



Blockheizkraftwerke als flexible Erzeugungskapazitäten

und ihre Möglichkeiten der Systemdienstleistungen

Gunnar Kaestle, Institut für Elektrische Energietechnik

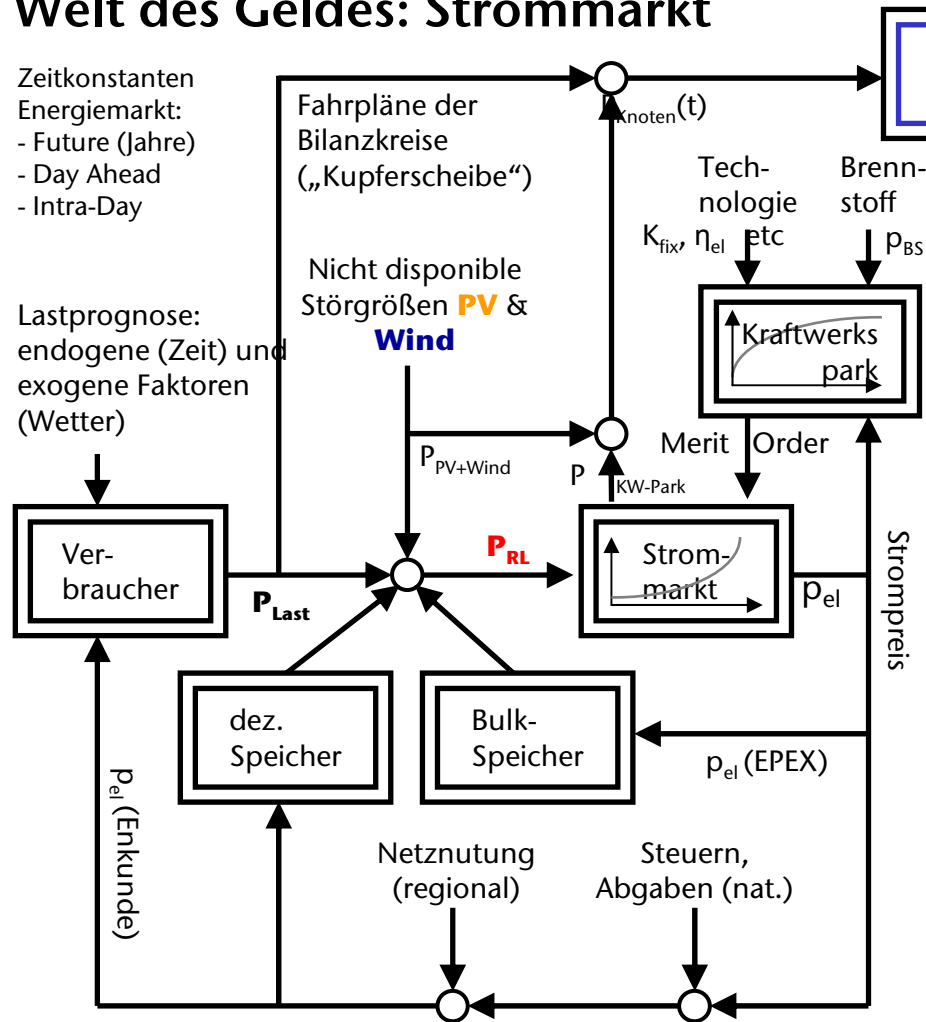
Die Rolle der Kraft-Wärme-Kopplung
in der zukünftigen Energieversorgung
Fachtagung in Freiburg, 2013-03-21

