AKTIONSKREIS ENERGIE

Welche Folgen hat der Umbau des Elektroenergiesystems und welche Chancen ergeben sich im Zuge der Digitalisierung für die Nachfrageseite?

Stefanie Samtleben

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb
und -automatisierung IFF

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

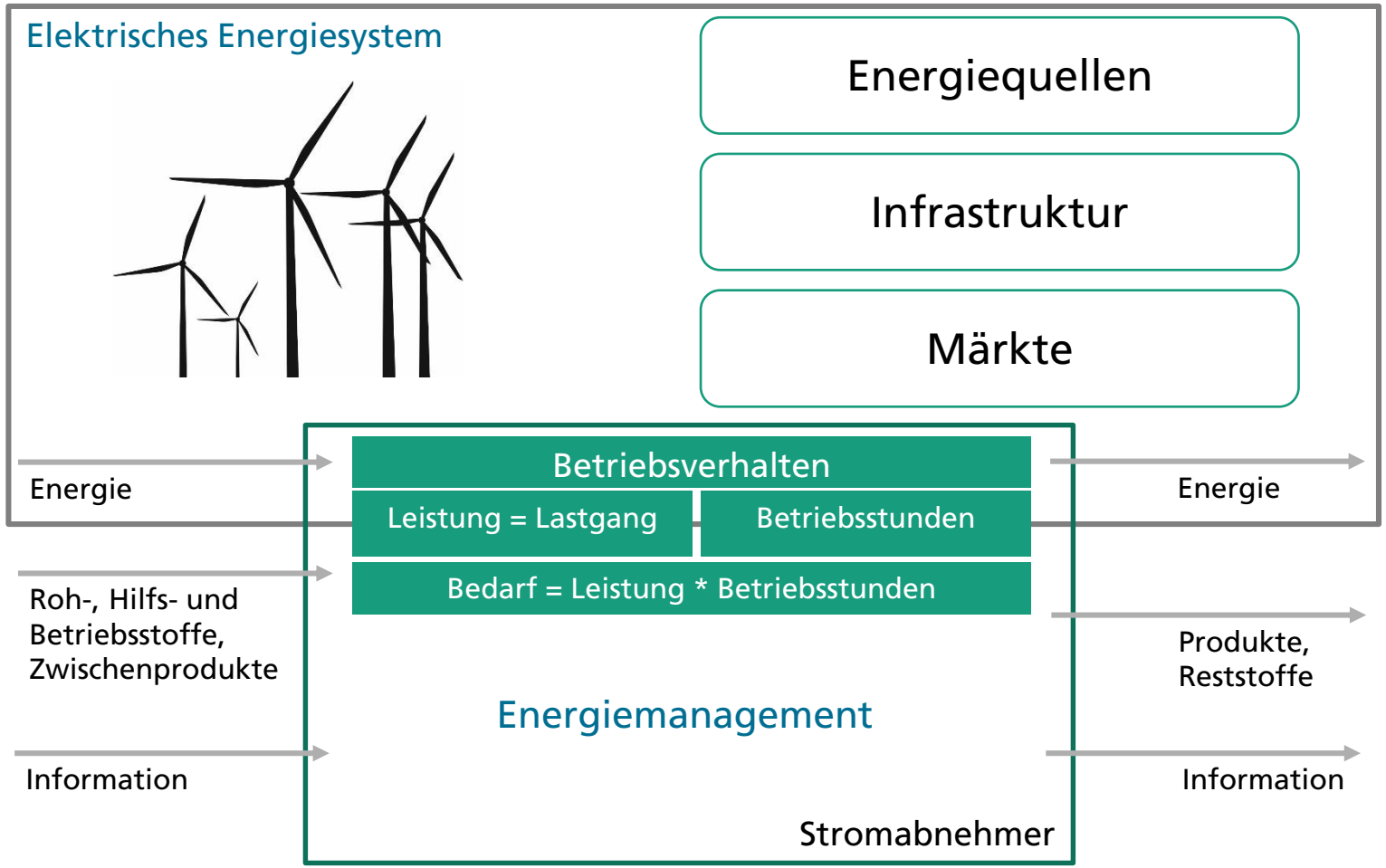
Welche Folgen hat der Umbau des Elektroenergiesystems und welche Chancen ergeben sich im Zuge der Digitalisierung für die Nachfrageseite?

- Herausforderungen, die mit der Umstellung des Systems auf erneuerbare Ressourcen einhergehen → Das Elektroenergiesystem
- Ableitung von Flexibilitätsbedarfen auf der Lastseite → Studienlage
- Chancen für Demand Side Management → Energiemanagement

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

Überblick Vorlesung Teil 2

Elektrisches Energiesystem und Produktionssystem



© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

Energiemarkt und politische Rahmenbedingungen
Energiequellen und Ausbauziele Deutschland

Ist-Zustand 2018

- Der Anteil der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien am **Bruttostromverbrauch** betrug im Jahr 2018 37 Prozent.
- Der Bruttostromverbrauch lag im Jahr 2018 bei 592,3 TWh.
- Die **Erzeugungskapazität** lag 2018 bei 221,6 GW (2017: 215,6 GW). Hiervon sind 103,3 GW den nicht erneuerbaren Energieträgern und 118,2 GW (53 %) den erneuerbaren Energieträgern zuzuordnen.

$$\Delta W = P * \Delta t$$

Ausbauziele

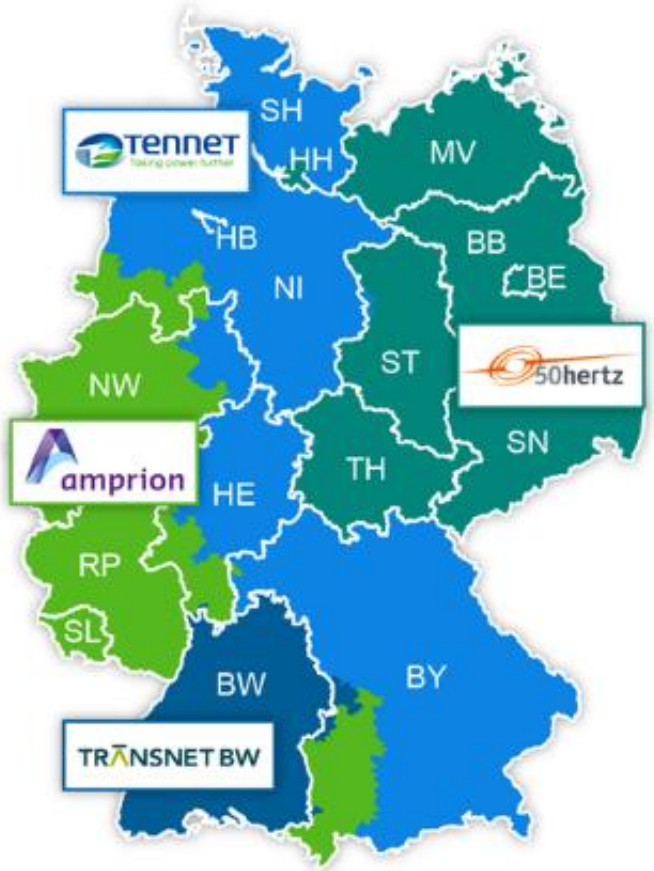
- Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) sieht vor: Bis zum Jahr 2025 sollen 40 bis 45 Prozent des in Deutschland verbrauchten Stroms aus erneuerbaren Energien stammen.

https://www.energy-charts.de/energy_pie_de.htm

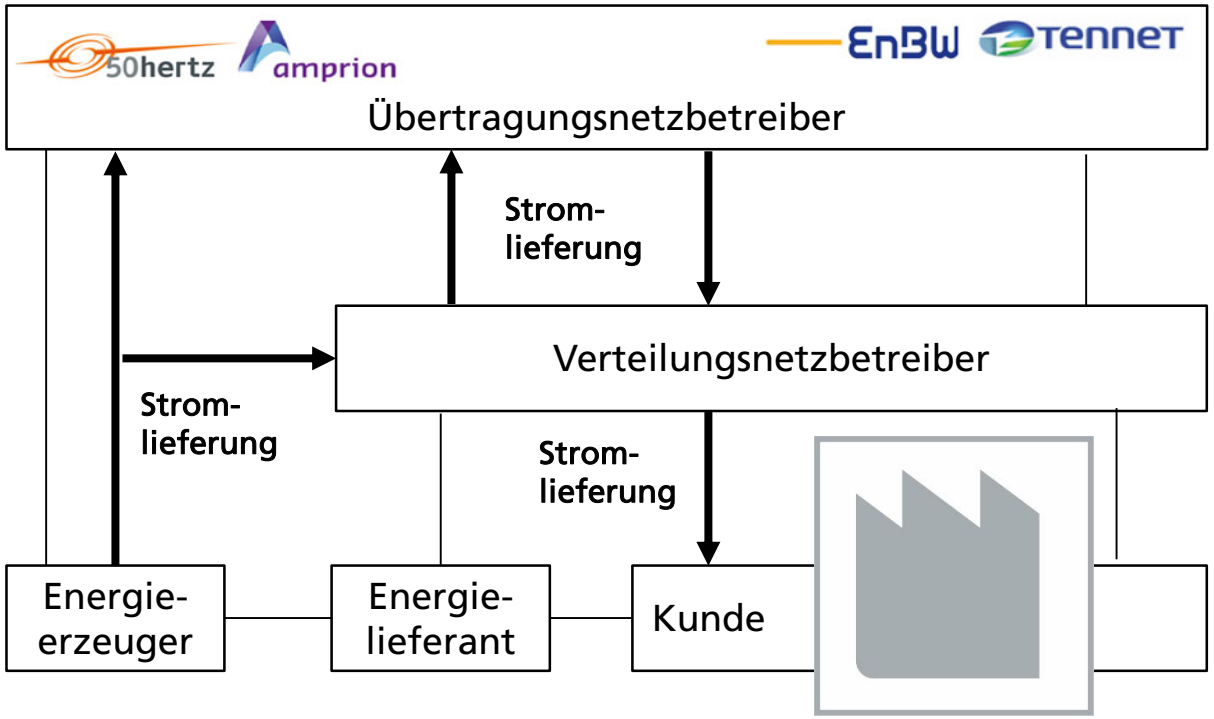
https://www.smard.de/home/topic-article/426/178884

