

L. Jarass | G. M. Obermair

# Welchen **Netzumbau** erfordert die **Energiewende?**



mit **Netzentwicklungsplan 2012**



MV-Verlag, Münster, 2012  
280 S., 21 €  
ISBN 978-3-86991-641-5

# Welchen Netzbau erfordert die Energiewende?

unter Berücksichtigung des Netzentwicklungsplans 2012

Energiewende – eine Einführung.....	15
Teil I : Änderung der Stromversorgung durch die Energiewende .....	21
1 Struktur und Entwicklung der Stromversorgung.....	22
2 Erneuerbare Energieträger: räumliche und zeitliche Verteilung des Angebots .....	42
Teil II : Grundlagen des Netzbaus .....	58
3 Zuverlässige Stromversorgung bei hohen Anteilen stark fluktuierender erneuerbarer Erzeugung.....	59
4 Repowering bestehender Leitungen .....	95
5 Leitungsneubau durch Erdkabel statt Freileitung .....	117
Teil III : Optimierung des Netzbaus .....	138
6 Netzbau: nicht zu viel und nicht zu wenig.....	140
7 Maßnahmen zur Optimierung des Netzbaus.....	163
Teil IV : Realisierung des Netzbaus.....	196
8 Maßnahmen zur Erhöhung der Akzeptanz des Netzbaus.....	197
9 Überschätzung des Übertragungsbedarfs führt zu falschen gesetzlichen Vorgaben .....	218
10 Netzentwicklungsplan 2012.....	237

## Stichwortverzeichnis

110kV-Anschluss		Dena-Netzstudie-I.....	218
Onshore-Windpark .....	157	Dena-Netzstudie-II.....	219
Abhängigkeit von Energieimporten .....	24	Destabilisierung des Netzes	
Abregelung		Einspeisung konventionelle	
konventionelle Kraftwerke .....	167	Kraftwerke .....	246
ACCR-Technologie.....	101	internationaler Stromhandel .....	246
Akzeptanz		Deutsche Gleichstrom-	
Netzbau.....	197	Netzgesellschaft.....	192
Ausfalldauer		Drehstrom.....	62
Erdkabel .....	127	Netz, Optimierung .....	113
Freileitung .....	127	parallele Leitung.....	187
Ausgleich		Technik.....	135
Energie.....	57	Druckluftspeicher.....	83, 92
Maßnahmen .....	80	Effizienter Netzausbau	
Auslastungsmonitoring.....	99	Bundesnetzagentur .....	141, 244
Batterie .....	83	Ekman-Spirale .....	46
Kapazität Toyota Prius .....	87	Elektrizitätsversorgung .....	67
Speicher .....	92	Elektromobilität .....	87, 185
Beeinträchtigung		Energie .....	60
Privateigentum .....	217	Angebotschwankung .....	76
Beschränkung		elektrische .....	47
Einspeisung.....	164	kinetische .....	47
Einspeisungsspitzen.....	153	Versorgung, nachhaltige	
Betz .....	43	Entwicklung.....	24
Biogas.....	57	Energiedienstleistung .....	163
Biomasse .....	42	Energieeffizienz .....	163
Kraftwerk .....	138	Energieerzeugung	
Bodenrauigkeit.....	46	Schwankungen.....	76
Braunkohlekraftwerk .....	84	Energieleitungsausbaugesetz.....	222, 225
Bundesbedarfsplan .....	231	Leitungsvorhaben Stand .....	230
Bundesfachplanung		Novelle .....	230
Planfeststellung.....	234	Pilotprojekte Erdkabel .....	229
Raumordnung .....	234	Energiepreise	
Bundesnetzagentur		Anstieg .....	36
Abregelung von Kraftwerken .....	168	Deutschland .....	40
effizienter Netzausbau.....	141, 244	OECD.....	38
Bürgerbeteiligung.....	205	EnLAG-Pilotvorhaben .....	211
Chaostheorie .....	46	Entschädigung	
Conneforde .....	212	betroffene Kommunen.....	216
Corioliskraft.....	45	Entwicklungspfade	
Dauer-Leistung-Kurve		Stromerzeugung.....	24
Erzeugung.....	150	Erdkabel .....	67
Windenergie .....	79	110 kV .....	119, 132
		380kV-Referenzprojekte.....	121

