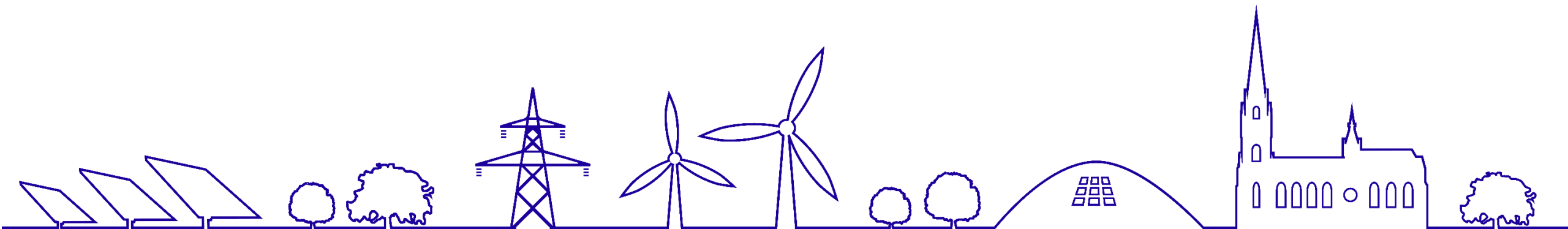


Flex nicht gleich Flex: Mit Plattformen Flexibilität erschließen

SMART GRIDS BW Gespräch „Flexibilitäts-Plattformen – Schlüssel der Energiewende?“

Freiburg, 29.10.2021

Peter Majer,
Unternehmensentwicklung, Innovation
badenova AG & Co. KG



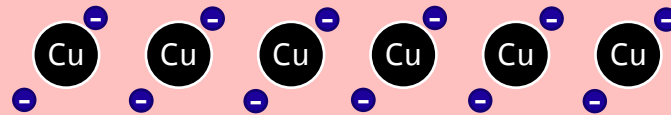
Strom als „Gleichgewicht“ zwischen Verbrauch und Produktion

Entwicklung des Elektrizitätssystems durch Zunahme Erneuerbarer Energien

Flexibilität ist nicht gleich Flexibilität: Diskussionsfelder

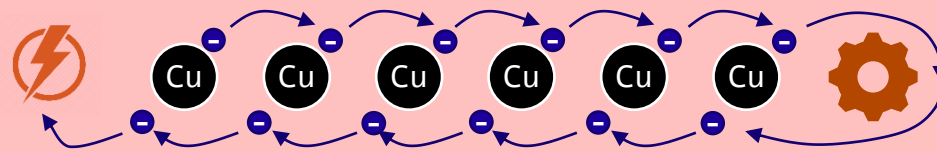
Damit Strom fließt, muss jedem Verbrauch gleichzeitig eine ausreichende Produktion gegenüberstehen

Elektrizität, Strom



Damit Strom fließt, muss jedem Verbrauch gleichzeitig eine ausreichende Produktion gegenüberstehen

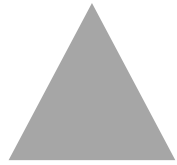
Elektrizität, Strom



„Bewegter Fluss von Elektronen“:

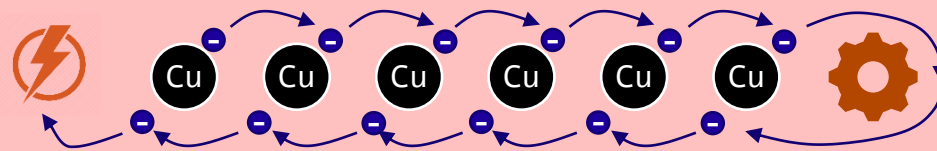
- 😊 Sofortige emissionsfreie Verfügbarkeit
- ☹️ Bei Verbrauch muss gleichzeitig ein Erzeuger in Gang gebracht werden (Generator, Batterie)

Damit Strom fließt, muss jedem Verbrauch gleichzeitig eine ausreichende Produktion gegenüberstehen





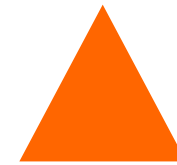
Verbrauch
nimmt zu

Elektrizität, Strom



„Bewegter Fluss von Elektronen“:

-  Sofortige emissionsfreie Verfügbarkeit
-  Bei Verbrauch muss gleichzeitig ein Erzeuger in Gang gebracht werden (Generator, Batterie)



Produktion
muss zunehmen

Damit Strom fließt, muss jedem Verbrauch gleichzeitig eine ausreichende Produktion gegenüberstehen

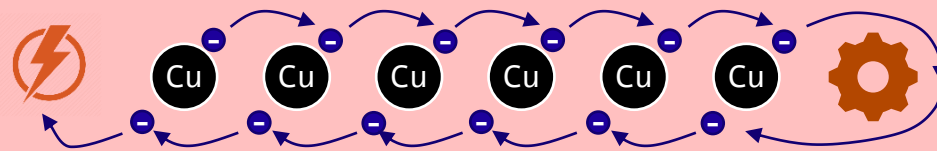


Verbrauch
nimmt zu

Verbrauch
nimmt ab



Elektrizität, Strom



„Bewegter Fluss von Elektronen“:



Sofortige emissionsfreie Verfügbarkeit



Bei Verbrauch muss gleichzeitig ein Erzeuger in Gang gebracht werden (Generator, Batterie)

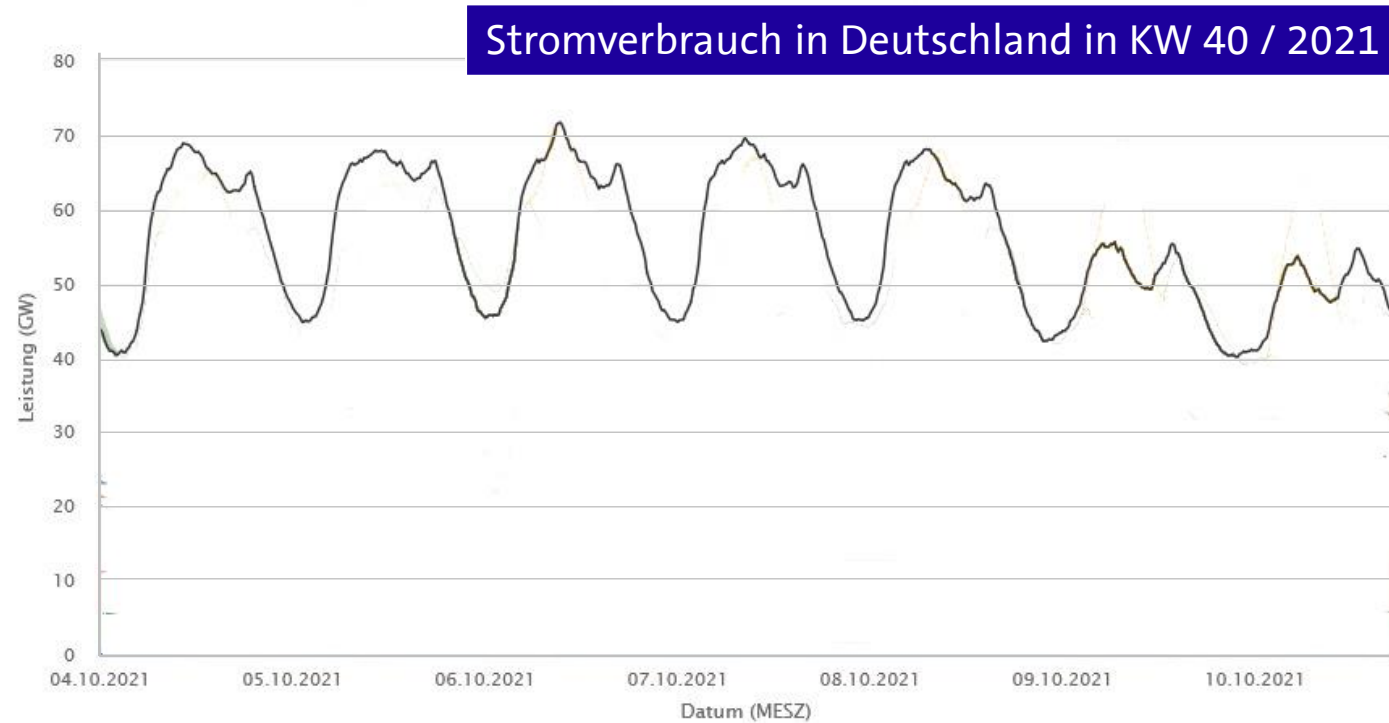


Produktion
muss zunehmen

Produktion
muss abnehmen



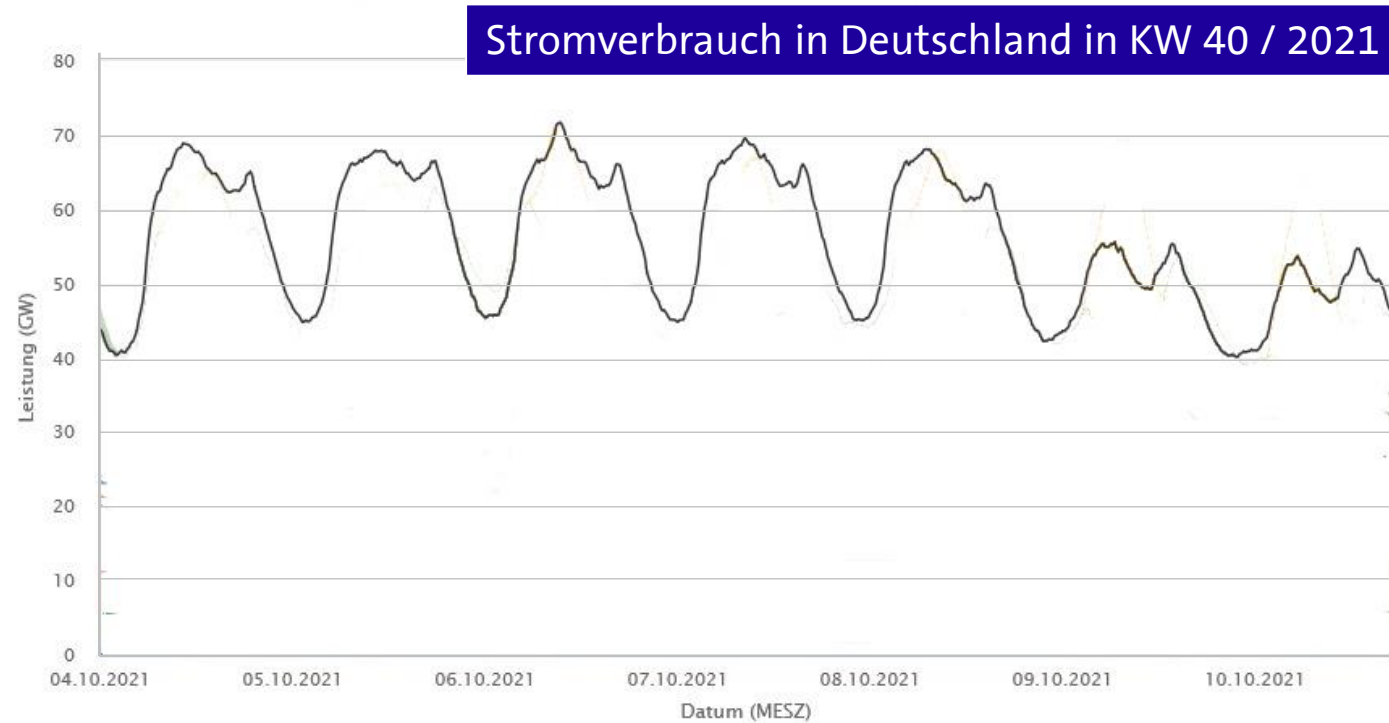
Betrachtet man die Vergangenheit, erkennt man Verbrauchsmuster und kann die Produktion planen



