



Anna und Lorenz JARASS

Integration von erneuerbarem Strom

Stromüberschüsse  Stromdefizite

Integration von erneuerbarem Strom

Stromüberschüsse  Stromdefizite

Übersicht	4
Inhaltsverzeichnis	7
Teil I : Stromverbrauch und Stromproduktion	12
1 Zukünftige Stromversorgung in Deutschland.....	13
2 Wachsende Stromüberschüsse und Stromdefizite	25
3 Ausgleich von Stromverbrauch und Stromproduktion	43
4 Reservekraftwerksbedarf gemäß Bundesnetzagentur	65
Teil II : Stromtransport.....	78
5 Stromnetz	79
6 Ausgleich von Stromtransportbedarf und zulässigem Stromtransport	93
7 Regionale Netzplanung	110
8 Überregionale Netzplanung: Netzentwicklungsplan 2025	120
Anhang.....	140
Fußnoten.....	156
Quellen	163

Inhaltsverzeichnis

Übersicht	4
Inhaltsverzeichnis	7
Teil I : Stromverbrauch und Stromproduktion	12
1 Zukünftige Stromversorgung in Deutschland.....	13
1.1 Grundlegender Umbau der Energieversorgung geplant.....	13
1.1.1 Energiepolitische Ziele der deutschen Bundesregierung	13
1.1.2 Geplanter Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion	14
1.2 Derzeitige und zukünftige Stromproduktion.....	15
1.2.1 Installierte Leistung und momentaner Stromverbrauch.....	15
1.2.2 Stromproduktion und Stromverbrauch	20
1.2.3 Auslastung einzelner Kraftwerksarten.....	22
2 Wachsende Stromüberschüsse und Stromdefizite	25
2.1 Starke Fluktuationen der erneuerbaren Stromproduktion.....	25
2.1.1 Stündliche Fluktuationen	25
2.1.2 Tägliche, wöchentliche und monatliche Fluktuationen	30
2.1.3 Extreme Fluktuationen	34
2.1.4 Prognosen nur für maximal einige Tage zuverlässig	36
2.2 Problemfälle Stromüberschuss und Stromdefizit.....	37
2.2.1 Stromverbrauch versus Stromproduktion.....	37
2.2.2 Tages- und Jahresgang des Stromverbrauchs	39
2.2.3 Entwicklung von Stromüberschuss und Stromdefizit	39
3 Ausgleich von Stromverbrauch und Stromproduktion	43
3.1 Anpassung der Stromproduktion	43
3.1.1 Konventionelle Reservekraftwerke dauerhaft erforderlich.....	43
3.1.2 Grundlastkraftwerke ungeeignet als Reservekraftwerke.....	45
3.1.3 Bau von Reservekraftwerken in Süddeutschland in jedem Fall sinnvoll	47
3.1.4 Ausgleich von Windstromschwankungen.....	48
3.2 Ausgleich durch Stromspeicher.....	49
3.2.1 Ausgleich durch Kurzzeitspeicher	50
(1) Pumpspeicher	50
(2) Batteriespeicher	54
3.2.2 Ausgleich durch Langzeitspeicher: Power to Gas.....	54