Gliederung

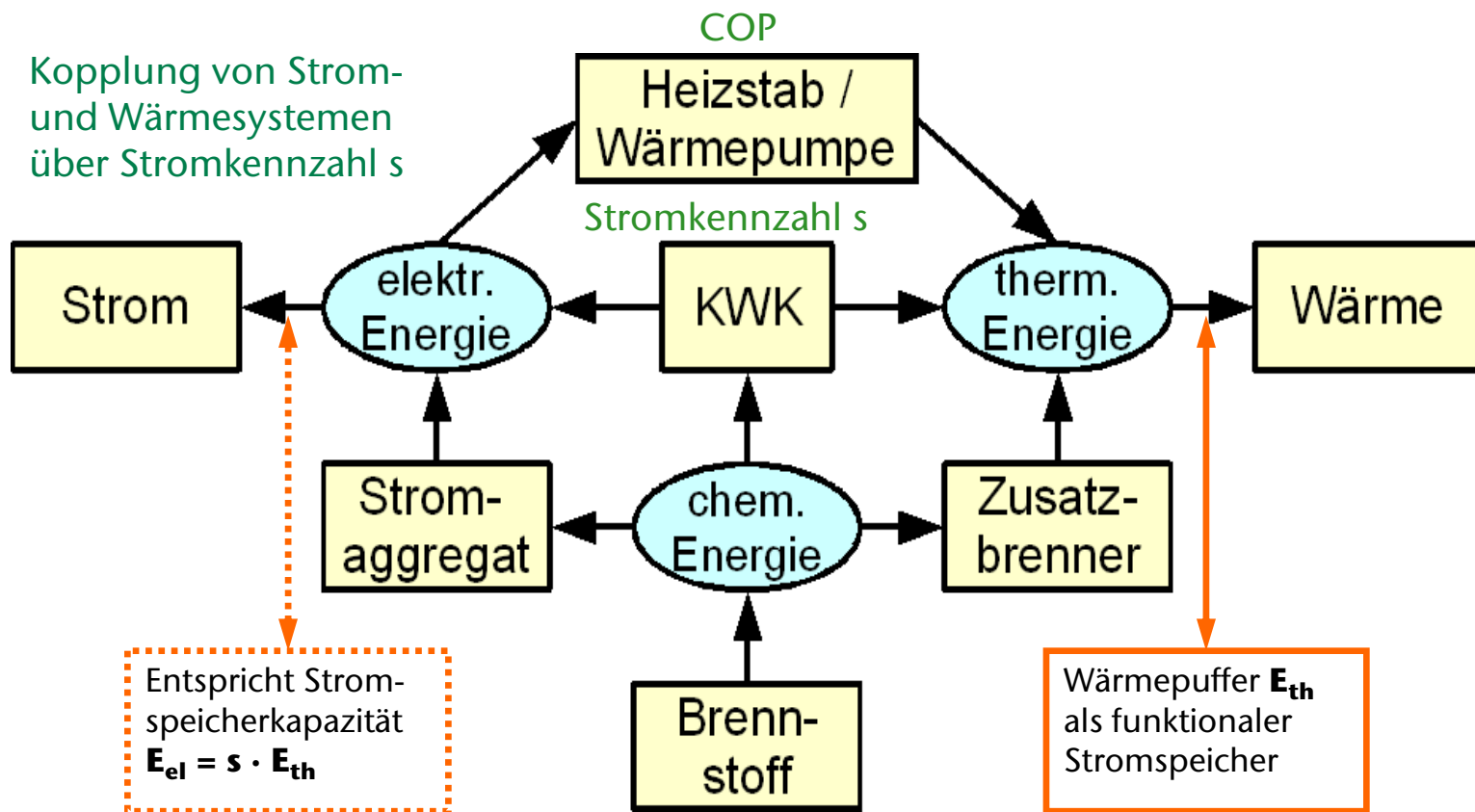
- KWK als Schlüsselement der Energiewende
- Netzstabilisierung durch Systemdienstleistungen
- Marktintegration durch flexiblen Anlagenbetrieb
- Was, wenn die Energiewende nicht gelingt?