Quelle: <https://energy-charts.info> mit Daten von 50 Hertz, Amprion, Tennet, TransnetBW, EEX, ENTSO-E

Betrachtet man die Vergangenheit, erkennt man Verbrauchsmuster und kann die Produktion planen

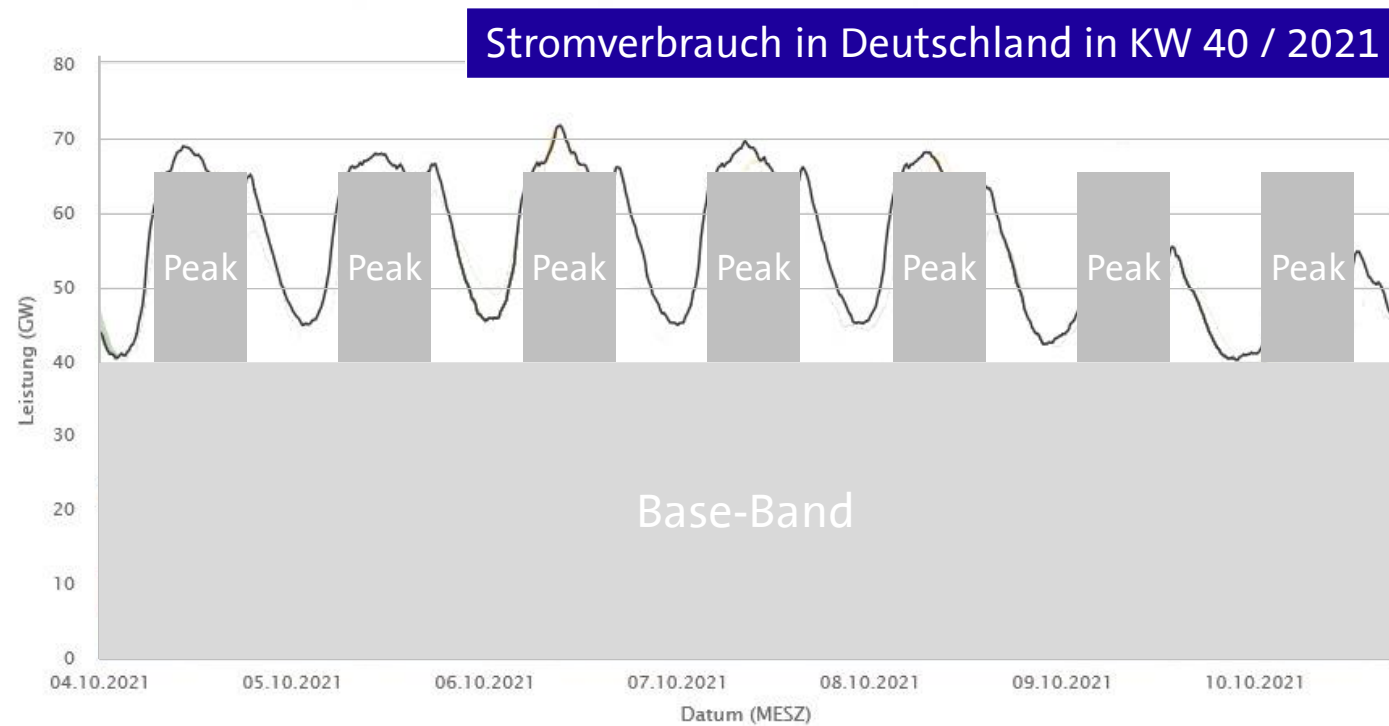
- Verbrauch folgt in regionaler Summe betrachtet bestimmten Mustern: Sommer/Winter, Morgen/Mittag/Abend, Wochentag/Wochenende
- Durch eine Prognose kann aus vergangenen Verbrauchswerten ein Fahrplan für die Produktion erstellt werden



Quelle: <https://energy-charts.info> mit Daten von 50 Hertz, Amprion, Tennet, TransnetBW, EEX, ENTSO-E

Betrachtet man die Vergangenheit, erkennt man Verbrauchsmuster und kann die Produktion planen

- Verbrauch folgt in regionaler Summe betrachtet bestimmten Mustern: Sommer/Winter, Morgen/Mittag/Abend, Wochentag/Wochenende
- Durch eine Prognose kann aus vergangenen Verbrauchswerten ein Fahrplan für die Produktion erstellt werden



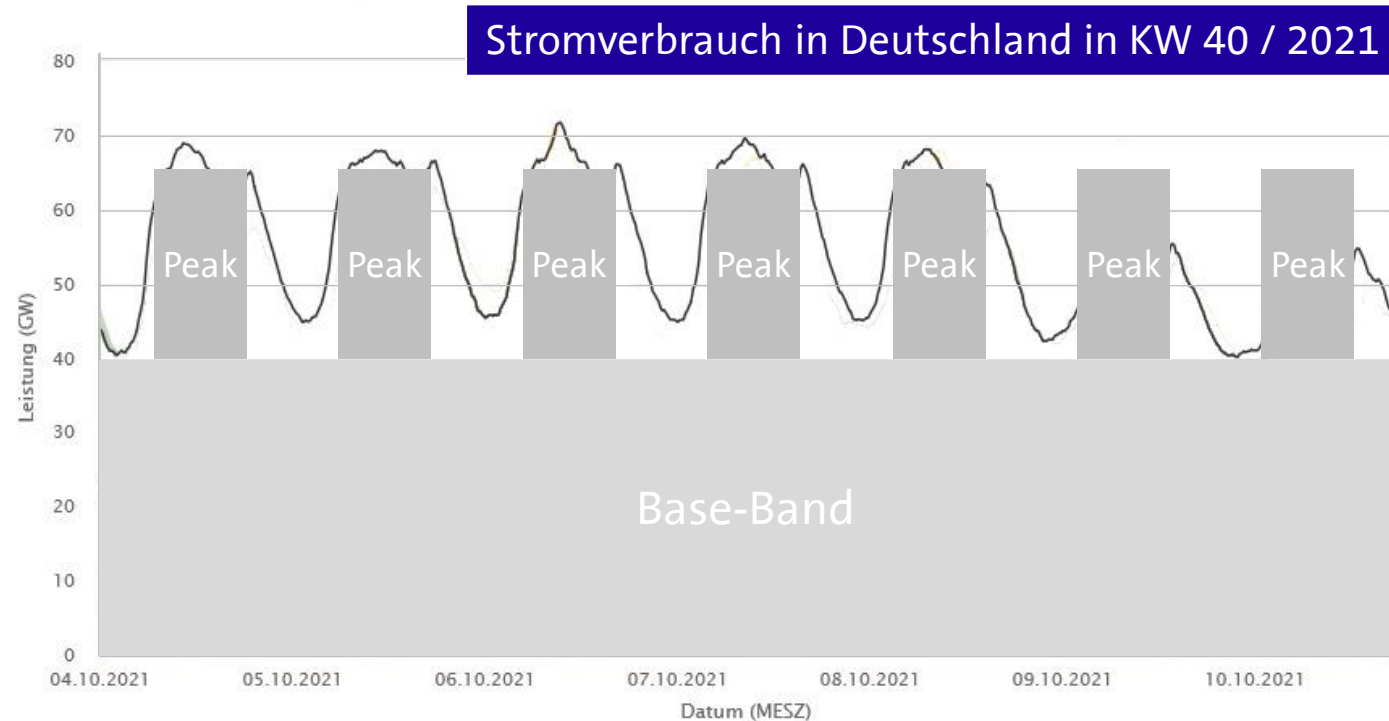
Quelle: <https://energy-charts.info> mit Daten von 50 Hertz, Amprion, Tennet, TransnetBW, EEX, ENTSO-E

Betrachtet man die Vergangenheit, erkennt man Verbrauchsmuster und kann die Produktion planen

- Verbrauch folgt in regionaler Summe betrachtet bestimmten Mustern: Sommer/Winter, Morgen/Mittag/Abend, Wochentag/Wochenende
- Durch eine Prognose kann aus vergangenen Verbrauchswerten ein Fahrplan für die Produktion erstellt werden

Terminmarkt:

- Im Voraus wird vereinbart, wieviel an einem bestimmten Tag erzeugt werden soll
- Damit der Handel einfach bleibt, gibt es Base und Peak



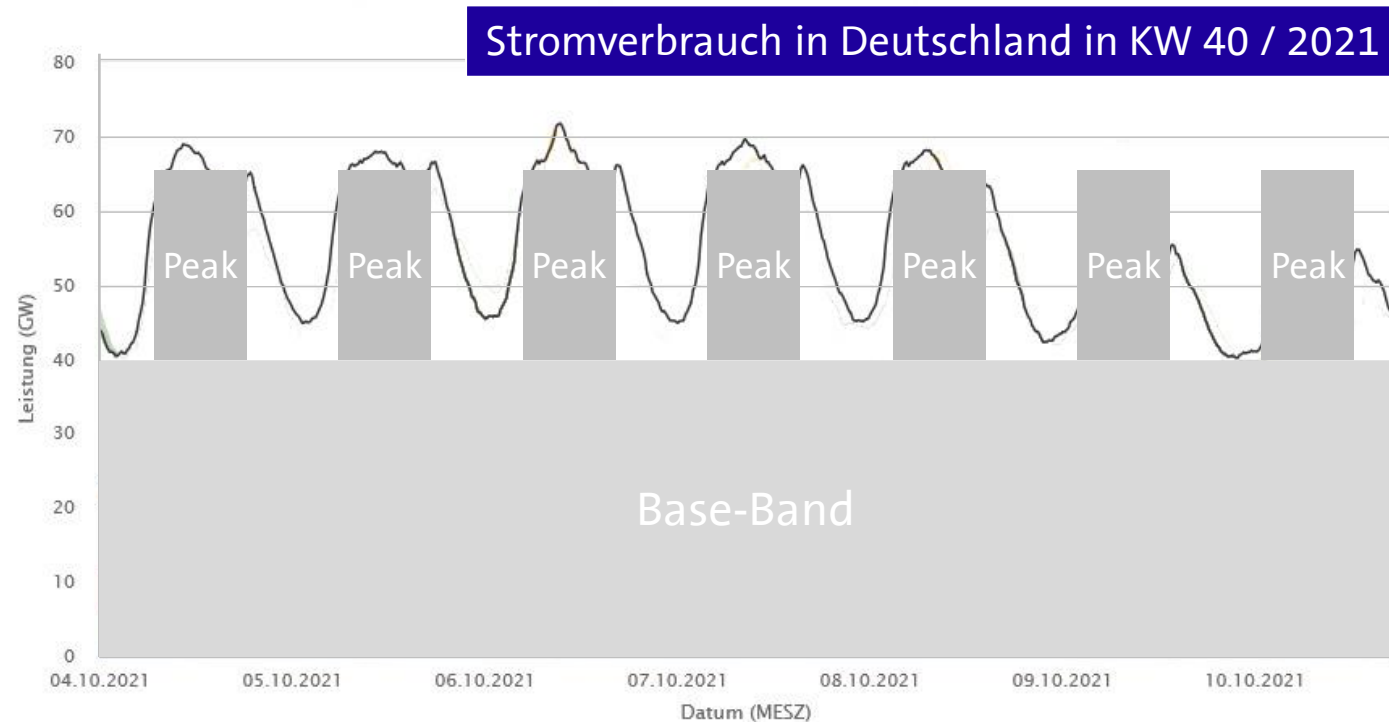
Quelle: <https://energy-charts.info> mit Daten von 50 Hertz, Amprion, Tennet, TransnetBW, EEX, ENTSO-E