3.3 Ausgleich durch Stromhandel.....	55
3.3.1 Stromexport kann Stromüberschuss reduzieren.....	56
3.3.2 Stromimport kann niedrige erneuerbare Stromproduktion nicht ausgleichen	56
3.4 Anpassung des Stromverbrauchs.....	58
3.4.1 Nachfragemanagement.....	58
3.4.2 Nutzung von Stromüberschüssen zur Wärmeerzeugung: Power to Heat	59
3.4.3 Elektrofahrzeuge als abschaltbare Stromverbraucher	61
3.5 Weitere Maßnahmen	63
3.5.1 Dezentrale Stromversorgung	63
3.5.2 Virtuelles Stromversorgungssystem.....	63
4 Reservekraftwerksbedarf gemäß Bundesnetzagentur	65
4.1 Reservekraftwerke gemäß Bundesnetzagentur nur für Stromüberschuss erforderlich..	65
4.1.1 Tatsächlicher Einsatz von Redispatch und Reservekraftwerken im Winter 2014/15	66
4.1.2 Geplanter Einsatz von Redispatch und Reservekraftwerken bis Winter 2019/20.....	66
(1) Reservekraftwerke wegen Stromexport erforderlich	67
(2) Beschränkung des Stromexports reduziert erforderliche Reservekraftwerke deutlich	68
4.1.3 Stromverbrauch und Stromproduktion bei Stromüberschuss	69
4.1.4 Stromexport bei Stromüberschuss.....	70
4.2 Reservekraftwerke gemäß Bundesnetzagentur bei niedriger erneuerbarer Stromproduktion nicht erforderlich.....	71
4.2.1 Für niedrige erneuerbare Stromproduktion keine Reservekraftwerke erforderlich	72
4.2.2 Stromverbrauch und gesamte Stromproduktion bei niedriger erneuerbarer Stromproduktion	72
4.2.3 Stromimport bei niedriger erneuerbarer Stromproduktion.....	73
4.3 Stromüberschuss versus Stromdefizit	74
4.3.1 Warum sind Reservekraftwerke nicht für Stromdefizit erforderlich, sondern nur für Stromüberschuss?	74
4.3.2 Stromdefizit könnte langfristig zum Problemfall werden	75
(1) Defizitfall 1: Zu wenig Stromleitungen	76
(2) Defizitfall 2: Zu wenig Reservekraftwerke	76
4.3.3 Fazit	77
Teil II : Stromtransport.....	78
5 Stromnetz	79
5.1 Verbundnetz	79
5.1.1 Regelzone	79
5.1.2 Unterschiedliche Stromspannungen	81
5.2 Optimierung des Netzausbaus: Nicht zu viel und nicht zu wenig.....	82
5.2.1 Nutzen und Kosten eines Netzausbaus	82
5.2.2 Bestimmung des optimalen Netzausbaus.....	83
5.3 Optimierung des Netzausbaus durch kostenoptimierten Kraftwerkseinsatz	84
5.3.1 Niedrige Stromproduktionskosten können hohe Strompreise verursachen	84
5.3.2 Kostenoptimale Stromversorgung durch kostenoptimierten Netzausbau	84

5.4 Optimierung des Netzausbaus durch Spitzenkappung.....	85
5.4.1 Wie funktioniert Spitzenkappung?.....	85
5.4.2 Spitzenkappung bei konventionellen und bei erneuerbaren Kraftwerken erforderlich	86
(1) Spitzenkappung bei konventionellen Kraftwerken	87
(2) Spitzenkappung bei erneuerbaren Kraftwerken	87
5.4.3 Fallbeispiele für die optimale Spitzenkappung bei Windstrom	88
(1) Netzanschluss eines Onshore-Windparks mit 110-kV-Drehstromleitungen	89
(2) Netzanschluss eines Offshore-Windparks mit 320-kV-Gleichstromleitungen	90
(3) Ferntransport von Windstrom mit 380-kV-Drehstromleitungen	91
6 Ausgleich von Stromtransportbedarf und zulässigem Stromtransport	93
6.1 Reduzierung des Stromtransportbedarfs.....	94
6.1.1 Spitzenkappung.....	94
(1) Spitzenkappung bei erneuerbarem Strom	94
(2) Spitzenkappung bei konventionellem Strom	94
6.1.2 Stromspeicher	95
(1) Kurzfristige Stromspeicherung	95
(2) Langfristige Stromspeicherung	96
6.1.3 Nachfragemanagement.....	96
6.1.4 Dezentrale Stromversorgung	97
6.2 Erhöhung des zulässigen Stromtransports ohne Leitungsneubau	97
6.2.1 Leiterseiltemperaturmonitoring.....	98
(1) Wie funktioniert Leiterseiltemperaturmonitoring?	98
(2) Leiterseiltemperaturmonitoring erfordert Reservekraftwerke in Süddeutschland	99
(3) Leiterseiltemperaturmonitoring für Windstromtransport besonders interessant	100
6.2.2 Hochtemperaturleiterseile	100
(1) Gesicherte Erhöhung des zulässigen Stromtransports durch Hochtemperaturleiterseile	100
(2) Hochtemperaturleiterseile (bis 150°C) sind Stand der Technik	101
6.2.3 Großes Potenzial von Leiterseiltemperaturmonitoring und Hochtemperaturleiterseilen	101
(1) Deutliche Erhöhung des zulässigen Stromtransports	101
(2) Leiterseiltemperaturmonitoring und Hochtemperaturleiterseile deutlich kostengünstiger als Leitungsneubau	102
6.2.4 Technische Randbedingungen.....	102
(1) Thermische Grenzleistung	102
(2) Dynamische Netzstabilität	104
6.3 Erhöhung des zulässigen Stromtransports durch Leitungsneubau	105
6.3.1 Neubau von Freileitungen	105
6.3.2 Neubau von Erdkabeln.....	107
6.4 Vergleich der Maßnahmen zum Ausgleich von Stromtransportbedarf und zulässigem Stromtransport.....	108
7 Regionale Netzplanung	110
7.1 Regionaler Stromtransportbedarf	110
7.1.1 Maßnahmen zur Verringerung des regionalen Stromtransportbedarfs.....	111