Ausfalldauer.....	127	Fehlerrate .....	124
Eignung .....	208	Investitionskosten .....	130
Einsatzmöglichkeiten .....	117	Investitionskosten 380 kV .....	135
Fehlerrate .....	124	Freileitungsmonitoring	
Ganderkesee .....	213	sicherheitstechnische und	
gesetzliche Vorgaben für 110 kV .....	209	wirtschaftliche Vorteile .....	97
GIL-Technik .....	120	Fukushima .....	23
Gleichstrom .....	123	Ganderkesee	
Grenzstrom .....	118	Erdkabel .....	213
Höchstspannung .....	120	Gas aus erneuerbaren Energien .....	57
Investitionskosten .....	130	GIL-Technik .....	120
Mittel- und Hochspannung .....	118	Gleichstrom .....	61
Niederspannung .....	118	Erdkabel .....	135
St.Hülfe .....	213	Trassenkorridor .....	241
Überspannungsschutz .....	119	Goldisthal .....	72, 91
Umlegung der Mehrkosten .....	213	Pumpspeicherkraftwerk .....	35
Umweltverträglichkeit.....	131	Grenzkosten	
Erdrotation.....	44	Kurve .....	146
Erdwärme.....	80	Netzumbau .....	145, 150
Erneuerbare Energien		Grenznutzen	
installierte Leistung .....	26	Kurve .....	146
Investitionen .....	25	Kurve, Bestimmung .....	148
Stromerzeugung .....	29	Netzumbau .....	144, 148
Erzeugungsmanagement .....	81, 82	Windenergie .....	148
Erzeugungsspitzen		Grundlastkraftwerke .....	27
dynamische Begrenzung .....	153	Halbleitertechnik.....	54
EU-Kommission		Heißstart	
Beschleunigung des Einsatzes von		thermisches Kraftwerk .....	85
Erdkabeln .....	132	HGÜ	
EU-Leitlinien.....	223	Investitionskosten .....	135
Europarecht		Overlaynetz .....	190
Netzumbau .....	222	Trassenkorridor .....	241
Fehlerrate		Hochspannungsnetz .....	65
Erdkabel .....	124	Höchstlast .....	86
Freileitung.....	124	Höchstspannung-Gleichstrom-	
Fernleitungen .....	157	Übertragung (HGÜ) .....	122
Optimierung .....	160	Höchstspannungsnetz.....	65, 68
Fernübertragung		Hochtemperaturleiterseile	
Kosten .....	152	Betriebstemperatur .....	100
Fixkosten		Potenzial .....	104
Kraftwerke .....	33	Importausgaben für fossile	
Flauten .....	42	Energieträger .....	26
Flexibilität		Infrastrukturplanungsbeschleunigungs	
Kraftwerke .....	83	gesetz .....	222
Fluktuation		Intergovernmental Panel on Climate	
Photovoltaik .....	55	Change (IPCC) .....	17
Windenergieerzeugung.....	51	Internationaler Stromhandel.....	201
Fossile Energieträger		Destabilisierung des Netzes .....	246
Probleme .....	18	Investitionskosten	
Freileitung .....	67	380kV-Freileitung .....	135
Ausfalldauer.....	127		