Flexibilität für Terminmarkt:

- Erzeuger, die um 8 Uhr an- und um 20 Uhr abgeschaltet werden können
- ausreichend speicherbarer Energieträger

Anhand der Abschätzung des Verbrauchs am kommenden Tag kann der Produktionsfahrplan tags zuvor verfeinert werden

- Durch eine Prognose kann aus vergangenen Verbrauchswerten ein Fahrplan für die Produktion erstellt werden
- Da der Verbrauch nicht immer genau mit der Prognose übereinstimmt, muss man den Produktionsfahrplan anpassen, wenn absehbar wird, dass mehr oder weniger verbraucht wird als Base und Peak



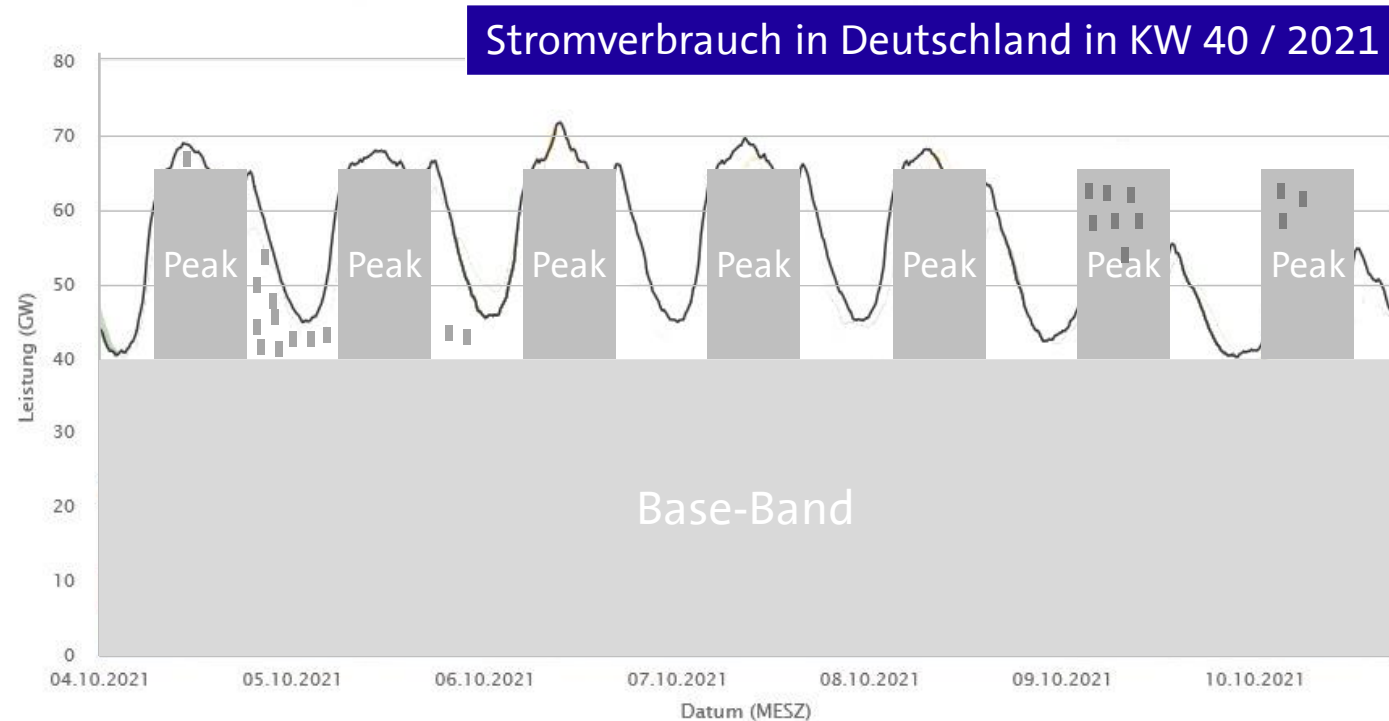
Quelle: <https://energy-charts.info> mit Daten von 50 Hertz, Amprion, Tennet, TransnetBW, EEX, ENTSO-E

Anhand der Abschätzung des Verbrauchs am kommenden Tag kann der Produktionsfahrplan tags zuvor verfeinert werden

- Durch eine Prognose kann aus vergangenen Verbrauchswerten ein Fahrplan für die Produktion erstellt werden
- Da der Verbrauch nicht immer genau mit der Prognose übereinstimmt, muss man den Produktionsfahrplan anpassen, wenn absehbar wird, dass mehr oder weniger verbraucht wird als Base und Peak

Spotmarkt:

- Einen Tag im Voraus werden Stunden- oder Viertelstundenblöcke in den Fahrplan einbezogen
- „Takt des Stromhandels“: ¼-Stunde

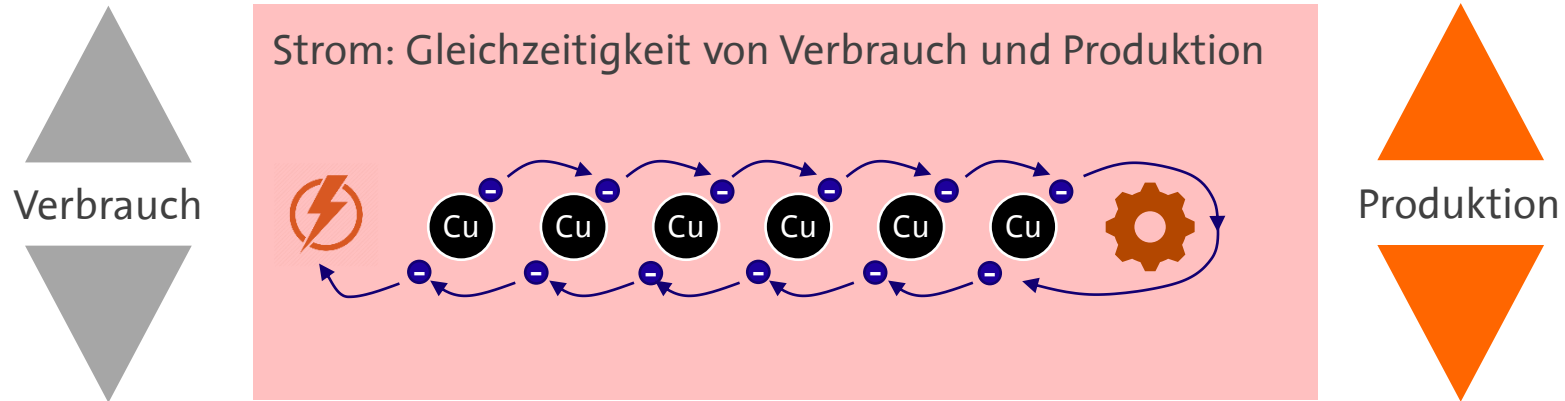


Quelle: <https://energy-charts.info> mit Daten von 50 Hertz, Amprion, Tennet, TransnetBW, EEX, ENTSO-E

Flexibilität für Spotmarkt:

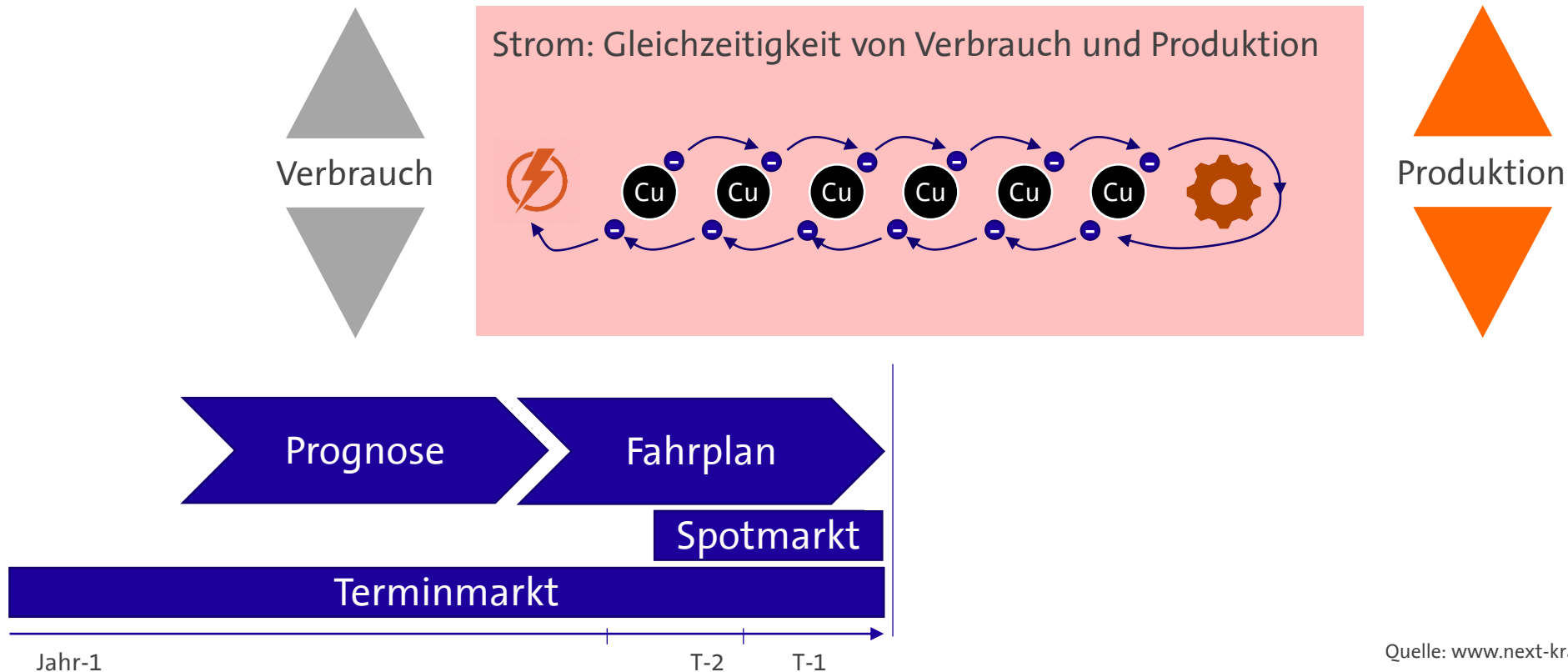
- Erzeuger, die kurzfristig ¼-h lang sicher produzieren können
- ausreichend speicherbarer Energieträger

Damit Strom fließt, muss jedem Verbrauch gleichzeitig eine ausreichende Produktion gegenüberstehen



Damit Strom fließt, muss jedem Verbrauch gleichzeitig eine ausreichende Produktion gegenüberstehen