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

Energiemarkt und politische Rahmenbedingungen
Infrastruktur



Quelle der Verwaltungsgrenzen: http://www.bkg.bund.de

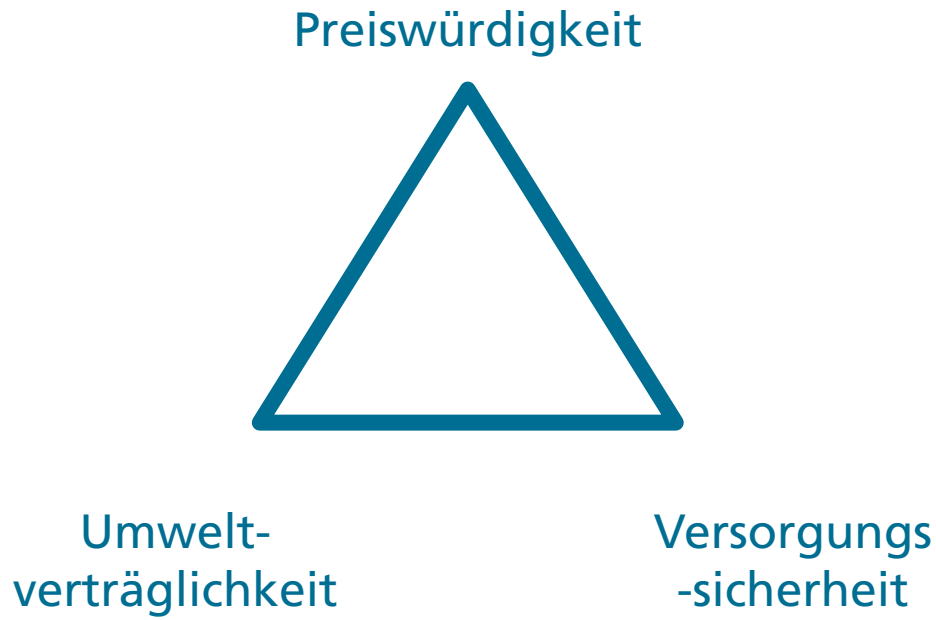


Eigene Darstellung in Anlehnung an (Müller 2009)

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

Energiemarkt und politische Rahmenbedingungen
Energiewirtschaft

- Natürliches Monopol
- Geringe Nachfrageelastizität, wegen geringer Substituierbarkeit
- Marktversagen im Zieldreieck der Energiewirtschaft & -politik reduzieren (Erdmann 2008, EnWG)
  - Liberalisierung in der EU
    - vollkommener Wettbewerb auf der Verkäuferseite
    - jeder muss diskriminierungsfrei Zugang zum Markt haben können
  - Unbundling – Trennung von Erzeugung, Übertragung, Vertrieb

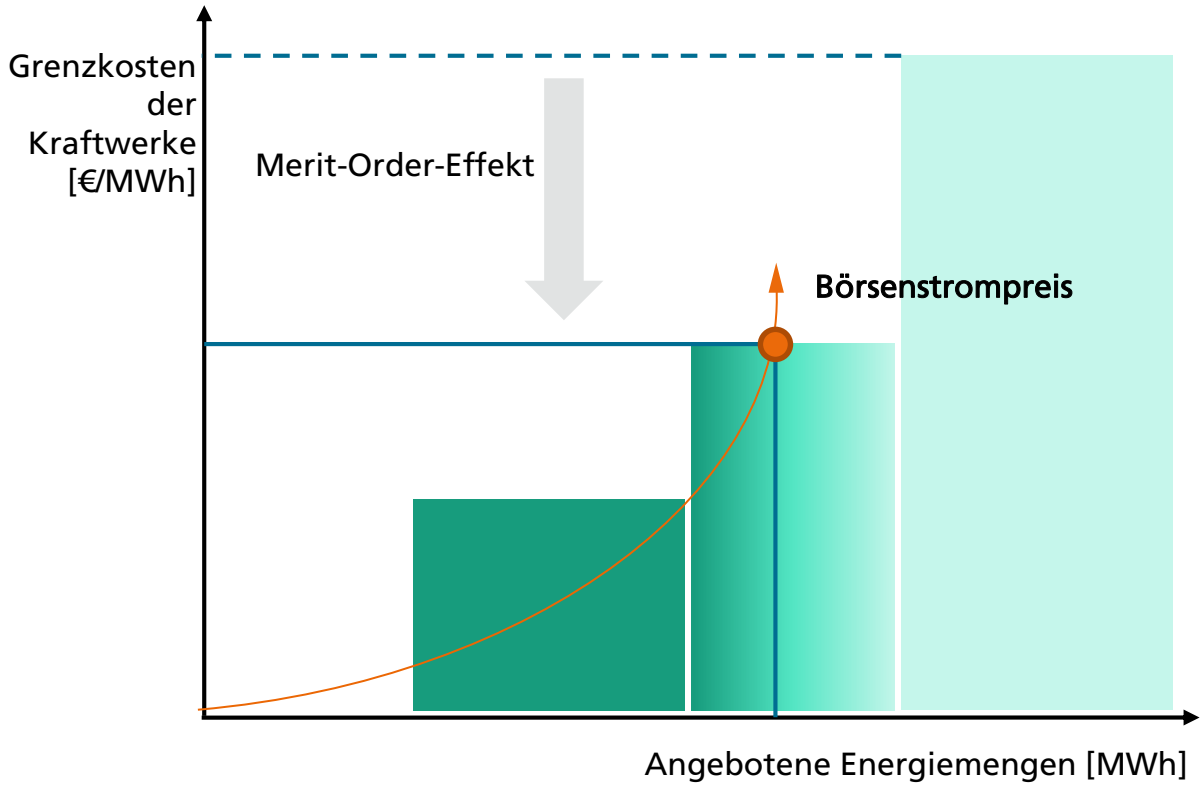


© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

Energiemarkt und politische Rahmenbedingungen
Stromwirtschaft & Strompreisbildung verstehen

- Merit-Order
  - beginnend mit kleinsten Grenzkosten werden solange Kraftwerke zugeschaltet bis Nachfrage vollkommen gedeckt ist
  - an Strombörse entscheidet letztes zugeschaltetes Kraftwerk (Grenzkraftwerk) über Höhe des Strompreises

- Merit-Order-Effekt:
  - Verdrängung teuer produzierender Kraftwerke durch den Markteintritt von Kraftwerken mit geringeren Grenzkosten



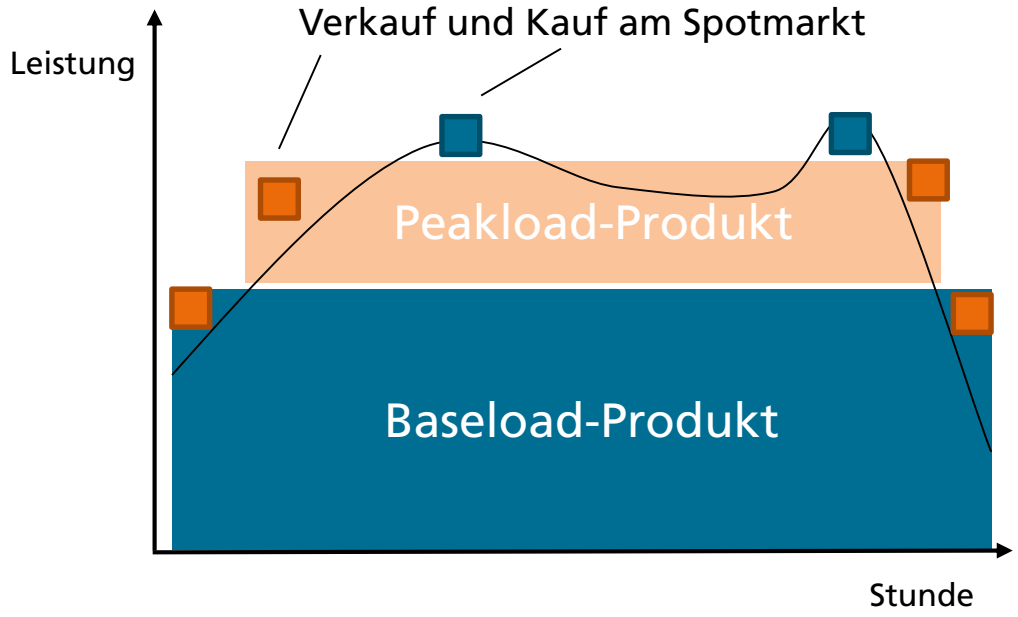
© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