380kV-Teilverkabelung.....	135	Leiteseil	
Erdkabel .....	130	Betriebstemperatur.....	100
Freileitung .....	130	Leiteseiltemperaturmonitoring .....	96
HGÜ-Vollverkabelung.....	135	Echtzeitmessung .....	98
Jahresenergieertrag.....	43	Leistungsverluste .....	106
Kaltstart		Potenzial .....	104
thermisches Kraftwerk.....	85	sicherheitstechnische und	
Kapazität.....	117	wirtschaftliche Vorteile .....	97
Kernkraftwerk.....	84	Leitungsneubau	
Austieg .....	178	für erneuerbare Energien .....	198
Klima		für konventionelle Kraftwerke .....	198
Modell.....	45, 46	Lichtquanten .....	54
Problem, Lösungsvorschläge .....	17	Luftspeicher-Gasturbine .....	91
Klimawandel .....	16	Luftströmung.....	43, 45
Kohlendioxid-Emissionen		Magnetfeld .....	62
Halbierung.....	17	Methan.....	92
Kompensationsmöglichkeiten .....	216	Micca .....	98
Kondensationsstromanteil.....	29	Mindesteinspeisevergütung .....	150
Kondensator .....	118	Mittellast .....	83
Konventionelle Kraftwerke		Mittelspannungsnetz.....	65
in Bau .....	173	Moratorium	
in Planung .....	174	Kernkraftwerke .....	23
installierte Leistung.....	26	Nachfragesteuerung .....	86
Investitionen .....	25	Namibia .....	123
Stromerzeugung.....	29	Nationaler Aktionsplan für	
Kosten		erneuerbare Energien .....	22
Erdkabel .....	130	Nettoertrag	
Freileitung .....	130	Netzbau.....	145
Netzanschluss.....	151	Netzanschluss	
Netzbau.....	246	Kosten .....	151, 152
Überwälzung .....	214	Offshore-Windpark.....	157, 159
Kraftwerk		Netzausbau	
Änderung.....	25	Beschleunigungsgesetz .....	222, 231
Arten.....	84	europaweit.....	195
Flexibilität .....	84	Grad .....	147
Mittellast .....	83	Richtwerte .....	153
Reserven .....	82	wirtschaftliche Zumutbarkeit.....	140
Spitzenlast.....	83	Netzengpässe	
Küstenregionen.....	42	Auslastungsmodell der	
Landschaft		Übertragungsnetzbetreiber .....	220
Beeinträchtigung .....	132	Beschränkung der Einspeisung.....	164
Schutz .....	75	Netzentwicklungsplan .....	231, 237
Lastflussanalysen .....	206	Fazit .....	6, 250
Lastmanagement .....	81, 86	Fehleinschätzungen .....	244
Laufzeitverlängerung für		Konsultationsverfahren.....	237
Kernkraftwerke .....	25	Leitszenario.....	239
Leistung .....	60	methodische Fehler.....	244
Angebot Windenergie.....	43	Netzstabilität.....	188
Preis .....	176	Startnetz.....	241
zumutbare Einspeisebeschränkung 153		Netzoptimierung.....	106, 245

Kosten des Netzbauaus .....	246	installierte Leistung .....	28
Leitenseiltemperaturmonitoring .....		Solar-Tracker .....	55
..... 58, 95, 248		Photozelle .....	53
Leitungsmonitoring .....	95	Prognosefehler .....	93
Unklarheiten .....	181	Pumpspeicherkraftwerk .....	34, 90
Netzstabilität		Fallhöhe .....	35
dynamisch .....	111	Goldisthal .....	35
Frequenz .....	81	Planungen .....	183
HGÜ-Leitung .....	188	Regelbarkeit .....	83
Regelverbund .....	68	Quantenmechanik .....	54
Verbesserung .....	249	Rechtsvorschriften Stromnetze .....	223
Netzbau .....	81	Regel- und Reserveenergie .....	57
Akzeptanz .....	197	Elektromobilität .....	89
Bestimmung des		Hybrid-Autos .....	89
volkswirtschaftlichen Optimums ..	147	Regelzone .....	68
Europarecht .....	222	Regionenmodell	
Grenzkosten .....	145, 150	Übertragungsnetzbetreiber .....	220
Grenznutzen .....	144, 148	Reserve	
Kosten .....	246	Energie .....	57, 94
Nettoertrag .....	145	Kraftwerk .....	83, 171
Optimierung .....	154	Rohölpreis .....	37
soziale Kosten .....	152	Rotierendes Bezugssystem .....	44
Transparenz .....	204	Rotorfläche .....	47
Übertragungsnetzbetreiber .....	166	Sachverständigenrat für	
volkswirtschaftliche Kosten .....	152	Umweltfragen .....	23
Netzverstärkung .....	95, 106	Schmetterlingeffekt .....	46
Hochtemperaturleiterseile .....	58, 248	Schnellabschaltung .....	23
Kostenvergleich .....	107	Schwankungen	
Unklarheiten .....	181	Ausgleich .....	94
Neubau von Leitungen .....	108	erneuerbare Energien .....	42
Niedersächsisches Erdkabelgesetz .....	222	kurzfristig .....	94
Niederspannungsnetz .....	65	langfristig .....	94
Notkühlaggregate .....	23	mittelfristig .....	94
Offshore		sehr langfristig .....	94
Supergrid .....	194	Seekabel	
Windenergie .....	80	Gleichstrom .....	123
Offshore-Windpark		Solarthermische Kraftwerke .....	52
Netzanschluss .....	157, 159	Sonnenenergie .....	52
Öl- und Gaskraftwerke .....	83	Kollektoren .....	52
Onshore-Windpark .....	80	Soziale Kosten	
110-kV-Anschluss .....	157	Netzbau .....	152
Optimierung des 110kV-		Spannung .....	60
Anschlusses .....	158	Einspeisungsebenen Windenergie ..	74
Overlaynetz .....	186	Speicher .....	81, 90, 182
Bahntrassen .....	191	Kurzzeit .....	90
Fernstraßen .....	191	Langzeit .....	92
HGÜ .....	187, 190	Skandinavien, Alpen .....	184
Permanentmagnet .....	62	zukünftige Technologien .....	185
Photoelektrischer Effekt .....	53	St.Hilfe	
Photovoltaik .....	53, 80, 138	Erdkabel .....	213
Effizienz .....	55		