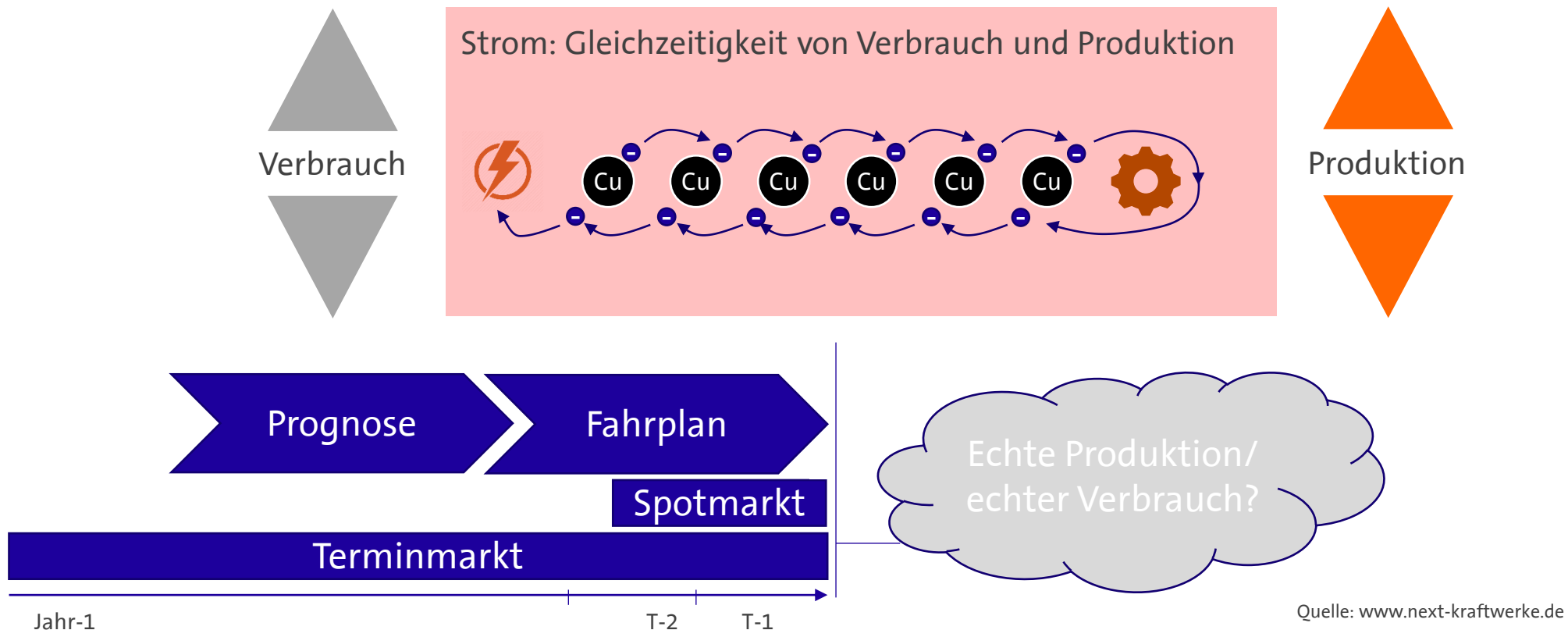
- Auch wenn man noch so viel Handel treibt: am Tag vorher weiß man nie, was am Ende wirklich gebraucht wird



Quelle: www.next-kraftwerke.de

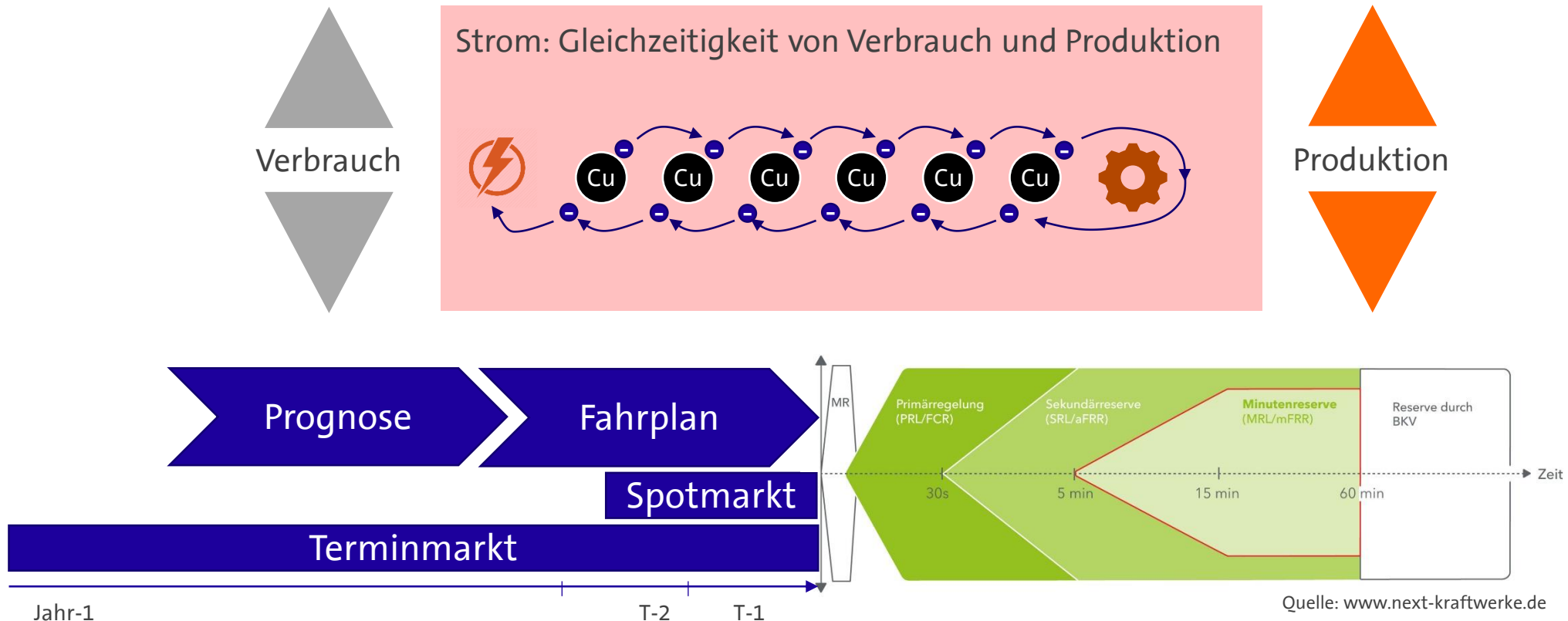
Damit Strom fließt, muss jedem Verbrauch gleichzeitig eine ausreichende Produktion gegenüberstehen

- Auch wenn man noch so viel Handel treibt: am Tag vorher weiß man nie, was am Ende wirklich gebraucht wird



Damit Strom fließt, muss jedem Verbrauch gleichzeitig eine ausreichende Produktion gegenüberstehen

- Auch wenn man noch so viel Handel treibt: am Tag vorher weiß man nie, was am Ende wirklich gebraucht wird
- Es ist Aufgabe des (Übertragungs-)Netzbetreibers, die Differenz zwischen Verbrauch und geplanter Produktion in kurzer Zeit auszugleichen, damit das Gleichgewicht zwischen Verbrauch und Produktion immer gewahrt bleibt

