 2.7.1 Elektrolyse und Elektrolyseure | 67 |
| | 2.7.2 Alkalische Elektrolyse | 68 |
| | 2.7.3 PEM-Elektrolyse | 69 |
| | 2.7.4 Hochtemperatur-Elektrolyse | 70 |
| 2.8 | Strom zu Wasserstoff (H ₂) | 72 |
| 3 | H ₂ -Transport und -Speicherung | 73 |
| 3.1 | Transport- und Speicherinfrastruktur | 73 |
| | 3.1.1 H ₂ -Transport | 73 |
| | 3.1.2 H ₂ -Speicherung | 74 |
| | 3.1.3 H ₂ -Speicherarten | 74 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 3.1.4 | Tankformen und -volumina für mobile H ₂ -Speicher | 74 |
| 3.2 | Wasserstoff-Einspeisung ins Erdgasnetz | 76 |
| 3.3 | Wasserstoffverflüssigung | 77 |
| 4 | Rückverstromung von Wasserstoff (H ₂) | 78 |
| 4.1 | Rückverstromung mittels Kraftwerken | 78 |
| 4.2 | Rückverstromung mittels Brennstoffzelle | 79 |
| 4.2.1 | Die PEM-Brennstoffzelle | 81 |
| 5 | Die katalytische Methanisierung von Wasserstoff | 83 |
| 5.1 | Die vollständige Verbrennung von Methan (CH ₄):..... | 85 |
| 5.2 | Ein grünes Paradoxon..... | 85 |
| 5.2.1 | Zu schlechter Letzt: | 87 |
| 5.3 | Paradoxon ^{Plus} | 87 |
| 6 | Rückverstromung von Methan (CH ₄) | 90 |
| 7 | Implementierungsmöglichkeiten von Power to Gas bzw. power to gas to power | 92 |
| 7.1 | Power to Gas to Power zur Bereitstellung von elektrischer Regelleistung | 92 |
| 7.2 | Wasserstoffgestehungskosten | 92 |
| 7.2.1 | Markt-Preise für Flüssigwasserstoff (LH ₂) | 93 |
| 7.3 | Power to Gas und Power to Gas to Power für das Lastmanagement | 94 |
| 7.4 | Power to Gas und Power to Gas to Power im Bilanzkreis der „Erneuerbaren“ | 94 |
| 8 | EEG-Umlage, Stromsteuer, Netznutzungsentgelte, Wasserkosten | 96 |
| 8.1 | EEG-Umlage | 96 |
| 8.2 | Stromsteuer | 96 |
| 8.3 | Netznutzungsentgelte | 96 |
| 8.4 | Wasserpreis..... | 96 |
| 9 | Wasserstoff und Mobilität | 97 |
| 9.1 | Historie und Gegenwart | 97 |
| 9.1.1 | Kraftfahrzeugbetrieb | 97 |
| 9.1.2 | Energienutzung, Fahrstrecke und -preis im Vergleich | 98 |
| 9.2 | <i>Der ökologische „Pferdefuß“</i> | 99 |
| 10 | Was übrig bleibt | 109 |
| 11 | Die letzte Seite | 111 |
| 11.1 | Bäume, CO ₂ -Umwandler und -speicher | 111 |
| 11.2 | Fakten statt erneuerbare Emotionen | 112 |
| 11.3 | Die Quintessenz | 113 |
| 12 | Nachwort | 114 |
| Anhang A | | 115 |
| A1 | Physikalische Größen | 116 |

| | | |
|------|---|-----|
| A2 | Zehnerpotenzen und Vorsatzsilben | 117 |
| A3 | Griechisches Alphabet | 118 |
| A4 | Rechenzeichen..... | 119 |
| A4.1 | Reaktionsrichtung..... | 119 |
| A5 | Windleistung (P_W) _{max.} und Rotorleistung (P_R) _{theor.} bzw. Betriebsleistung (P_B) _{real} einer 2,3-MW-WEA..... | 120 |
| A5.1 | Windgeschwindigkeit, Windstärke | 121 |
| A5.2 | Windhöufigkeit auf der Britischen Insel..... | 122 |
| | A5.2.1 WEA-Daten für die Britische Insel (31.12.2015) | 123 |
| A5.3 | <i>WEA-Daten für das windreiche Norwegen (2015)</i> | 123 |
| A6 | Wind Onshore | 124 |
| A7 | Wind Offshore | 125 |
| A8 | Alkalische Elektrolyse | 126 |
| A9 | PEM-Elektrolyse..... | 127 |
| A10 | Hochtemperatur-Elektrolyse (SOEC)..... | 127 |
| A11 | Wasserstofftransport | 128 |
| A12 | Flüssiger Wasserstoff (LH ₂) | 129 |
| A13 | Flüssiggasspeicherung (LNG) | 130 |
| A14 | Erdgasnetz und Wasserstoffeinspeisung | 131 |
| A15 | Katalytische Methanisierung | 132 |
| A16 | CO ₂ -Quellen | 133 |
| A17 | Verwendetes Schrifttum | 134 |
| A18 | Sachwörter und Personenverzeichnis | 136 |
| A20 | Abbildungen..... | 142 |
| A21 | Tabellen..... | 144 |
| A21 | Tabellen..... | 144 |
| A22 | Geschätzte Gesamtkosten [für den Sektor Stromerzeugung]..... | 146 |