Energiemarkt und politische Rahmenbedingungen

Stromwirtschaft & Strompreisbildung verstehen

Ist-Situation 2018

- Terminmarkt
  - Produkte, mit langer Laufzeit (Jahre möglich)
  - Der Terminhandel verzeichnete im Jahresvergleich Volumenzuwächse um die 11 Prozent.
- Spotmarkt
  - Kurzfristiger Handel
  - Die Stromgroßhandelspreise sind im Jahresdurchschnitt 2018 gestiegen auf 2,25 ct/kWh (DE/AT).
  - Die Volumina des Day-Ahead-Handels sind im Vergleich zum Vorjahr gesunken.
  - Demgegenüber ist das Volumen des Intraday-Handels um rund 12,5 Prozent im Vergleich zum Vorjahr angestiegen.



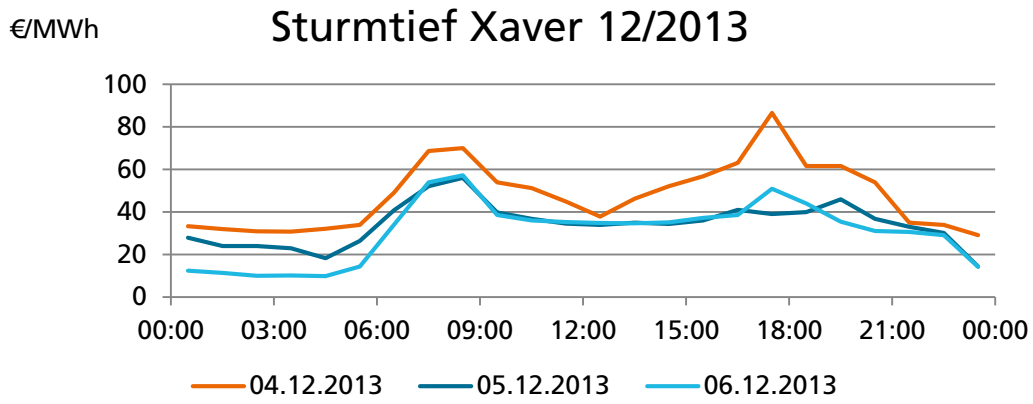
Eigene Darstellung in Anlehnung an Thomas Niedrig (Schwab 2018)

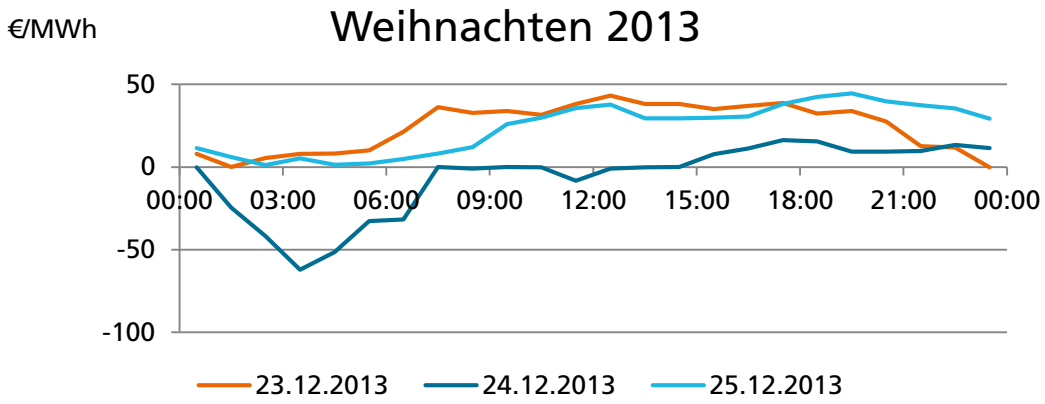
© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

Energiemarkt und politische Rahmenbedingungen
Stromwirtschaft & Strompreisbildung verstehen

Typische Effekte am europäischen Strombörse

- Wetterabhängig
- Abhängig von den am Markt liefernden Kraftwerken
- Abhängig von großen Stromabnehmern (Produktion → von der Auftragslage)

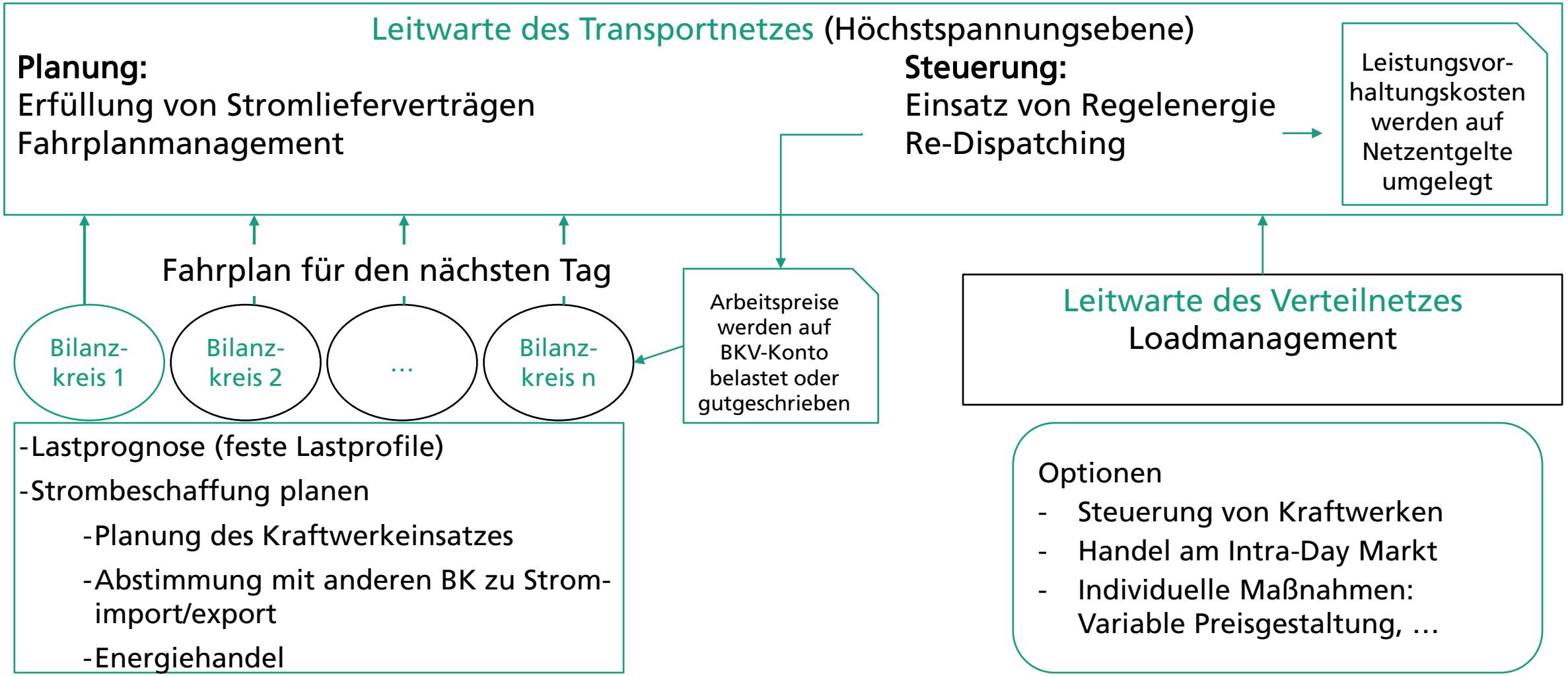




Eigene Darstellung der Spotmarktpreis von der Leipziger Strombörse (EEX)