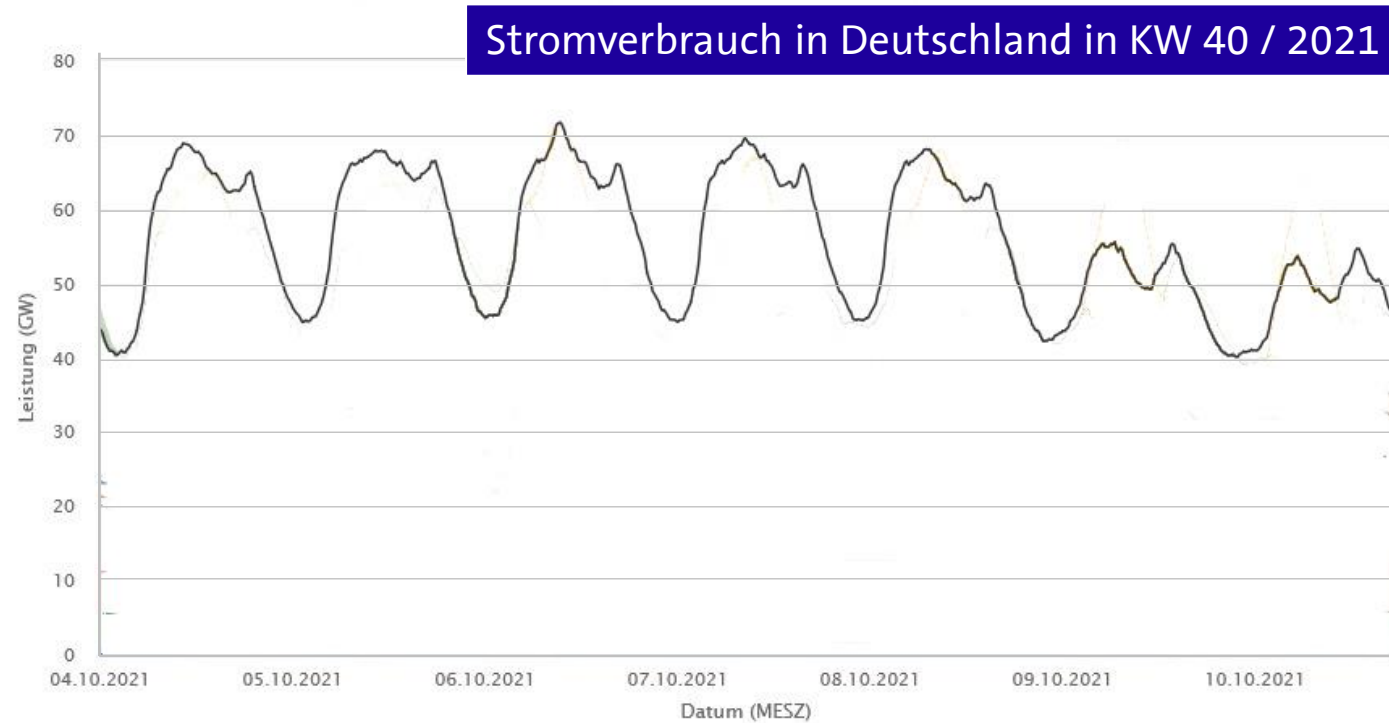


Strom als „Gleichgewicht“ zwischen Verbrauch und Produktion

Entwicklung des Elektrizitätssystems durch Zunahme Erneuerbarer Energien

Flexibilität ist nicht gleich Flexibilität: Diskussionsfelder

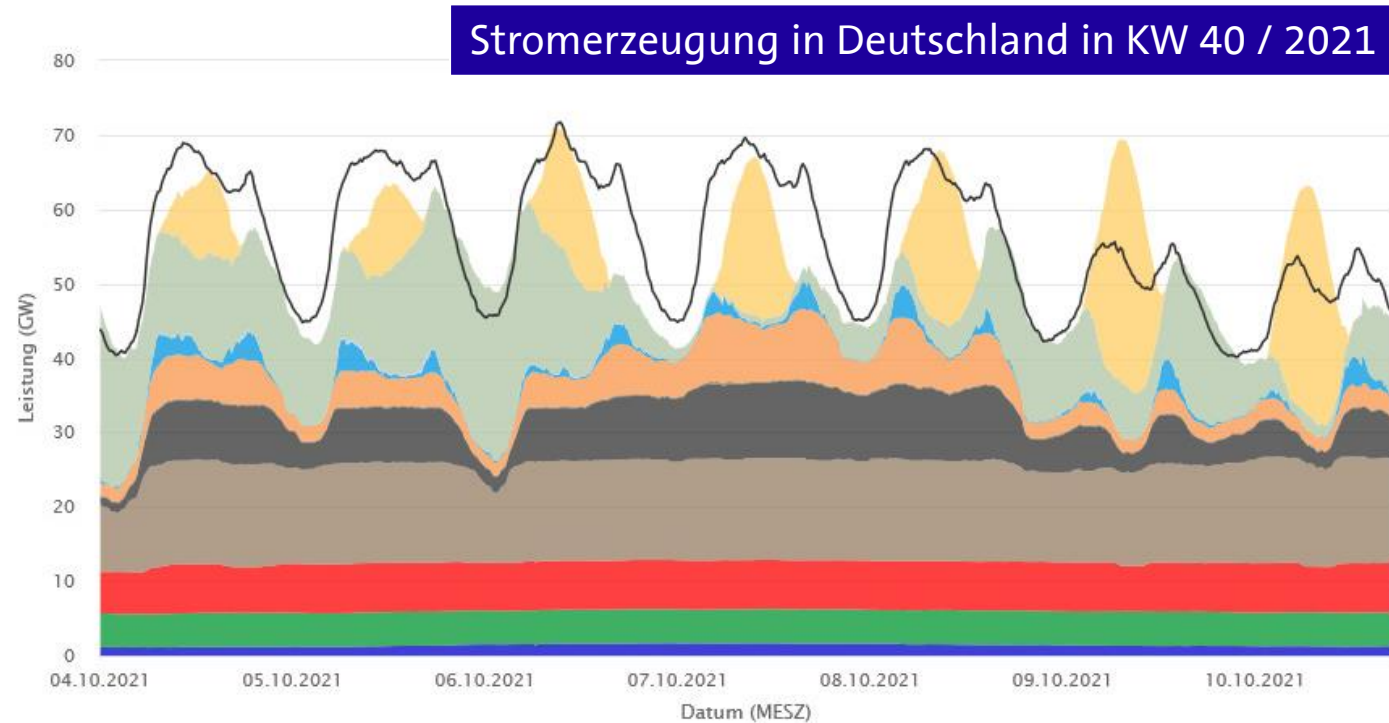
Betrachtet man die Vergangenheit, erkennt man Verbrauchsmuster und kann die Produktion planen



Quelle: <https://energy-charts.info> mit Daten von 50 Hertz, Amprion, Tennet, TransnetBW, EEX, ENTSO-E

Kommt Erzeugung ins System, die weniger gut planbar ist, müssen andere Systemteilnehmer flexibler werden

- Produktion aus Erneuerbaren Energien hat in Deutschland „Produktionsvorrang“:
Je mehr aus ihnen erzeugt wird und je stärker sie schwanken, desto mehr müssen andere „anpassen“
- Zum Glück lassen sich Wasserkraft, Windkraft und Sonne recht gut prognostizieren



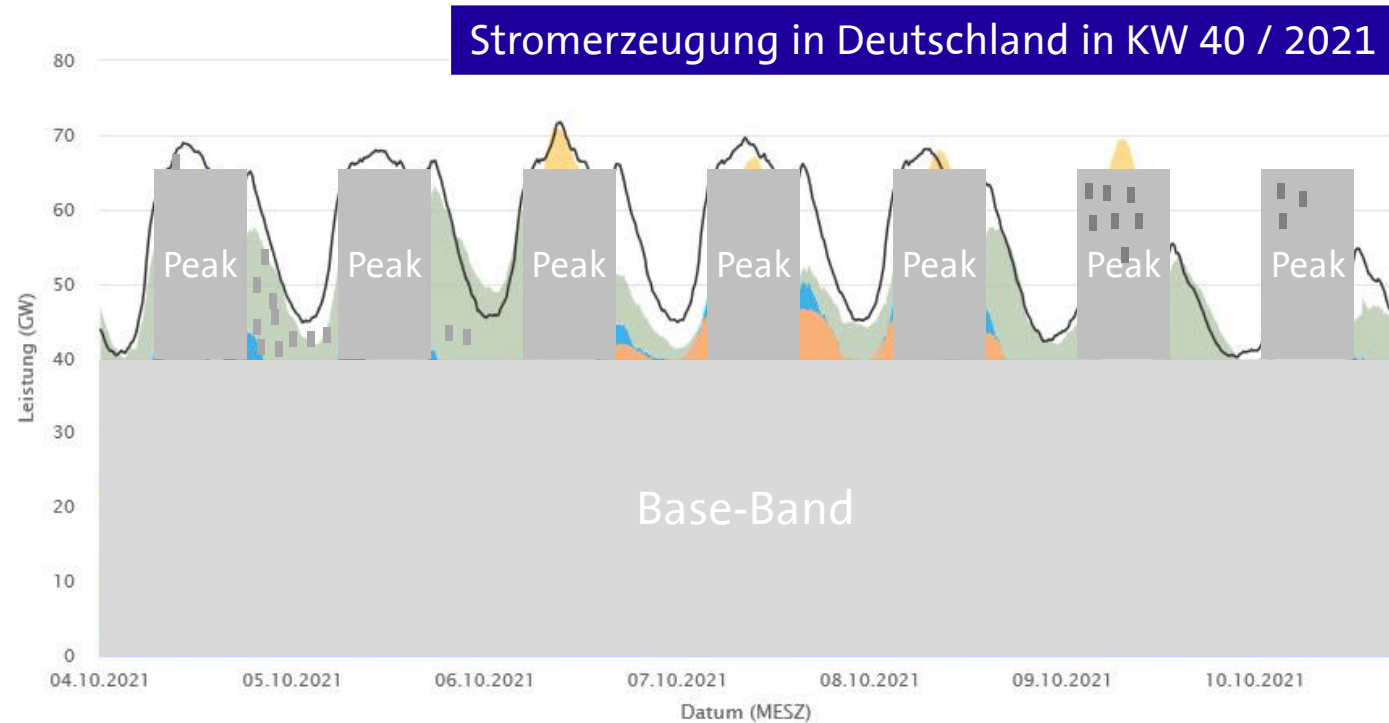
Quelle: <https://energy-charts.info> mit Daten von 50 Hertz, Amprion, Tennet, TransnetBW, EEX, ENTSO-E

Kommt Erzeugung ins System, die weniger gut planbar ist, müssen andere Systemteilnehmer flexibler werden

- Produktion aus Erneuerbaren Energien hat in Deutschland „Produktionsvorrang“:
Je mehr aus ihnen erzeugt wird und je stärker sie schwanken, desto mehr müssen andere „anpassen“
- Zum Glück lassen sich Wasserkraft, Windkraft und Sonne recht gut prognostizieren

Termin- und Spotmarkt:

- In langfristigen Kontrakten wird saisonale EE-Produktion berücksichtigt
- Verfeinerung des Plans mit Wetterprognose des nächsten Tages



Quelle: <https://energy-charts.info> mit Daten von 50 Hertz, Amprion, Tennet, TransnetBW, EEX, ENTSO-E

Flexibilität für Termin und Spotmarkt:

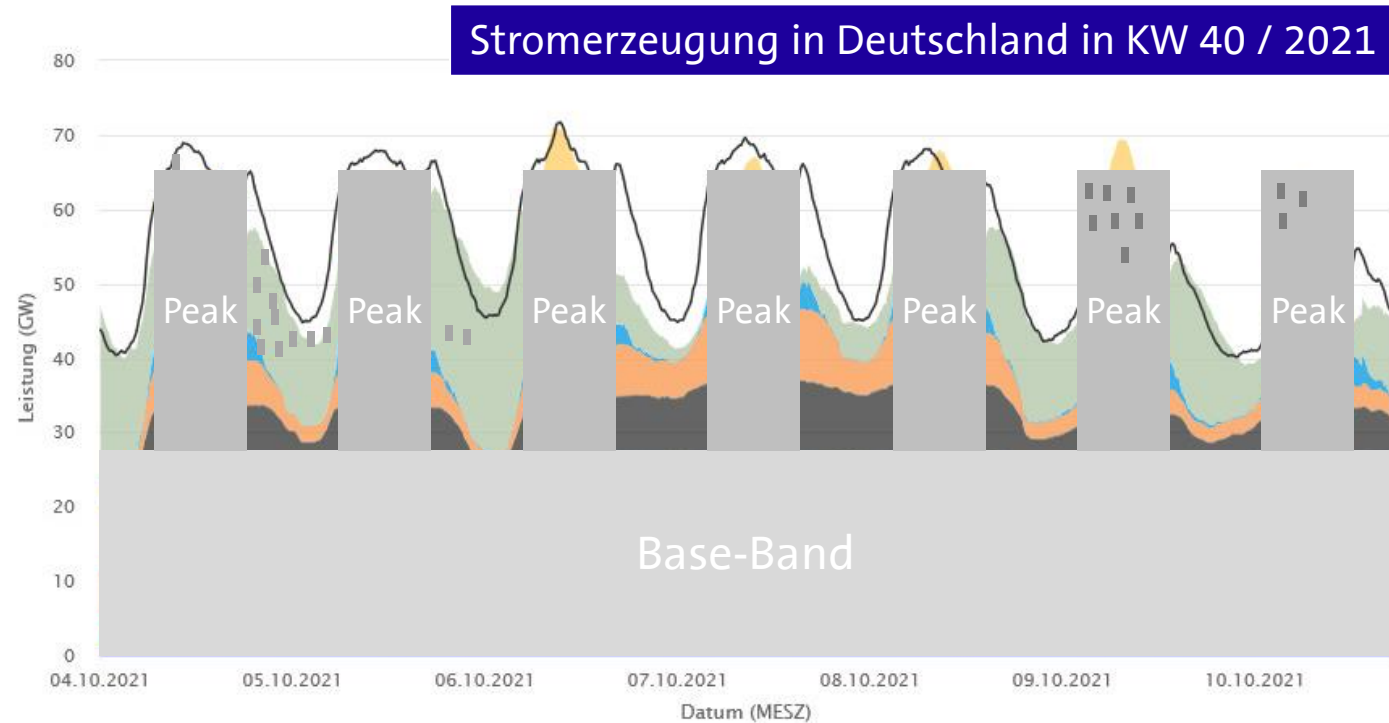
- Erzeuger, die schnell abgeschaltet werden können
- ausreichend speicherbarer Energieträger

Kommt Erzeugung ins System, die weniger gut planbar ist, müssen andere Systemteilnehmer flexibler werden

- Produktion aus Erneuerbaren Energien hat in Deutschland „Produktionsvorrang“: Je mehr aus ihnen erzeugt wird und je stärker sie schwanken, desto mehr müssen andere „anpassen“
- Zum Glück lassen sich Wasserkraft, Windkraft und Sonne recht gut prognostizieren

Termin- und Spotmarkt:

- In langfristigen Kontrakten wird saisonale EE-Produktion berücksichtigt
- Verfeinerung des Plans mit Wetterprognose des nächsten Tages



