

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 jedermann 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
	<b>TEIL I</b>	<b>11</b>
	<b>Windenergieanlagenbetrieb – Was übrig bleibt vom politisch geleiteten unvernünftigen Interesse</b>	<b>11</b>
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 <sub>2</sub> -Emissionen als Folge der monetären Investition.....	32
2.7.1	CO <sub>2</sub> -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 <sub>2</sub> -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
<b>TEIL II</b> .....		<b>55</b>
POWER TO GAS UND POWER TO GAS TO POWER – WAS ÜBRIG BLEIBT.....		55
1	Strom zu Wasserstoff (H <sub>2</sub> ).....	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 $\Delta H$ .....	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 Mengenermittlung.....	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 <sub>2</sub> ) .....	72
3	H <sub>2</sub> -Transport und -Speicherung.....	73
3.1	Transport- und Speicherinfrastruktur .....	73
3.1.1	H <sub>2</sub> -Transport.....	73
3.1.2	H <sub>2</sub> -Speicherung.....	74
3.1.3	H <sub>2</sub> -Speicherarten.....	74

3.1.4	Tankformen und -volumina für mobile H <sub>2</sub> -Speicher	74
3.2	Wasserstoff-Einspeisung ins Erdgasnetz .....	76
3.3	Wasserstoffverflüssigung .....	77
4	Rückverstromung von Wasserstoff (H <sub>2</sub> )	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 <sub>4</sub> ):.....	85
5.2	Ein grünes Paradoxon.....	85
5.2.1	Zu schlechter Letzt:	87
5.3	Paradoxon <sup>Plus</sup> .....	87
6	Rückverstromung von Methan (CH <sub>4</sub> )	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 <sub>2</sub> )	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 <sub>2</sub> -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 ( $P_W$ ) <sub>max</sub> und Rotorleistung ( $P_R$ ) <sub>theor</sub> bzw. Betriebsleistung ( $P_B$ ) <sub>real</sub> einer 2,3-MW-WEA.....	120
A5.1	Windgeschwindigkeit, Windstärke .....	121
A5.2	Windhöffigkeit 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 <sub>2</sub> ) .....	129
A13	Flüssiggasspeicherung (LNG) .....	130
A14	Erdgasnetz und Wasserstoffeinspeisung .....	131
A15	Katalytische Methanisierung .....	132
A16	CO <sub>2</sub> -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