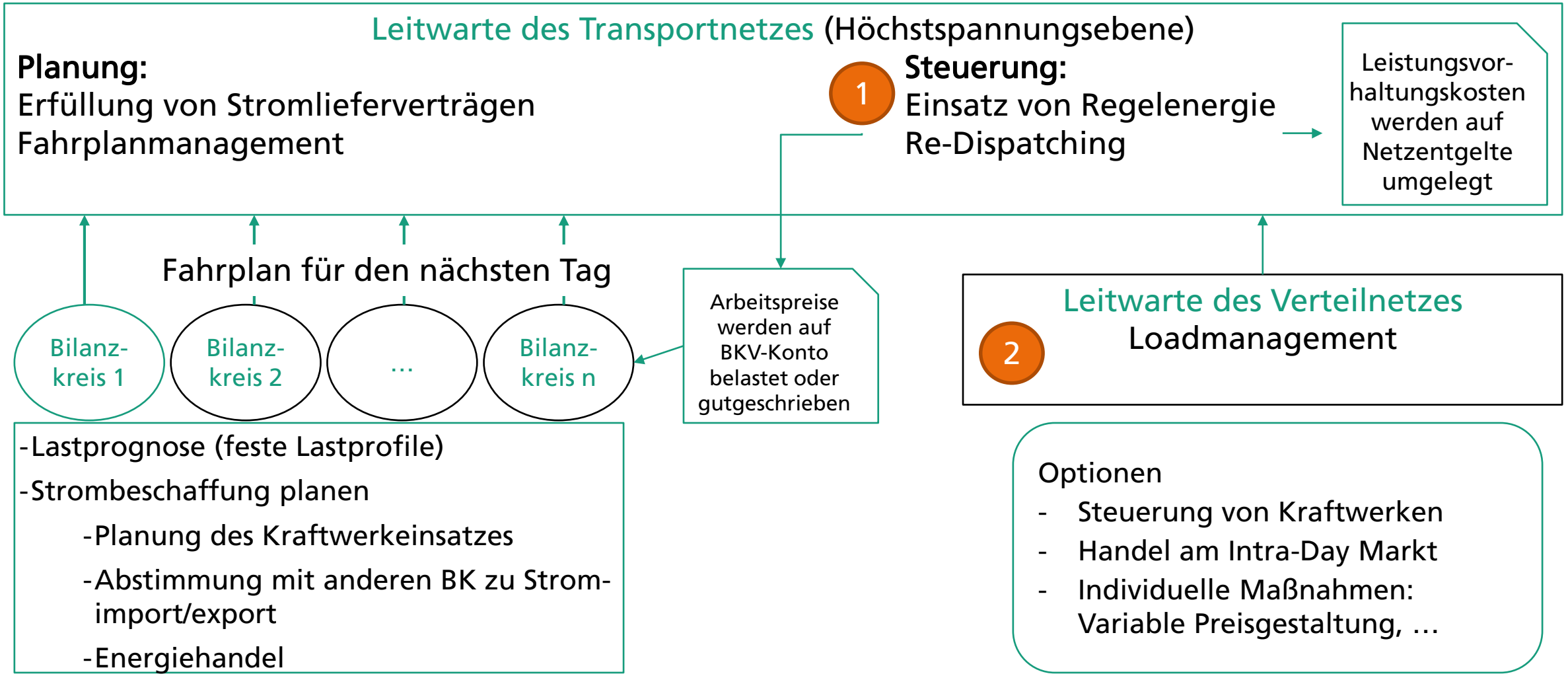
© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

Aufgabenverteilung in der Betriebsführung



© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

Aufgabenverteilung in der Betriebsführung



© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

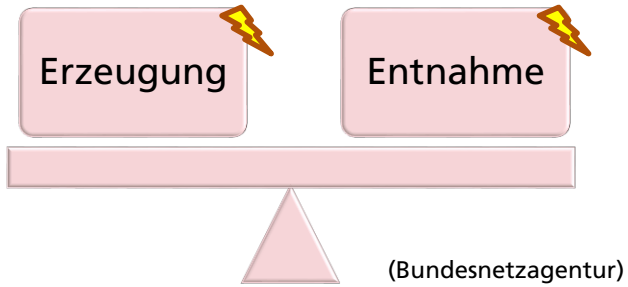
Energiemarkt und politische Rahmenbedingungen

Stromwirtschaft & Strompreisbildung verstehen

Regelenergie

- **Erzeugung** und **Entnahme** elektrischer Energie müssen sich stets die **Waage halten**
- **Energie** nur sehr **geringfügig** in einem elektrischen Energieversorgungssystem **speicherbar**
- **Abweichung** zwischen Erzeugung und Entnahme wird **durch Regelenergie ausgeglichen**

- Positive Regelenergie:
  - notwendig wenn **Erzeugung < Entnahme**
  - Abnahme zurückfahren / Einspeisung hochfahren
- Negative Regelenergie:
  - notwendig wenn **Erzeugung > Entnahme**
  - Abnahme hochfahren / Einspeisung zurückfahren



(Bundesnetzagentur)

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

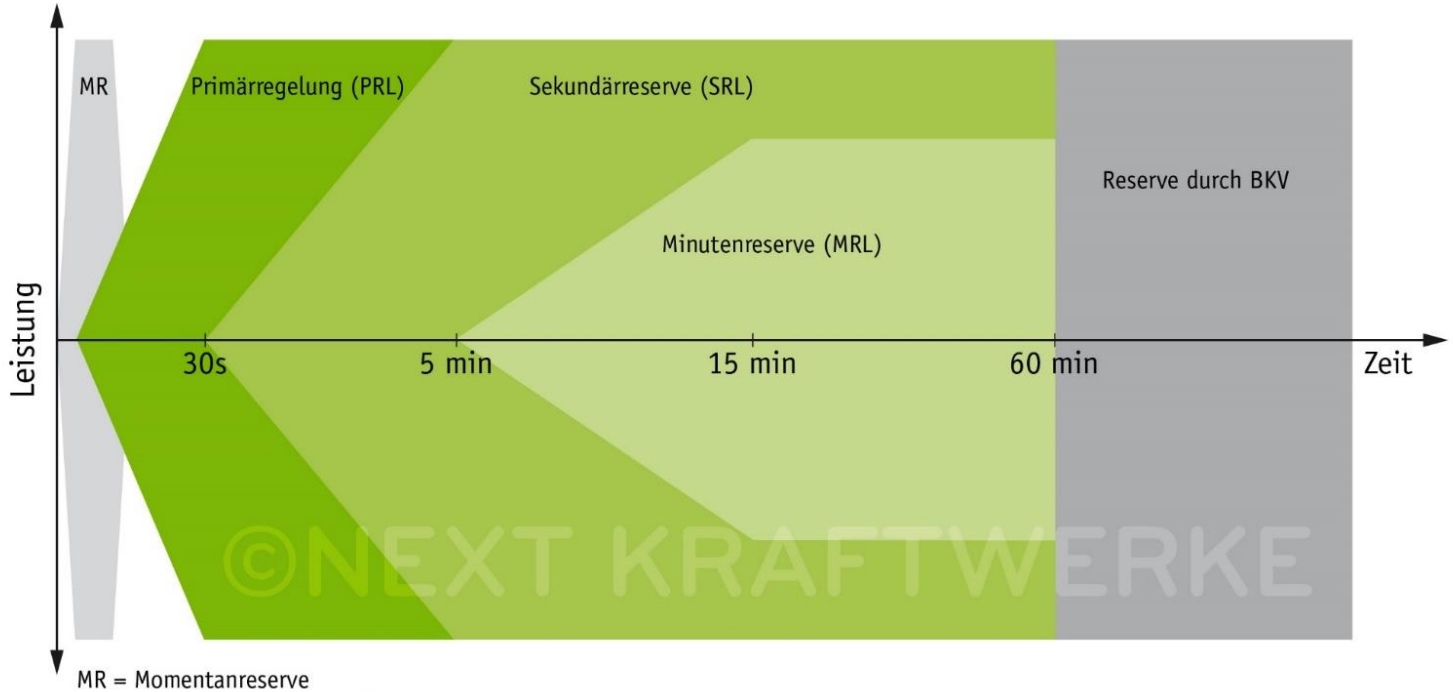
Energiemarkt und politische Rahmenbedingungen

Stromwirtschaft & Strompreisbildung verstehen

Regelenergie

Die Regelenergie (oder Regelleistung) gleicht als Reserve Schwankungen im Stromnetz (genauer Stromfrequenz) aus.