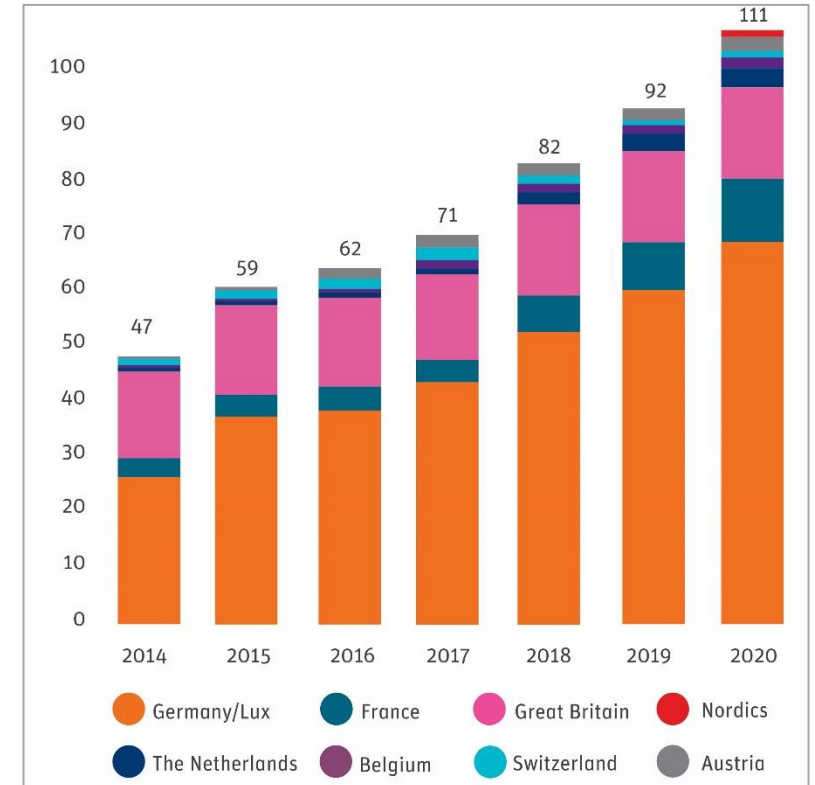
Quelle: <https://energy-charts.info> mit Daten von 50 Hertz, Amprion, Tennet, TransnetBW, EEX, ENTSO-E

Flexibilität für Termin und Spotmarkt:

- Erzeuger, die schnell abgeschaltet werden können
- ausreichend speicherbarer Energieträger

Kommt Erzeugung ins System, die weniger gut planbar ist, kann der Markt recht schnell darauf reagieren

- Die Bedeutung der Kurzfristmärkte nimmt im Großhandel kontinuierlich zu, Liquidität wird aus dem Terminmarkt in den Spotmarkt verlagert
- Zum Spotmarkt tritt der Afterday-Markt: Stunden- und Viertelstundenkontrakte werden noch am Tag des Verbrauchs gehandelt
- Die zunehmende Zahl von kleineren Erzeugungsanlagen wird zu größeren und „börsenfähigen“ virtuellen Kraftwerken aggregiert



Volumenanstieg im Intradaymarkt

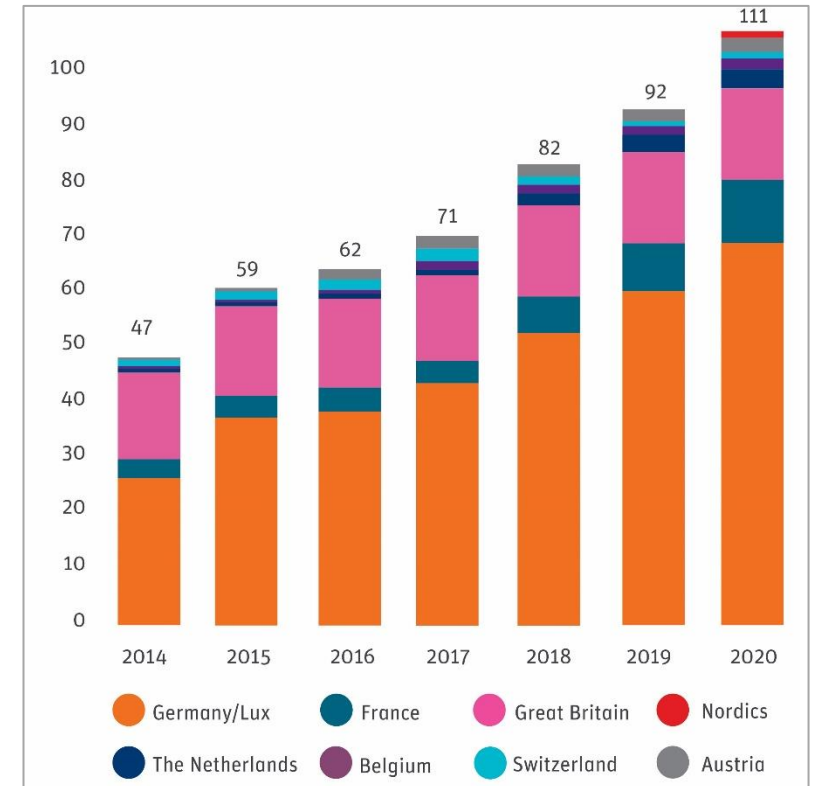
Quelle: EPEX Trading Brochure 2021

Kommt Erzeugung ins System, die weniger gut planbar ist, kann am leichtesten der Markt reagieren

- Die Bedeutung der Kurzfristmärkte nimmt im Großhandel kontinuierlich zu, Liquidität wird aus dem Terminmarkt in den Spotmarkt verlagert
- Zum Spotmarkt tritt der Afterday-Markt: Stunden- und Viertelstundenkontrakte werden noch am Tag des Verbrauchs gehandelt
- Die zunehmende Zahl von kleineren Erzeugungsanlagen wird zu größeren und „börsenfähigen“ virtuellen Kraftwerken aggregiert

Herausforderungen:

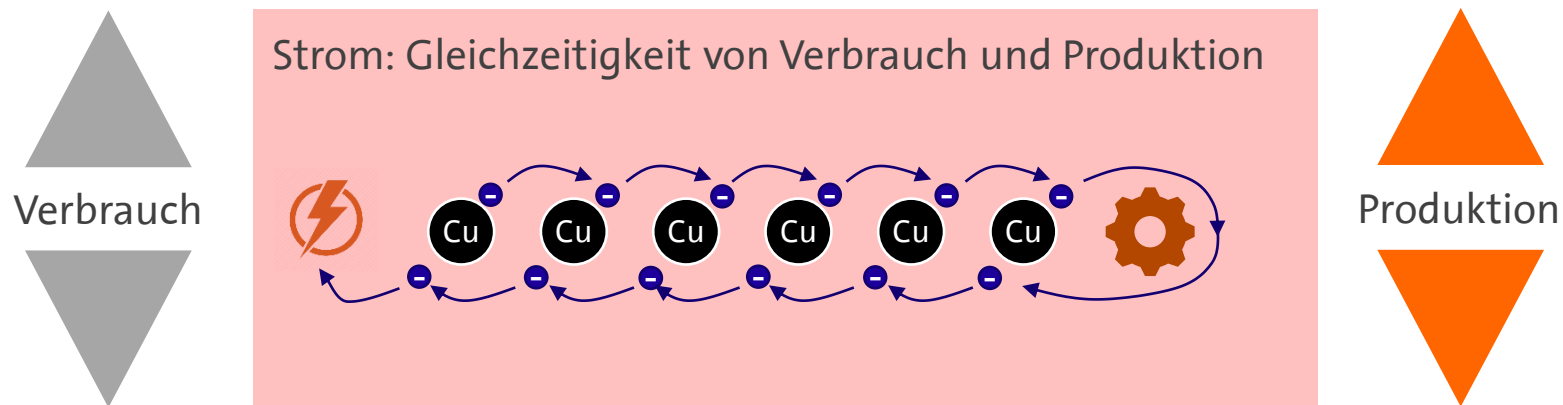
- Spezialisten und Systeme mit untertägiger Prognosefähigkeit
- Zusammenführung vieler kleinerer Maschinen mit vielen verschiedenen Steuerungslösungen zu virtuellen Maschinen unter Berücksichtigung der individuellen Gegebenheiten jeder einzelnen Maschine



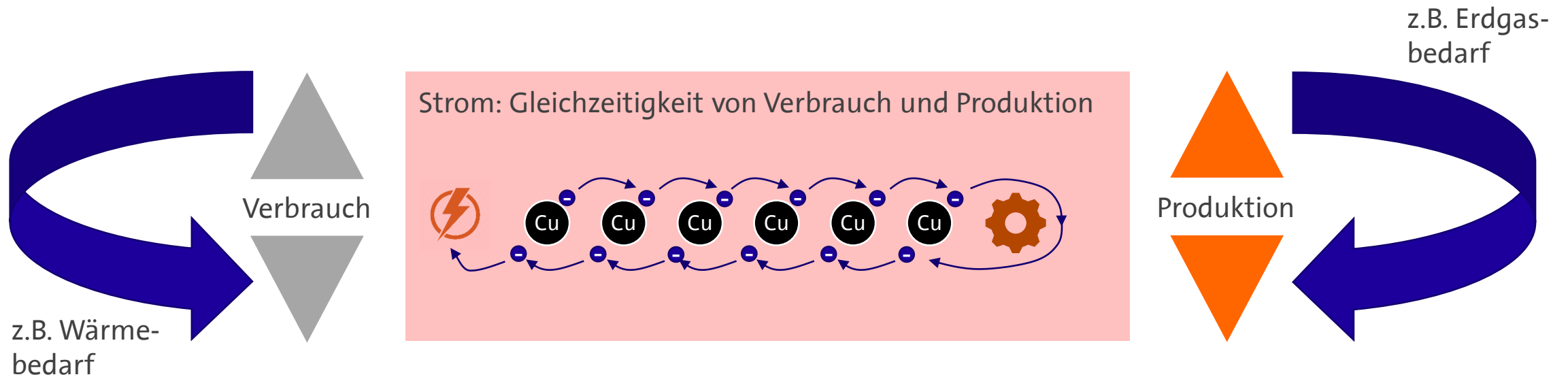
Volumenanstieg im Intradaymarkt

Quelle: EPEX Trading Brochure 2021

Auch bei kleinteiligeren Produktionseinheiten gilt: Verbrauch und Produktion müssen immer ausgeglichen sein

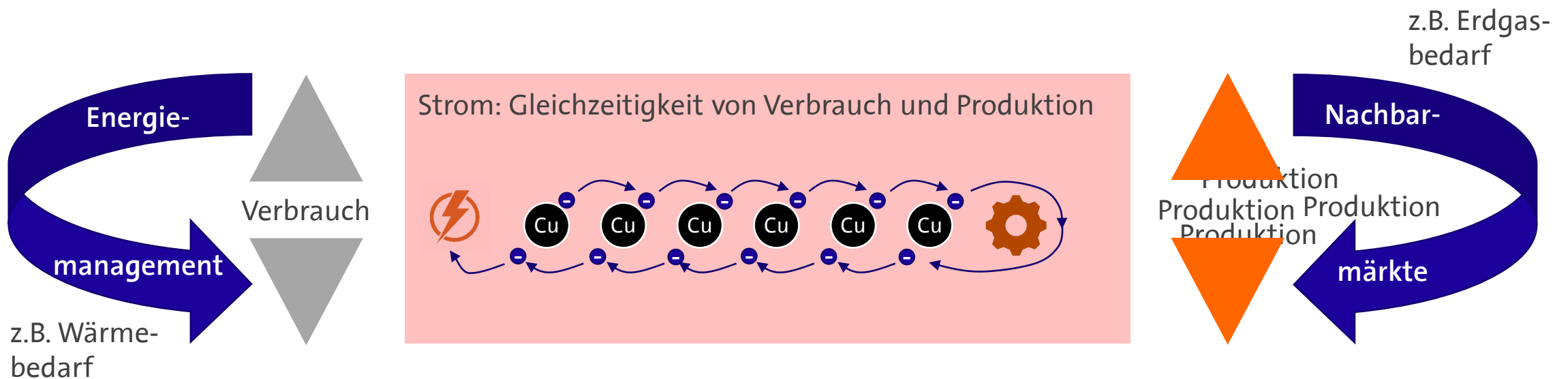


Dabei muss verbrauchs- und produktionseitig oft mehr berücksichtigen werden als nur der Strom(-markt)