Stand der Technik	
Hochtemperaturleiterseile .....	101
Leiterseiltemperaturmonitoring .....	99
Strom	
Speicher .....	182
Stärke .....	59
Umstellung auf erneuerbare Energien .....	22
Verlust bei Übertragung .....	64
Stromerzeugung .....	29, 167
erneuerbare Energien .....	29
konventionelle Kraftwerke .....	29
Kosten der erneuerbaren Energien ...	41
Kosten der konventionellen Kraftwerke .....	41
Stromnachfrage .....	167
Jahresgang .....	77
maximal .....	79
minimal .....	79
Schwankungen .....	76
Tagesgang .....	77
Wochengang .....	77
Strompreise	
Deutschland .....	40
negativ .....	168
OECD .....	39
System-Grenzleistung .....	111
Szenariorahmen .....	231
Teilverkabelung .....	67
Investitionskosten 380 kV .....	135
Temperaturmonitoring .....	96
380kV-Leitungen .....	98, 111
Temperaturschichtung .....	46
Thermische Grenzleistung .....	109
Thermisches Kraftwerk	
An- und Abfahrvorgänge .....	85
Kaltstart .....	85
Warmstart .....	85
Tiefdruckgebiet .....	45
Topografie des Standorts .....	46
Transformator .....	64
Treibhausgase	
Reduzierung .....	19
Überinvestitionen .....	153
Übertragungsleistung .....	65
Erdkabel .....	123
Erhöhung .....	95, 108, 140
Übertragungsnetzbetreiber	
Europa .....	224
UCTE-Verbundnetz .....	194
Umformer .....	122
Umrichterverluste .....	122
Verbrauchsvorrang	
für erneuerbare Energien .....	200
Verbundnetz .....	68
Regelzonen .....	68
Verbundsystem .....	77
Verkabelung .....	117, 207
Verlust	
Stromübertragung .....	64
Vernetzung .....	67
Versorgungssicherheit .....	70
(n-1)-Kriterium .....	70
Abtransport von Windstrom .....	73
Anschluss von Windparks .....	75
Entsorgungsleitungen .....	73
Stichleitung .....	72
vermaschtes System .....	72
Verteilungsebene .....	118
Viktoria-Falls .....	123
Virtuelles Stromversorgungssystem ...	169
Volkswirtschaftliche Kosten	
Netzbau .....	152
Volllaststunden .....	32
erneuerbare Energieträger .....	33
Voltage Source Converter .....	191
VPE-Kabel .....	122
Warmstart	
thermisches Kraftwerk .....	85
Wasserkraftwerk .....	57, 80, 83, 138
Wasserstoff .....	92
Wechselspannung .....	64
Wechselstrom .....	61
Widerstand .....	64
Wilhelmshaven .....	212
Wind	
chaotische Strömung .....	44
Flauten großräumig .....	47
geostrophisch .....	45
Geschwindigkeit .....	43
Prognose .....	46
stationäre Strömung .....	44
Turbine .....	47
Windenergie .....	43, 138
Fluktuation .....	50
installierte Leistung .....	27
jährlich .....	48
Leistungsschwankungen .....	47
monatlich .....	49
Prognose .....	93

Schwankungen .....	76, 94	Windhoek .....	123
Schwankungen, Ausgleich.....	94	Wirkstrom .....	118
taglich .....	49	Wirtschaftliche Zumutbarkeit	
zu bevorzugende Standorte.....	46	Netzumbau .....	140, 141