- Arten von Regelenergie:
  - Primärregelung
  - Sekundärregelung
  - Minutenreserveleistung
  - Abschaltbare Lasten
- Ausschreibung über regelleistung.net
  - Leistungspreis in € - vergütet für Bereitstellung
  - Arbeitspreis in €/MWh – vergütet falls tatsächlich abgerufen



MR = Momentanreserve
BKV = Bilanzkreisverantwortlicher

(NEXT Kraftwerke)

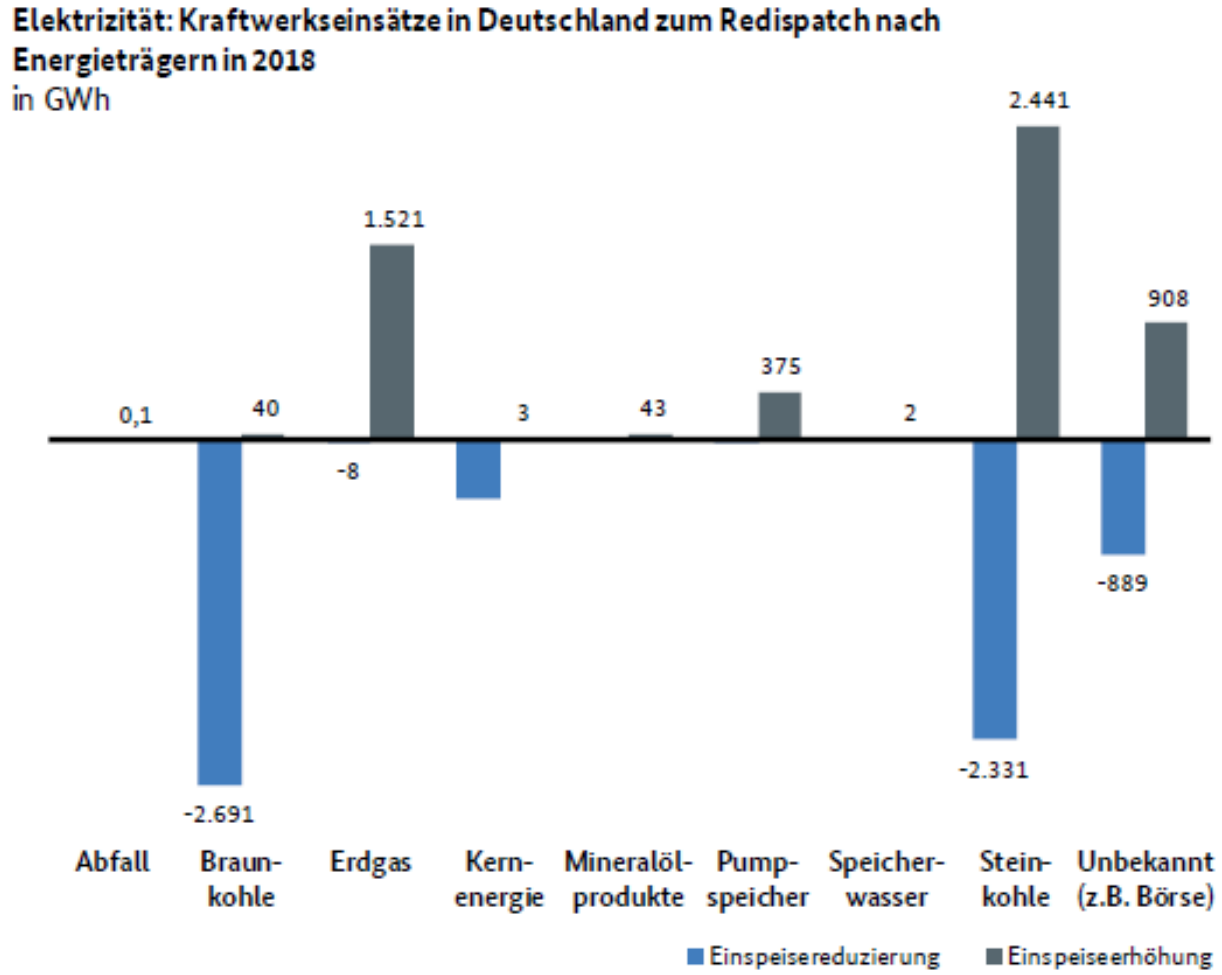
© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

Energiemarkt und politische Rahmenbedingungen

Stromwirtschaft & Strompreisbildung verstehen

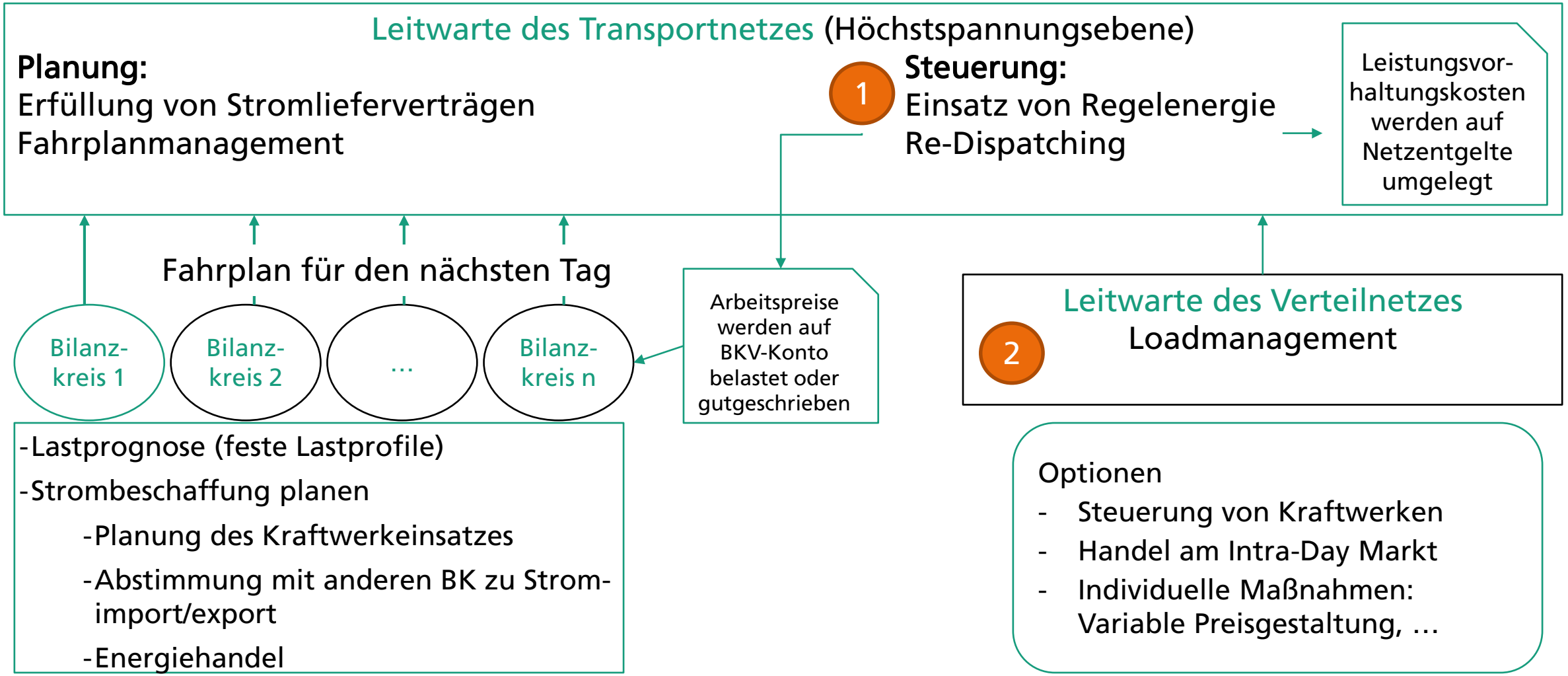
Ist-Situation 2018 Redispatch

- Redispatchbedarf ist weiterhin hoch.
- Die gesamten Einspeisereduzierungen beliefen sich im Gesamtjahr 2018 auf 7.919 GWh, die Einspeiseerhöhungen von Marktkraftwerken auf 6.956 GWh.
- An 354 Tagen des Jahres wurden entsprechende Eingriffe angewiesen.
- Die Kosten für Redispatchmaßnahmen lagen im Jahr 2018 bei rund 803 Mio. Euro.



© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

Aufgabenverteilung in der Betriebsführung



© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

Energiemarkt und politische Rahmenbedingungen
Netzampel für Verteilnetzbetreiber

Alle Marktteilnehmer können ihre Pläne verwirklichen, allenfalls netzbezogene Maßnahmen nach § 13 Abs. 1 Nr. 1 EnWG erforderlich	Grün
Marktbezogene Maßnahmen nach § 13 Abs. 1 Nr. 2 EnWG	Gelb
Maßnahmen nach § 13 Abs. 2 EnWG und Maßnahmen nach § 13 Abs. 2 EnWG i.V.m. § 14 EEG (sog. Einspeisemanagement)	Rot

Abbildung 3: Ampel - rechtliche Einordnung nach den Vorgaben des § 13 EnWG

Quelle: Bundesnetzagentur.