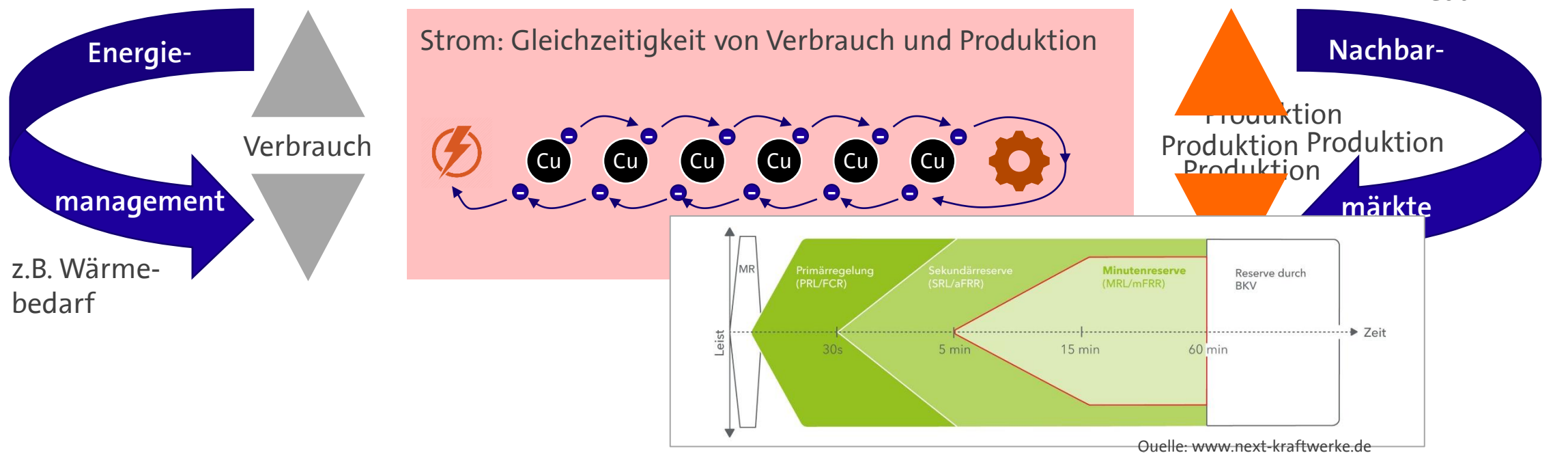
Dabei muss verbrauchs- und produktionseitig oft mehr berücksichtigen werden als nur der Strom(-markt)

- Zusätzlichen Erlösen aus dem Verkauf von flexibler Produktion und flexiblem Verbrauch stehen Mehrkosten z.B. für das Energiemanagement oder die Bündelung für den Handel gegenüber
- Verflechtung mit anderen Märkten und zunehmende Zahl der Produktionsanlagen verändert Risiken und die Komplexität des Handels



Die zunehmende Kleinteiligkeit trifft auch die für die Systemstabilität verantwortlichen Netzbetreiber

- Zusätzlichen Erlösen aus dem Verkauf von flexibler Produktion und flexiblem Verbrauch stehen Mehrkosten z.B. für das Energiemanagement oder die Bündelung für den Handel gegenüber
- Verflechtung mit anderen Märkten und zunehmende Zahl der Produktionsanlagen verändert Risiken und die Komplexität des Handels
- Ansteuerbare und verlässlich abschaltbare Verbraucher und verfügbare Produktionsanlagen müssen von den Netzbetreibern aus vielen kleinen Anlagen „zusammengestuft“ werden

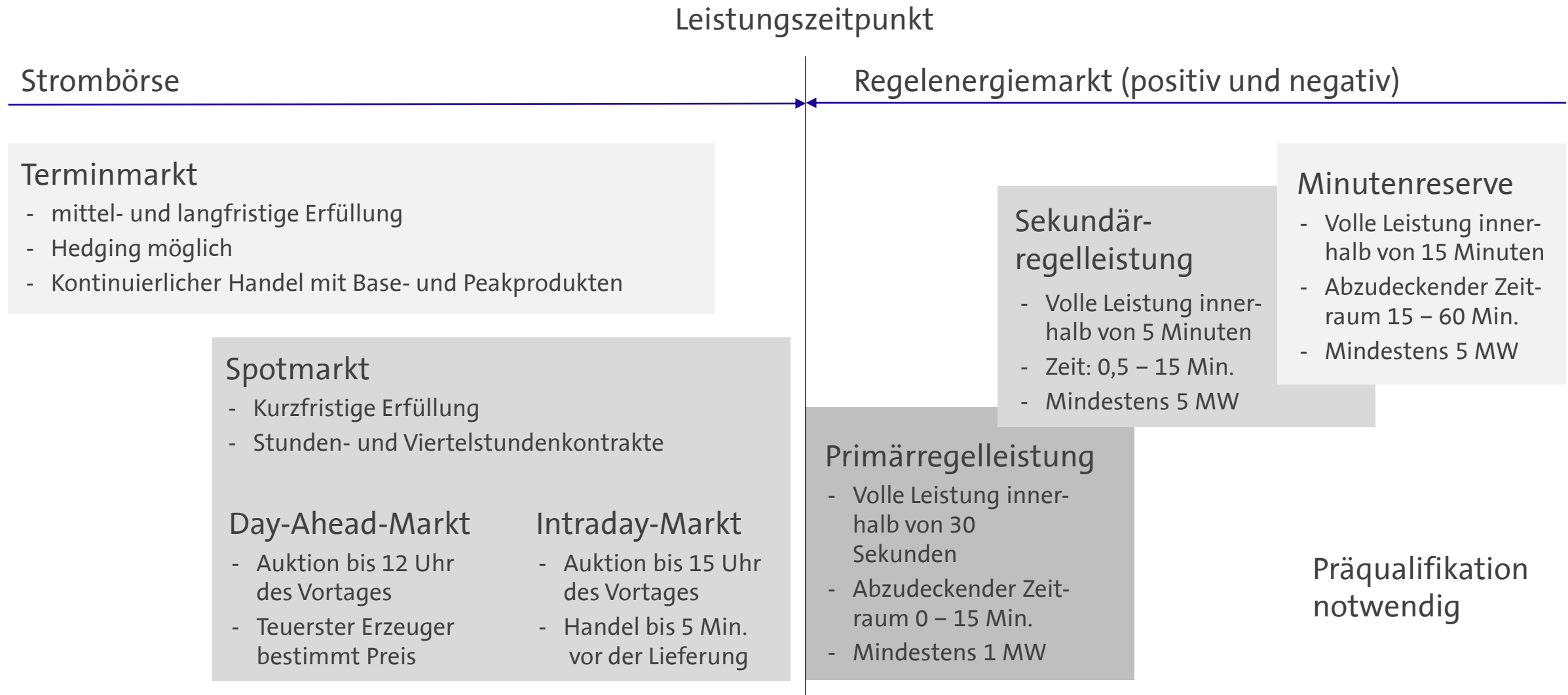


Strom als „Gleichgewicht“ zwischen Verbrauch und Produktion

Entwicklung des Elektrizitätssystems durch Zunahme Erneuerbarer Energien

Flexibilität ist nicht gleich Flexibilität: Diskussionsfelder

Es gibt viele Arten der Flexibilität, um die Stromversorgung stabil zu halten

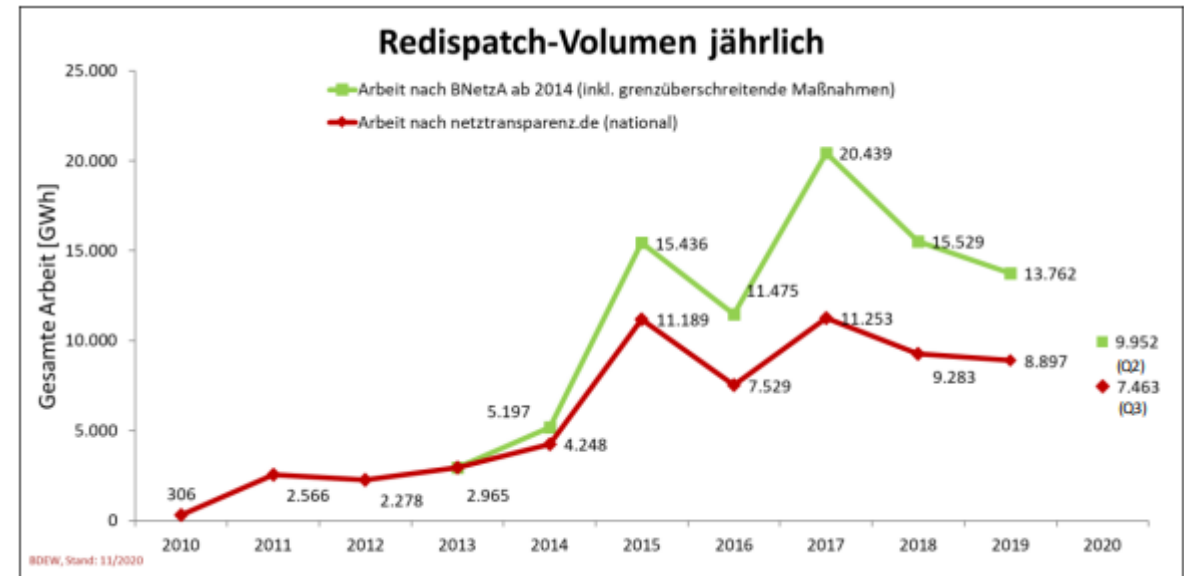


Der Handel funktioniert virtuell und ortsunabhängig, das Netz hat örtliche Begrenzungen

Auch wenn in Summe in Deutschland Verbrauch und Produktion übereinstimmen, ist ein Ausgleich nötig:

- windkraftbedingter Stromüberschuss im Norden
- zunehmendes Stromdefizit im Süden durch Kraftwerksstilllegungen und hohe Stromnachfrage
- Ausgleich zwischen Norden und Süden ist nicht möglich, weil es zu Engpässen im Netz kommt

Das Volumen der Redispatch-Arbeit hat in den vergangenen Jahren zugenommen, gleichzeitig steigt der CO₂-Ausstoß, weil der nichtgenutzte EE-Strom durch Elektrizität aus konventionellen Kraftwerken ersetzt werden muss