Elektrizitätsmarkt als nicht-linearer Regelkreis (Quelle: DKE)

Welt des Geldes: Strommarkt

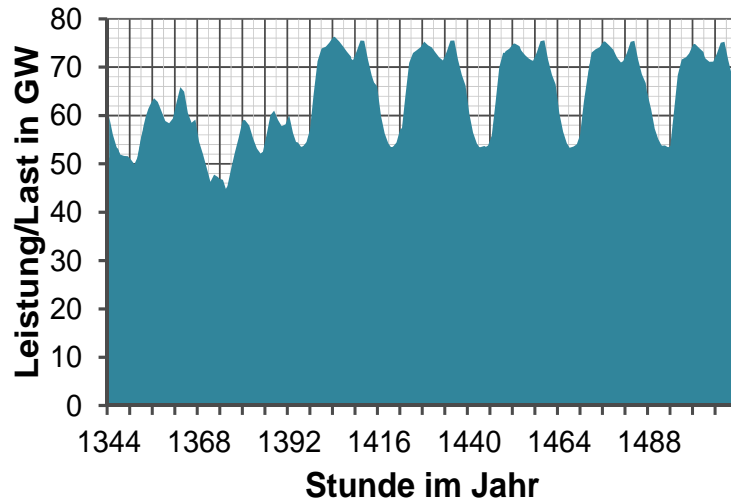


Kraft-Wärme-Kopplungssystem als Energiedrehscheibe



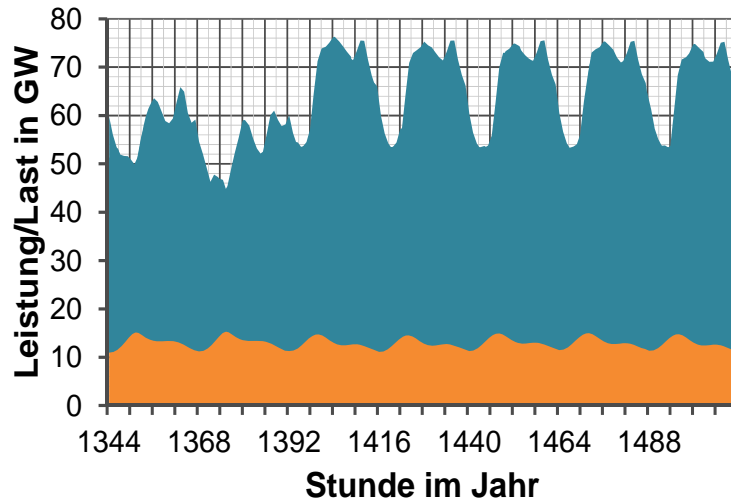
Flexibles Heizsystem zur **funktionalen Stromspeicherung**: $1 \text{ m}^3 \text{ Wasser} \sim 25 \text{ kWh}_{el}$

Funktionaler Stromspeicher in der KWK-Black-Box



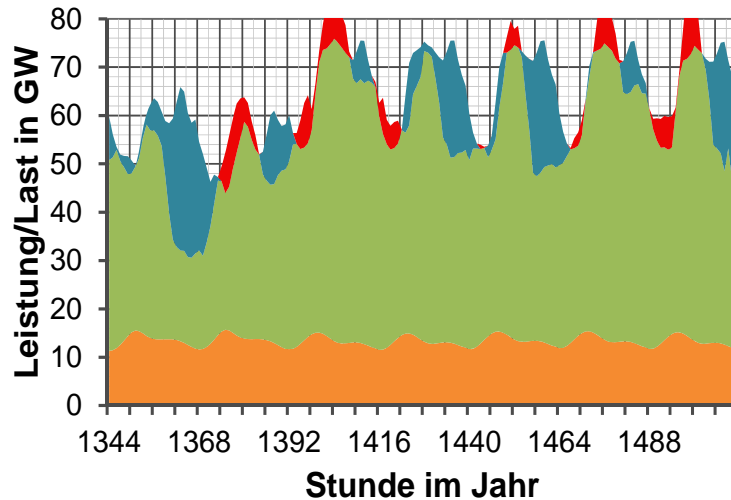
Quelle: Forschungsstelle für
Energiewirtschaft e.V.