Einspeisemanagement: Reduzierung der Einspeiseleistung von EE-. Grubengas- und KWK-Anlagen

In 2018 entstandene Kosten: **635,4 Mio. Euro**

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

Energiemarkt und politische Rahmenbedingungen
Verteilnetzbetreiber

- Fehlende Flexibilitätsoptionen
  - Lokale Lösungen sind nicht optimal
  - Engpässe können nie ausgeschlossen werden

- Steuerung der Nachfrage über den Preis:
  - Preis ist Knappheitssignal für
    - Erzeugungskapazität: global
    - Netzkapazität: lokal
  - Nachfrage nach Strom ist unelastisch, d.h. schwer substituierbar
  - Preisbestandteile verzerren das Signal

Märkte (Preiszone)

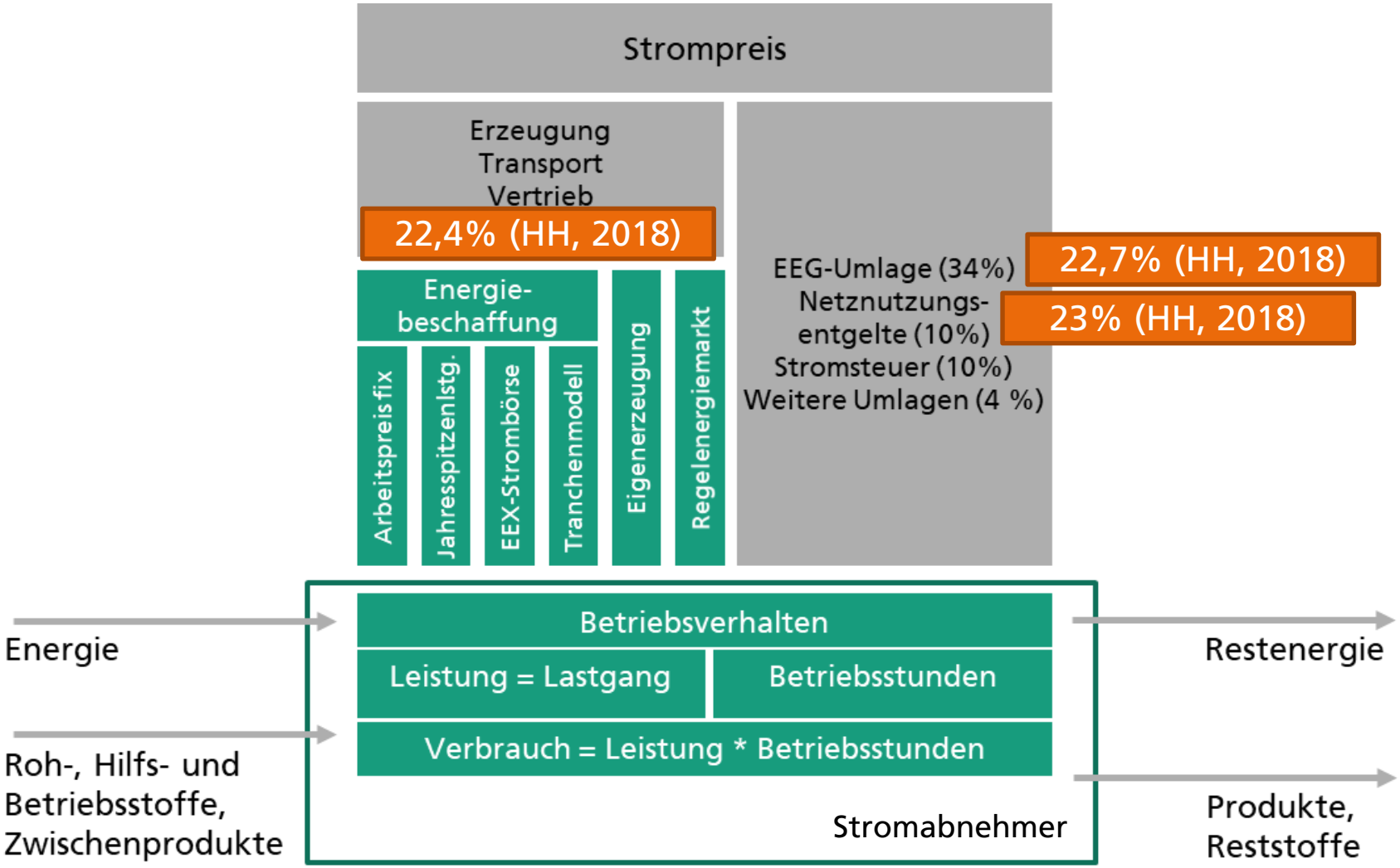
Netzrestriktionen

Hendrik Kondziella (Uni Leipzig)

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

Energiemarkt und politische Rahmenbedingungen

Produktions- und Kostenrechnungsmodell



© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

(BDEW 2016),
(VDI-Fachbereich Ressourcenmanagement 2016)

Energiemarkt und politische Rahmenbedingungen
Netzentgelte

- Netzentgelte basieren auf den Kosten, die den Netzbetreibern für den effizienten Betrieb, Unterhaltung und Ausbau der Netze entstehen.
- Netzkosten werden über den statistisch wahrscheinlichen individuellen Beitrag eines Netznutzers an der zeitgleichen Jahreshöchstlast ermittelt.
- Zu zahlen nur von Lastabnehmern (nicht von der Erzeugerseite).
- Besondere Netzentgelte
  - Atypische Netznutzung
  - Intensive Netznutzung

Elektrizität: Nettonetzentgelte für Gewerbekunden in Deutschland für das Jahr 2019
in ct/kWh

Bundesland	Mengengewichteter Mittelwert*	Minimum	Maximum	Anzahl berücksichtigter Verteilernetze
Schleswig-Holstein	7,55	4,36	9,25	42
Brandenburg	6,71	3,17	16,57	29
Mecklenburg-Vorpommern	6,58	4,29	9,04	19

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

(Bundesnetzagentur, 2019),
(Bundesnetzagentur, 2017)

Energiemarkt und politische Rahmenbedingungen

Stromwirtschaft & Strompreisbildung verstehen

Regelenergie

- Bedarf an SRL und MRL zurückgegangen
- Abrufhäufigkeit für MRL um 20% gestiegen, auf 7355 Abrufe im Jahr 2018.

Jahr	Positive Regelenergie (abschaltbare Lasten, zuschaltbare Kraftwerke)	Negative Regelenergie (zuschaltbare Lasten, abschaltbare Kraftwerke)	Quelle
2018, maximal ausgeschrieben	3,3 GW = 1,9 GW (SRL) + 1,4 GW (MRL)	3,0 GW = 1,8 GW (SRL) + 1,2 GW (MRL)	Monitoring Bericht 2019
2030	4,1 GW	4,4 GW	Paulus & Borggrefe (2010)
2030	5,4 GW	6,0 GW	DENA 2014
2030	5,1 GW	6,4 GW	Farahmand 2012

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

Energiemarkt und politische Rahmenbedingungen

Stromwirtschaft & Strompreisbildung verstehen

Regelenergie

- Ausbau des Regelzonenverbunds auf europäischer Ebene

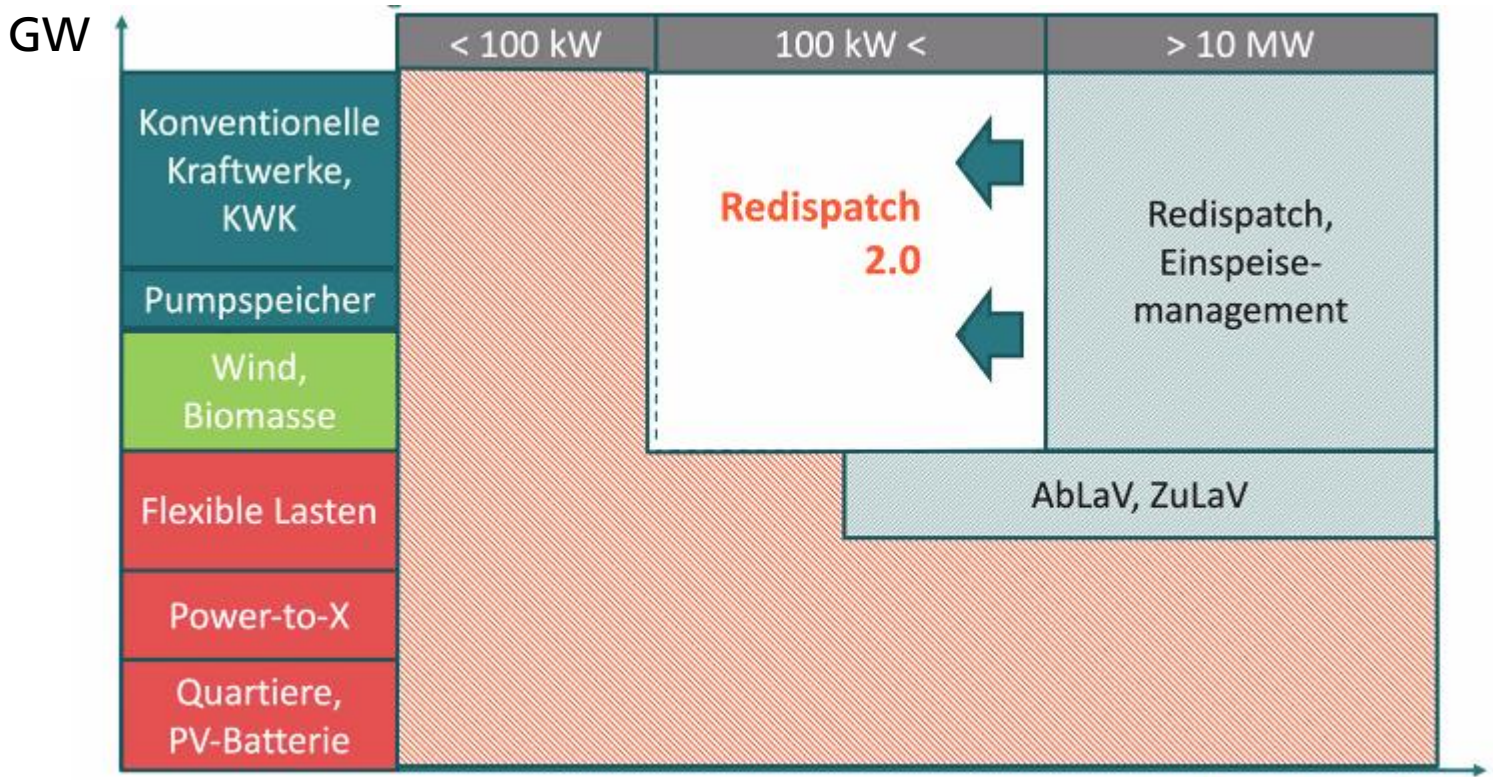
Kriterium/Quelle	Berücksichtigung Netzausbauplans	Berücksichtigte Ausbauziele	SRL, MRL, AbLaV
Paulus & Borggrefe (2010)	Nein	50% EE-Anteil in D bis 2030 am Bruttostromverbrauch	MRL
DENA 2014	ja	65 % EE-Anteil bis 2030	SRL und MRL
Farahmand 2012	Mit Ausgleich auf europäischer Ebene	Windturbinenausbauziele entsprechen 50% EE-Anteil bis 2030 (Anteil 2018 bereits übertroffen)	SRL und MRL