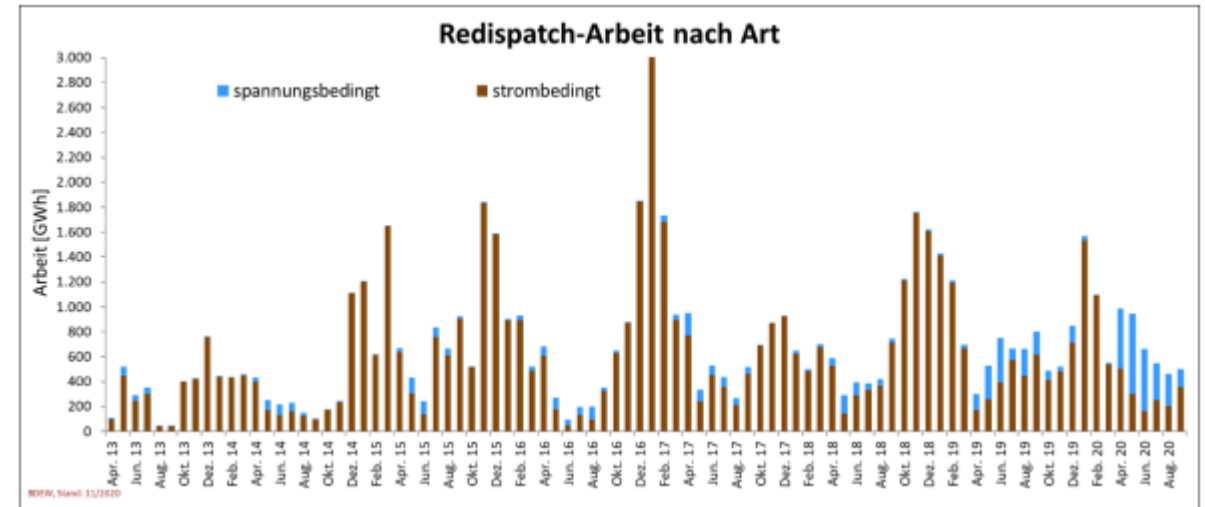


Quelle: www.bdew.de

Flex ist nicht gleich Flex: Weil der Handel beim Ausgleich Produktions- und Verbrauchsorte weitgehend unberücksichtigt lässt, müssen die Netzbetreiber Flexibilität am richtigen Ort/Knoten bereitstellen

Der Handel kennt nur den Unterschied zwischen Stromverbrauch und Produktion, das Netz kennt auch

- Überwiegender Teil der Redispatchmaßnahmen erfolgt bis jetzt strombedingt (also zum Mengenausgleich)
- In den Sommermonaten steht immer mehr PV-Leistung einer immer kleineren Zahl von konventionellen Kraftwerken gegenüber, die Blindleistung bereitstellen können, um die Spannung auch bei hoher PV-Produktion aufrecht zu erhalten
- Kommt es dann zu einem starken Verbrauchsrückgang, steigt der strombedingte Redispatchbedarf



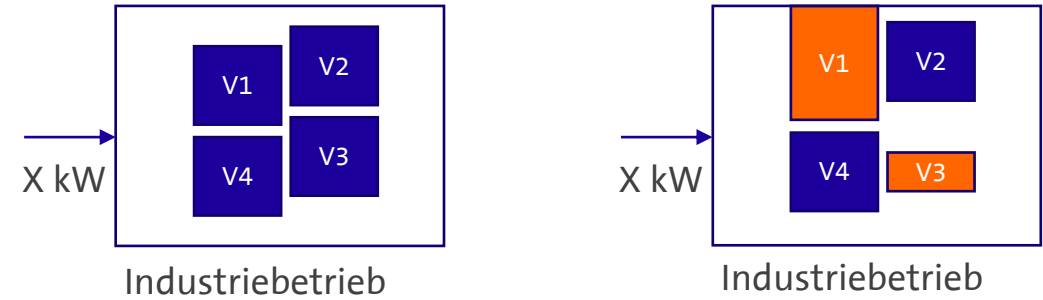
Quelle: www.bdew.de

Im Verteilnetz gibt es zwar Vereinbarungen zur Blindstromkompensation, Blindstrom wird aber weder genauer gemessen noch gezielt gesteuert – es fehlt an Mess- und Steuergerät und „Geldvorteil“

Flex ist nicht gleich Flex: Während für den Handel nur der Mengenausgleich zählt, ist für den Netzbetrieb auch die Spannungshaltung und der Blindstrom relevant – und könnte von PV-Anlagen zur Verfügung stehen

Der Handel handelt mit dem knappen Gut Strom, das Netz könnte mit dem knappen Gut Netzkapazität handeln

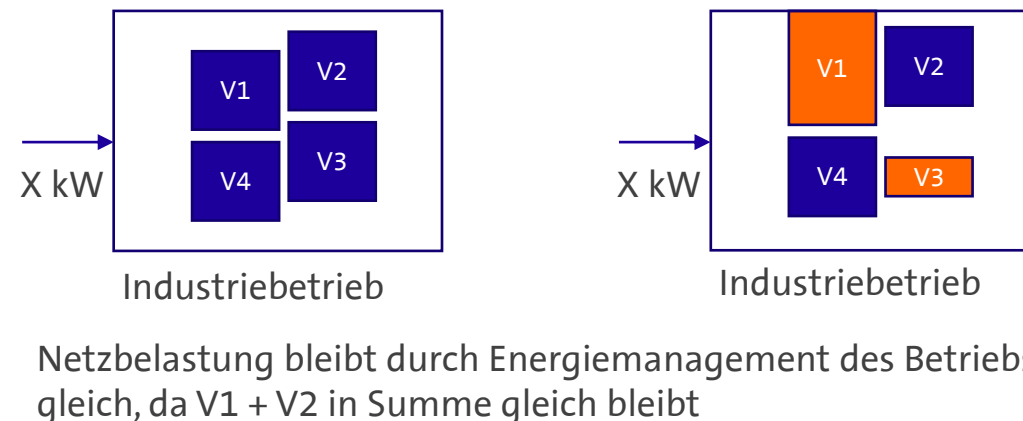
- Die Netznutzungsentgelte großer Netzkunden mit 1/4 h-Leistungsmessung berücksichtigen neben der Jahresarbeit in kWh auch den höchsten Leistungsmittelwert des Abrechnungszeitraums in kW. Damit gibt es einen wirtschaftlichen Anreiz, die Kapazität des Netzanschlusses nicht zu überschreiten.



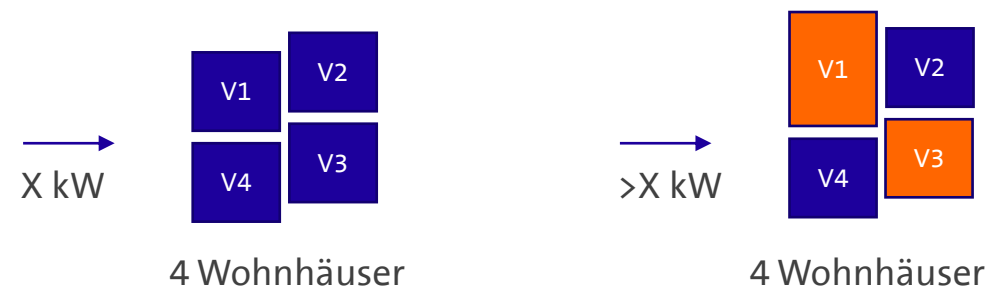
Netzbelastung bleibt durch Energiemanagement des Betriebs gleich, da $V1 + V2$ in Summe gleich bleibt

Der Handel handelt mit dem knappen Gut Strom, das Netz könnte mit dem knappen Gut Netzkapazität handeln

- Die Netznutzungsentgelte großer Netzkunden mit 1/4 h-Leistungsmessung berücksichtigen neben der Jahresarbeit in kWh auch den höchsten Leistungsmittelwert des Abrechnungszeitraums in kW. Damit gibt es einen wirtschaftlichen Anreiz, die Kapazität des Netzanschlusses nicht zu überschreiten.



- Kunden unter 100.000 kWh Jahresverbrauch haben in der Regel keinen wirtschaftlichen Anreiz aus Netzentgelten, obwohl sie in Summe gleiche Lastspitzen verursachen können wie Industriebetriebe



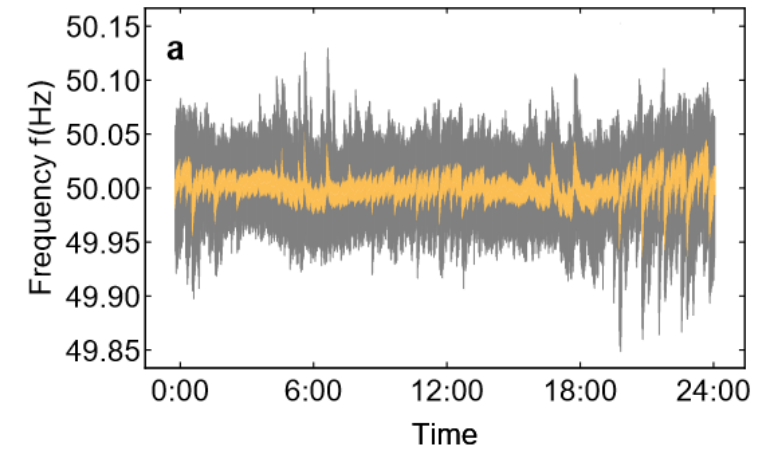
Flex ist nicht gleich Flex: Während große Kunden durch eigenes Lastmanagement Netzspitzen vermeiden, gibt es kundenübergreifend z.B. für das Laden von eFahrzeugen noch keinen Ausgleichsmechanismus

Puls der Netzstabilität: 50 Hertz

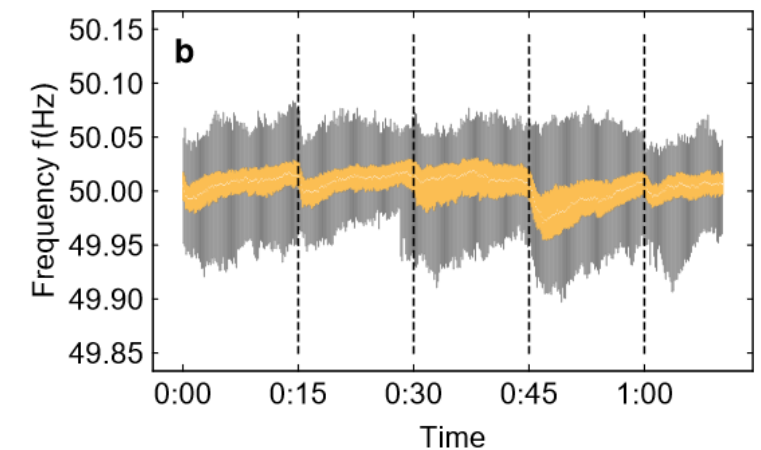
Puls des Stromhandels: ¼-Stunden (= 1.000 x Pulsdauer Netz)

- Der Handel verursacht viertelstündliche Frequenzänderungen, die die Netzbetreiber ausgleichen müssen (siehe „Non-Gaussian Power Grid Frequency Fluctuations Characterized by Lévy-stable Laws and Superstatistics“, Benjamin Schäfer et al.)
- Der Zuschnitt der Handelsprodukte in Base und Peak verursacht u.a. an den „Peakrändern“ hohe Preisschwankungen, da die groben Terminmarktblöcke durch feinere Spotmarktmengen an den tatsächlich erwarteten Stromverbrauch angeglichen werden müssen
- Der Stromhandel kann eine grundsätzlich benötigte Flexibilität des künftigen Energiemarktes nicht ausreichend fassen: die Bereitstellung ausreichender verlässlich verfügbarer Energie im Winter. Denn hierfür sind Speicher- und Transportfähigkeiten weiterer, chemischer Energieträger zu berücksichtigen.

Flex ist nicht gleich Flex: Stromhandel ohne Berücksichtigung der Netze und chemischer Energieträger reicht nicht aus



Fluktuation der Frequenz während eines Tages (a) und einer Stunde (b)



- Konkurrenz um die Flexibilität nimmt zu.
- Je weniger sicher steuerbare Leistung es gibt (im Hinblick auf Menge, auf (Jahres-)Zeit, Stabilität, Qualität, ...) desto komplexer wird die Verteilung dieser Leistung auf die Flexbedarfe.
- Die Flexbedürftigen tun gut daran, sich besser über ihre Bedarfe und Abrufe auszutauschen.