Funktionaler Stromspeicher in der KWK-Black-Box



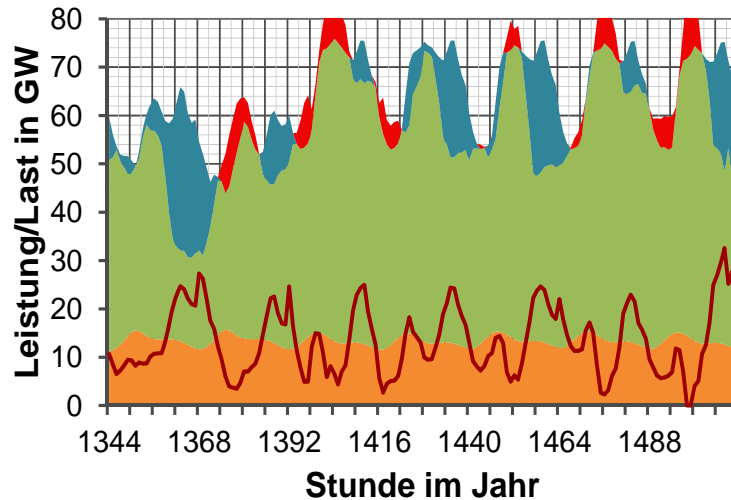
Quelle: Forschungsstelle für
Energiewirtschaft e.V.

Funktionaler Stromspeicher in der KWK-Black-Box



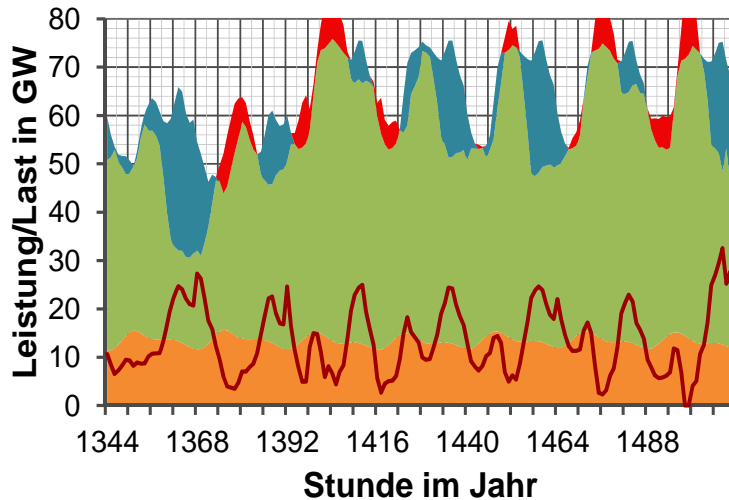
Quelle: Forschungsstelle für
Energiewirtschaft e.V.

Funktionaler Stromspeicher in der KWK-Black-Box

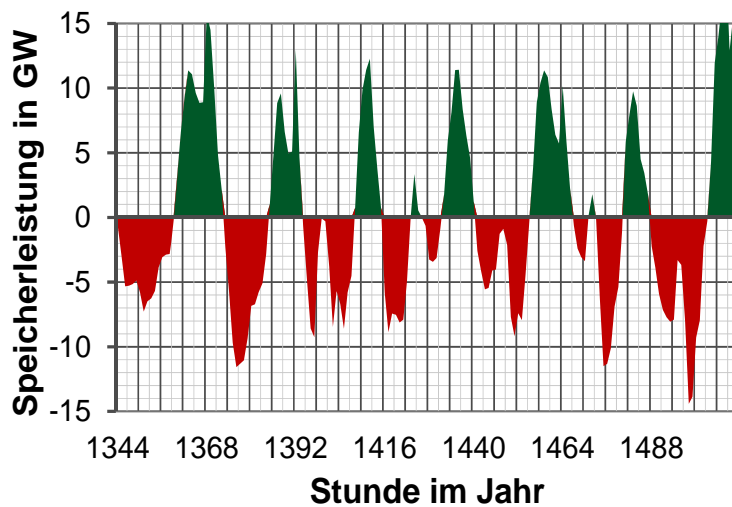


Quelle: Forschungsstelle für
Energiewirtschaft e.V.