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

Ergebnisse des WINDNODE Projekts

Erschließung des Flexibilitätspotenzials durch Regulierung

Das Energiewirtschaftsgesetz regelt die verpflichtende Teilnahme zum Engpassmanagement auf Basis der installierten Leistung der Erzeugungs- und Speicheranlagen. Flexible Lasten und Powert-to-x werden bisher nicht einbezogen. Damit wird das Problem lokaler „Überschüsse“ nicht gelöst.



Hendrik Kondziella (Uni Leipzig)

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

Ergebnisse des WINDNODE Projekts

Treiber für zeitliche Preisdifferenzen am Spotmarkt

Erst durch den Einsatz von Marktmodellen lassen sich Aussagen zum Wert von Flexibilität treffen. Die künftigen Geschäftsmodelle sind von den energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen und der Konkurrenz zwischen den Flexibilitätsoptionen abhängige.

- Geringe konventionelle Kraftwerksleistung im Vergleich zur Last
- Ambitionierter Ausbau der erneuerbaren Energien
- Hohe CO2-Preise
- Möglichst kleine Produktzeitscheiben
- Handelszeitpunkt nahe am Lieferzeitpunkt

Marktmodellierung

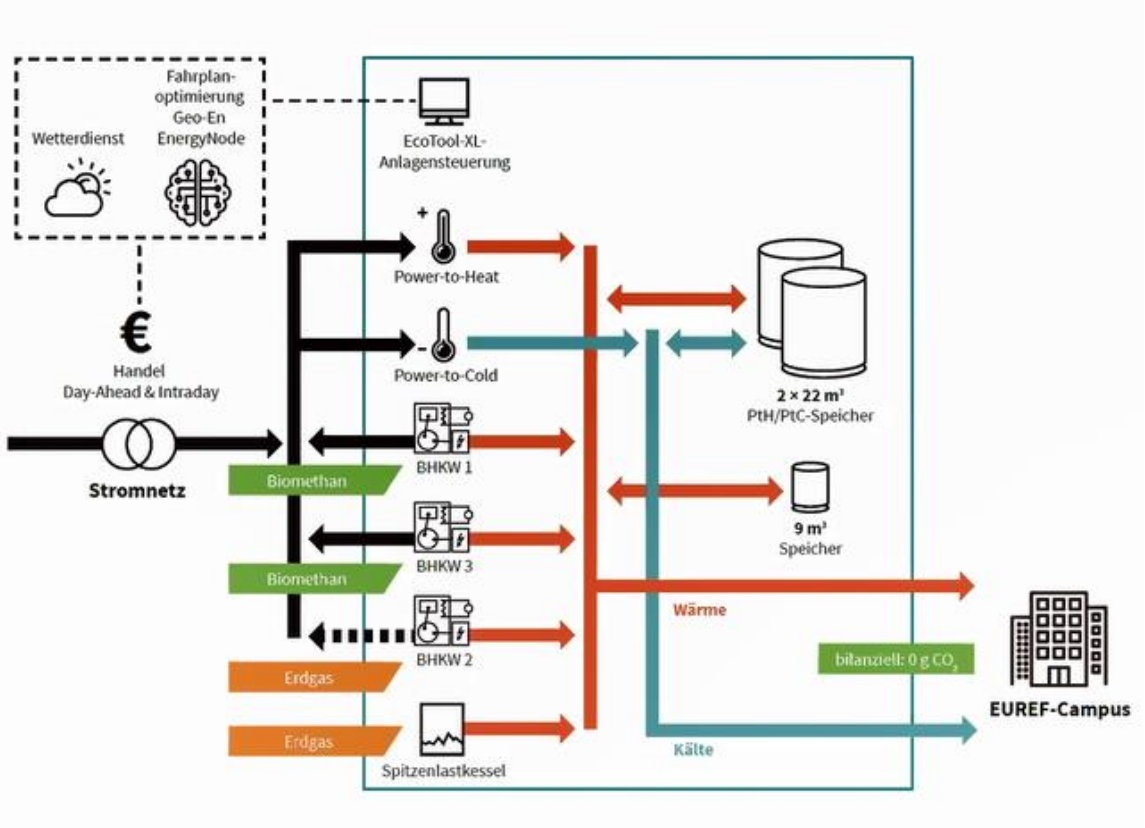
Hendrik Kondziella (Uni Leipzig)

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

Ergebnisse des WINDNODE Projekts

EUREF Campus zu 100% CO2-neutrale Stromversorgung

- Integration der deutschlandweit ersten kombinierten Powert-to-Heat/Power-to-Cold Anlage in ein bestehendes Energiesystem
- Hochflexible Energieanlage mit Vielzahl an Komponenten
- Netzdienliche, prognosebasierte Steuerung und bilanziell CO2-neutrale Versorgung eines Büroquartiers
- Absenkung des starren Kostenbestandteil im Verbraucherstrompreis in Zeiten von Stromüberschuss und damit angereiztes systemdienliches Nachfrageverhalten würden Wirtschaftlichkeit solcher hochflexiblen Anlagen und damit der Energiewende weiter Vorschub geben



© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

Christopher Koch (TU Berlin)
Jörn Hartung (Siemens)

Das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Planen und Bauen

Basisangebote

Sensibilisierung

Qualifikation

Umsetzung

Erprobung

Thematische Schwerpunkte

Projekt-entwicklung

Digitales Planen

Digitale Baustelle

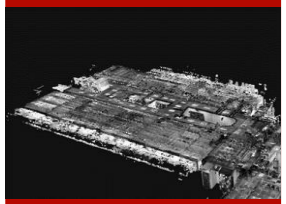
Digitale Geschäfts-prozesse

Betreiben - digitaler Zwilling

Schwerpunkte der Teilzentren

Digitale Bauverwaltung

Bestands-erfassung



Baumaschi-nenpark

IT-Compliance

Facility Management

Gefördert durch:
Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

IoT Experience Lab

vollständige Prozessketten: vom Sensor über Bus- und Kommunikationssysteme

Ansprechpartner: Thomas Kirmayr
thomas.kirmayr@ibp.fraunhofer.de

- MEGA-Plattform (**M**odulplattform **E**nergieeffiziente **G**ebäude-**A**usrüstung)
- Hardware-in-the-Loop-Ansatz

Kontakt - Teilzentrum Ost //

Stefanie Samtleben

Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Planen und Bauen
Teilzentrum Ost
c/o Fraunhofer IFF
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg
0391 4090 124
stefanie.samtleben@iff.fraunhofer.de
www.kompetenzzentrum-planen-und-bauen.digital

Abschlusskonferenz SINTEG
Ein Schaufenster: WINDNODE

28.10.2020 - 29.10.2020 - Live-Stream

Link zur Abschlusskonferenz:
https://www.sinteg.de/termine/aktuelle-termine/detailseite/sinteg-abschlusskonferenz/

Definition, Thesen, Hemmnisse

„Flexibilität bezeichnet die Fähigkeit von Elementen im Energiesystem, aktiv auf ein externes Signal, das die Variabilität von Stromerzeugung und Stromverbrauch widerspiegelt, mit einer Leistungsänderung zu reagieren. Elemente, die diese Fähigkeit besitzen, werden auch als Flexibilitätsoption bezeichnet.