7.1.2	Resultierender Stromtransportbedarf.....	113
	(1) Realisierung von 50% des Zubaupotenzials (Referenzszenario)	113
	(2) Realisierung von 75% des Zubaupotenzials (Alternativszenario)	114
7.2	Zulässiger Stromtransport	114
7.2.1	Maßnahmen zur Erhöhung des zulässigen Stromtransports einer bestehenden 110-kV-Leitung.....	115
7.2.2	Resultierende Erhöhung des zulässigen Stromtransports einer bestehenden 110-kV-Leitung.....	117
	(1) Erhöhung der zulässigen Übertragungsleistung durch Leiterseiltemperaturmonitoring um 50% (Referenzszenario)	117
	(2) Erhöhung der zulässigen Übertragungsleistung durch Leiterseiltemperaturmonitoring um 100% (Alternativszenario)	118
7.3	Vergleich von Stromtransportbedarf und zulässigem Stromtransport.....	118
8	Überregionale Netzplanung: Netzentwicklungsplan 2025.....	120
8.1	Leitungsprojekte	120
8.1.1	Vom Szenariorahmen zum Planfeststellungsverfahren	120
8.1.2	Geplanter Leitungsneubau steigt jährlich an.....	122
8.2	Netzentwicklungsplan 2025 hat gravierende Defizite	125
8.2.1	Kohlebedingter Netzausbau konterkariert Energiewende.....	125
	(1) Beispiel: HGÜ-SuedostLink erforderlich für Kohlestromexport zeitgleich zu hoher erneuerbarer Stromproduktion	125
	(2) Keine Spitzenkappung bei konventioneller Stromproduktion	127
	(3) Kohlebedingter Netzausbau behindert sozialverträgliche Stilllegung von Kohlekraftwerken	127
	(4) Zusätzliche deutsche CO ₂ -Abgaben erhöhen ausländische Kohlestromproduktion	128
	(5) Zusätzliche deutsche CO ₂ -Abgaben erhöhen deutschen Netzausbaubedarf	129
8.2.2	Kostengünstige Alternativen werden unzureichend berücksichtigt.....	130
	(1) Leiterseiltemperaturmonitoring und Hochtemperaturleiterseile unzureichend berücksichtigt	130
	(2) Neubau von Reservekraftwerken in Süddeutschland unzureichend berücksichtigt	131
	(3) Spitzenkappung von erneuerbarem Strom unzureichend berücksichtigt	132
8.2.3	Netzentwicklungsplan führt zu überhöhten Stromkosten.....	132
	(1) Kosten des Netzausbaus bleiben unberücksichtigt	132
	(2) Netzentwicklungsplan führt zu überhöhtem Netzausbau	133
8.3	Seit 2014 wachsende Zweifel an der Notwendigkeit des geplanten Netzausbaus	135
8.3.1	Parteienübergreifender Konsens zum Netzausbau schwindet	135
	(1) Bis 2013 parteienübergreifender Konsens zum Netzausbau	135
	(2) Bayern will Belege für die Notwendigkeit neuer Leitungstrassen	136
8.3.2	Regierungs-Eckpunkte vom 01. Juli 2015.....	137
	(1) Beschlüsse zu Trassenänderungen	137
	(2) Beschlüsse zu Erdkabeln	137
	(3) Beschlüsse zu Reservekraftwerken	138
8.4	Gesamtwirtschaftliche Optimierung der Netzplanung erforderlich	138
8.4.1	Gravierende Defizite machen den Netzentwicklungsplan untauglich	138

8.4.2 Grundlegende Neuberechnung des Netzentwicklungsplans erforderlich.....	139
Anhang.....	140
A1 Konventionelle Kraftwerke in Bau und in Planung, 2015 bis 2035	140
A2 Leitungsplanungen gemäß Netzentwicklungsplan 2025	146
A3 Liste der Abbildungen, Tabellen und Kästen	154
A3.1 Liste der Abbildungen.....	154
A3.2 Liste der Tabellen	155
A3.3 Liste der Kästen	155
Fußnoten.....	156
Quellen.....	163