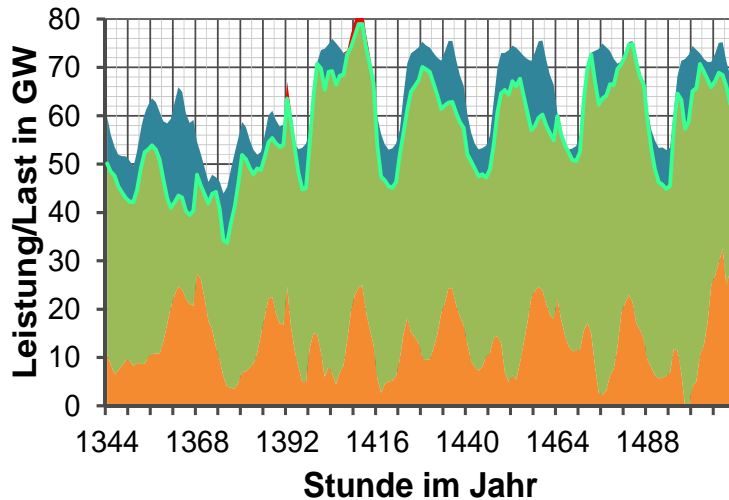
Funktionaler Stromspeicher in der KWK-Black-Box



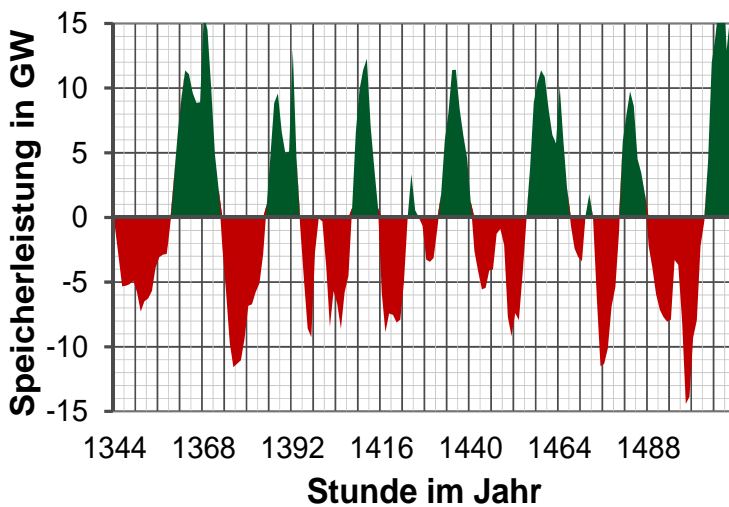
Quelle: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.



Funktionaler Stromspeicher in der KWK-Black-Box



Quelle: Forschungsstelle für
Energiewirtschaft e.V.



Gliederung

- KWK als Schlüsselement der Energiewende
- Netzstabilisierung durch Systemdienstleistungen
- Marktintegration durch flexiblen Anlagenbetrieb
- Was, wenn die Energiewende nicht gelingt?

Systemdienstleistungen

- „Alles, was man für die Lieferung des Produktes benötigt, aber was nicht auf der Rechnung steht.“ (Georg Kerber)
 - Beispiel Kaffeehaus mit Hauptprodukt: Tasse Kaffee
 - Systemdienstleistungen: Bedienung, Tisch, Stuhl, Musik, Zeitung, Heizung, Immobilie, Putzfrau, etc.