Die Nachfrage nach Flexibilität im Energiesystem kann zum einen aus den Großhandelsmärkten (day-ahead, intraday) resultieren. Zum anderen kann die Nachfrage nach Flexibilität unter der Zielstellung der Behebung von Netzengpässen entstehen. Daneben können Flexibilitäten auf den Regelenergiemärkten nachgefragt oder zur Erbringung weiterer Systemdienstleistungen benötigt werden…“

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

Mittelstand 4.0 Kompetenzzentrum Planen und Bauen

Fraunhofer IFF

Quellen

Arlt, M.-L., Neumann, D. & Rajagopal, R. (2019). Curtailment Contract Design for HVAC

Systems: 2019 American Control Conference (ACC). [Piscataway, NJ], IEEE.

Bergaentzlé, C. (2016). *Framework conditions for flexibility in the electricity sector - in the Nordic and Baltic countries*. Flex4RES.

Bergaentzlé, C., Clastres, C.&Khalfallah, H. (2014). Demand-side management and European environmental and energy goals: An optimal complementary approach. *Energy Policy*, *67*, 858–869. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.12.008

Blarke, M. B. (2008). *The missing link in susttainable energy Techno-economic consequences of large-scale heat pumps in distributed generation in favour of a domestic integration strategy for sustainable energy: Dissertation*. Aalborg.

Blarke, M. B. (2012). Towards an intermittency-friendly energy system: Comparing electric boilers and heat pumps in distributed cogeneration. *Applied Energy*, *91*(1), 349–365. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.09.038

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.). (n. d.). Voraussetzungen einer optimalen Integration erneuerbarer Energien in das Stromversorgungssystem.

Bundesnetzagentur. (2017). Flexibilität im Stromversorgungssystem: Bestandsaufnahme, Hemmnisse und Ansätze zur verbesserten Erschließung von Flexibilität (Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, Hrsg.).

Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (Hrsg.). (2017). Flexibilität im Stromversorgungssystem - Bestandsaufnahme, Hemmnisse und Ansätze zur verbesserten Erschließung von Flexibilität: Diskussionspapier.

Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (Hrsg.). (2019). Bericht Monitoringbericht 2019: gemäß § 63 Abs. 3 i. V. m. § 35 EnWG und § 48 Abs. 3 i. V. m. § 53 Abs. 3 GWB.

BDEW: www.bdew.de BDEW Bundesverband der Energie - und Wasserwirtschaft e.V. BDEW - Strompreisanalyse. BDEW. Berlin.

Berndt, R.; Cansier, A.: Produktion und Absatz. 2. Aufl.: Springer-Verlag.

Bundesnetzagentur (Hg.): Regelenergie. Online verfügbar unter https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Stromnetze/Engpassmanagement/Regelenergie/regelenergie-node.html, zuletzt geprüft am 19.07.2017.

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

Quellen

Dipl.-Ing. Lothar Kretschmer: Energiemanagement – als Basis für Energieeffizienz. Schott AG. Online verfügbar unter http://www.grees.uni-stuttgart.de/kolloquium/Kolloquium_2012/20120704_Kretschmer.pdf.

Eickemeyer, S. et al. (2013): Modell zur bedarfsgerechten Kapazitätsplanung. In: *ZWF* (9), S. 634–638.

Energiewirtschaftsgesetz (1998): EnWG § 1 Deutschland

Erdmann, G.; Zweifel, P. (2008): Energieökonomik - Theorie und Anwendung, Springer Verlag, Leipzig, Heidelberg.

Fandel, G. (2007): Produktion I – Produktions- und Kostentheorie. 7. Aufl.: Springer-Verlag.

Farid, A. M. & McFarlane, D. C. (2008). Production degrees of freedom as manufacturing system reconfiguration potential measures. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 222(10), 1301–1314. https://doi.org/10.1243/09544054JEM1056

Farid, A. M. & Suh, N. P. (Hrsg.). (2016). Axiomatic design in large systems: Complex products, buildings and manufacturing systems. Cham, Switzerland, Springer.

Feuerriegel, S. & Neumann, D. (2016). Integration scenarios of Demand Response 2016.

G. Reinhart, M. Graßl, S. Datzmann (2014): Methode zur Bewertung der Energieflexibilität. In: *wt Werkstattstechnik online* 104 (5), S. 313–319.

Gils, Hans Christian (2014): Assessment of the theoretical demand response potential in Europe. In: *Energy* 67, S. 1–18. DOI: 10.1016/j.energy.2014.02.019.

S. Kabelitz, U. Streckfuß, Energieflexibilität in der Produktionstheorie: Ein analytischer Identifikationsansatz, ZWF (2014) 43–45.

Klaus Erlach (2009): Energiewertstrom. Der Weg zur energieeffizienten Fabrik: Fraunhofer Verlag.

Markus Albert Graßl (2014): Bewertung der Energieflexibilität in der Produktion. Dissertation.

Müller, Egon (2009): Energieeffiziente Fabriken planen und betreiben. Berlin [u.a.]: Springer.

Müller, Egon; Schillig, R.; Stock, Timo; Uhl, J. (2014): Integration peripherer Prozesse in die Energiewertstromanalyse. In: Egon Müller (Hg.): Tagungsband „Produktion und Arbeitswelt 4.0 - Aktuelle Konzepte für die Praxis?“. TBI2014 - 15. Tage des Betriebs- und Systemingenieurs. Chemnitz (Wissenschaftliche Schriftenreihe des Institutes für Betriebswissenschaften und Fabriksysteme), S. 261–268.

NEXT Kraftwerke (Hg.): Was ist Regelenergie? Online verfügbar unter https://www.next-kraftwerke.de/wissen/regelenergie, zuletzt geprüft am 19.07.2017.

Nyhuis, P. & Wiendahl, H.-P. (2012). Logistische Kennlinien. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-92839-3

Paulus, Moritz; Borggrefe, Frieder (2011): The potential of demand-side management in energy-intensive industries for electricity markets in Germany. In: *Applied Energy* 88 (2), S. 432–441. DOI: 10.1016/j.apenergy.2010.03.017.

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020

Quellen

Pfeilsticker, L., Colangelo, E.&Sauer,A. (2019). Energy Flexibility –AnewTarget Dimension in Manufacturing System Design and Operation. Procedia Manufacturing, 33, 51–58.https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.008

Reinhart, G.; Reinhardt, S.; Graßl, M. (2012): Bewertung der Energieflexibilität von Produktionssystemen. In: *wt-online* (102), S. 622–628.

Sankol, B.; Volta, D.; Carlowitz, O. (2014): ENTWICKLUNG UND ANWENDUNG VON SYSTEMATIKEN IN HINBLICK AUF DIE ENERGETISCHE UND STOFFLICHE OPTIMALE NUTZUNG VON RESSOURCEN. In: Michael Schenk (Hg.): 8. TAGUNG »ANLAGENBAU DER ZUKUNFT«. EFFIZIENZ IM FABRIK- UND ANLAGENBAUZYKLUS. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, S. 45–52.

Schenk, Michael; Wirth, Siegfried; Müller, Egon (2014): Fabrikplanung und Fabrikbetrieb. Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik. 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage 2014. Berlin: Springer Vieweg.

Schillig, R.; Stock, T.; Kalhöfer, E.; Kurz, B. (2013): Produktionsprozesse energetisch bewerten. Bilanzierung von Wertschöpfungsketten mittels dualer Energiesignatur. In: *wt Werkstattstechnik online* 103 (5), S. 456–464, zuletzt geprüft am 20.07.2017.

Schröper, J. (2014): Interview mit SGI-Manager zur RZ-Kühlung Kluge RZ-Architektur. Online verfügbar unter http://www.lanline.de/kluge-rz-architektur-html/4/, zuletzt geprüft am 20.07.2017.

Schoonenberg, W. C. & Farid, A. M. (2017). A dynamic model for the energy management of microgrid-enabled production systems. Journal of Cleaner Production, 164, 816–830. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.119

Streckfuß, Ulrich (2014): Ansatz zur Bewertung der Energieflexibilität von Fertigungssystemen (Bachelorarbeit), Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik der Universität Rostock.

Stock, Timo (2016a): Methode der dualen Energiesignaturen zur Analyse von Produktionsprozessen und erweiterten Wertstrombetrachtung. Chemnitz: Technische Universität Chemnitz.

Stock, Timo (2016b): Methode der dualen Energiesignaturen zur Analyse von Produktionsprozessen und erweiterten Wertstrombetrachtung. Dissertation. Technische Universität Chemnitz.

U.S. Department of Energy (2006): Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommedations for Achieving Them. Report to U.S. Congress pursuant to Section 1252 of the Energy Policy Act of 2005.

VDI-Fachbereich Ressourcenmanagement (2016): VDI 4800 Blatt 1/ Part 1 Ressourceneffizienz Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien. Resource efficiency Methodological principles and strategies. Berlin: Beuth (VDI-Richtlinien).

Weißgerber, W. (2013): Elektrotechnik für Ingenieure. 9. Aufl.: Springer Vieweg.

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2020