- Wichtige Systemdienstleistungen in elektrischen Netzen:
 - Frequenzhaltung
 - Spannungshaltung
 - Systemwiederaufbau
 - Betriebsführung



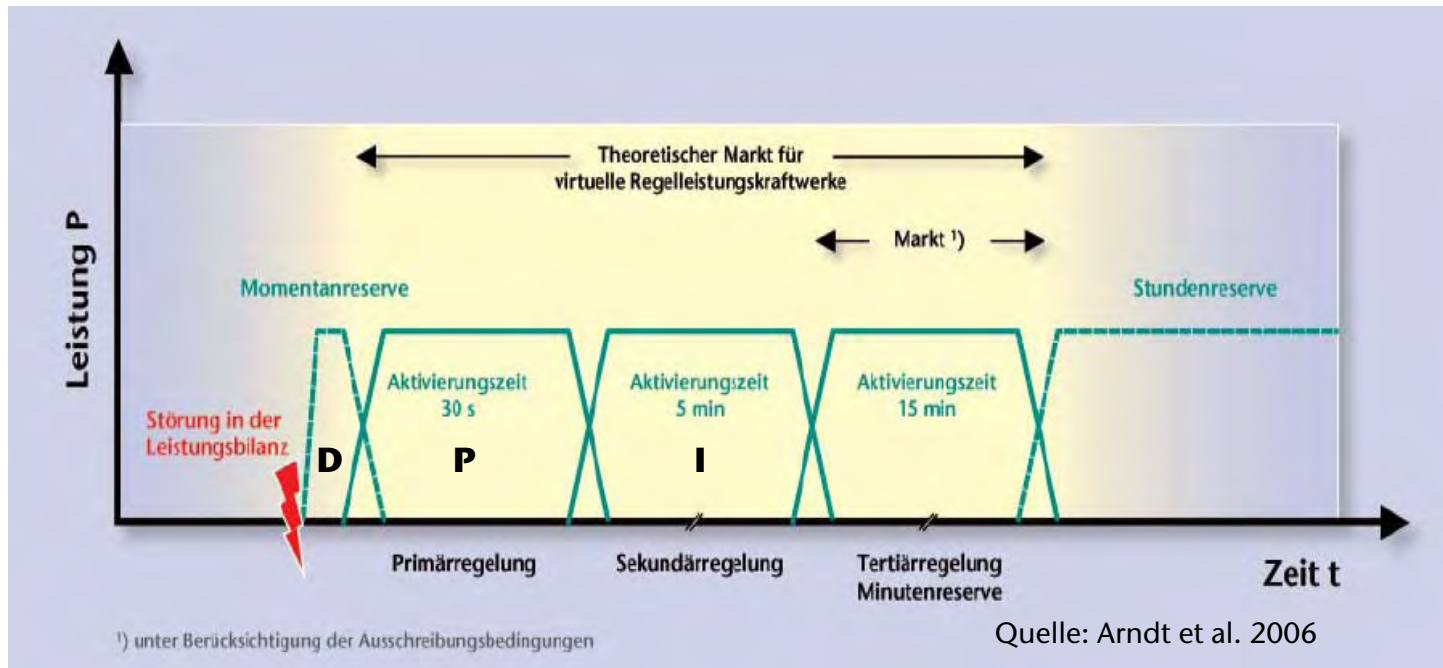
Quelle: Wikimedia

Netzgebundene elektrische Energieversorgung

- Systemdienstleistungen sind „Software“
 - Regelleistung zur Frequenzhaltung
 - 50 Hertz als Sollwert
 - Blindleistung zur Spannungshaltung
 - 230 V beim Endverbraucher
 - Know-How zum Versorgungswiederaufbau
 - Stromausfall München
 - Organisatorisches Können beim Netzbetrieb

- Betriebsmittel sind „Hardware“
 - Kabel und Freileitungen
 - Transformatoren
 - Schaltanlagen
 - Netzleitzentralen

Regelleistung stabilisiert den Netzbetrieb



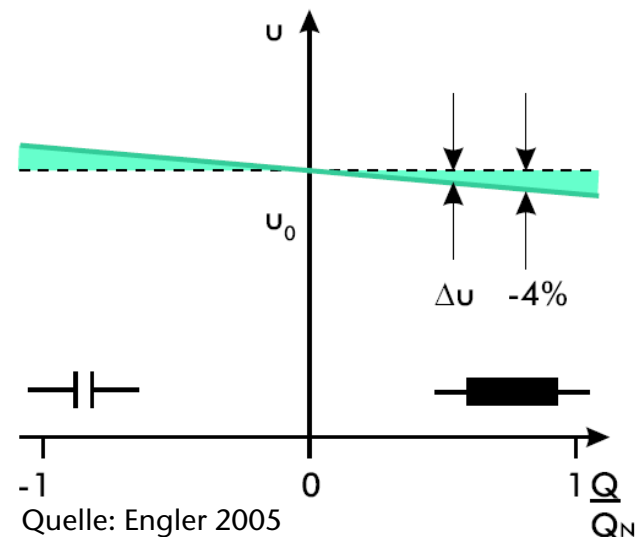
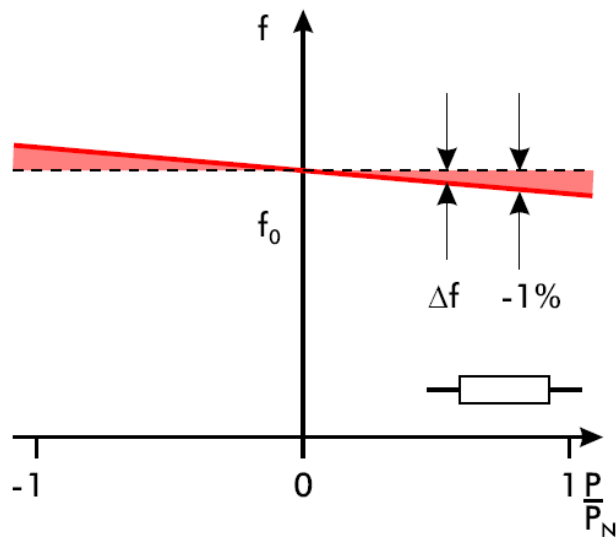
- Der Abruf von Regelimpulsen kennzeichnet sich durch:
 - unterschiedliche Zeitbereiche,
 - unterschiedliche Zielrichtungen und
 - unterschiedliche Wirkmechanismen.

Quellen von Systemdienstleistungen

- Großkraftwerke liefern bisher Regelleistung und Blindleistung
- Einspeisung von Wind- und Sonnenenergie:
Anteil zentraler Stromeinspeisung nimmt ab
- Beitrag zu Systemdienstleistungen durch dezentrale Erzeugungsanlagen (DEA) wird immer wichtiger
- Verschiedene Methoden der Erbringung
 - Vorgeschrieben nach Grid Code (z.B. Blindleistung)
 - Organisiert im Markt (z.B. Regelleistung in DE)

Vorgabe von klassischen Statiken

- Lineare Kennlinien für lokale Regelkreise
 - Leistungs-Frequenz-Regelung
 - Blindleistungs-Spannungs-Regelung
- Bewährt in Hoch- und Höchstspannung



Systemdienstleistungsbonus: Erfahrungen & Ideen

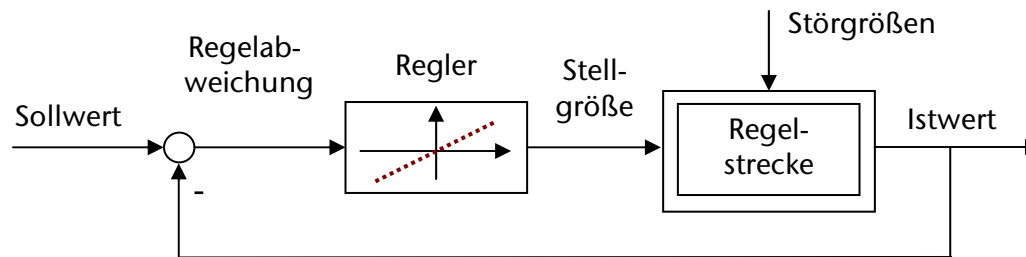
- Zur Nachrüstung von Windkraftanlagen im EEG/SDLWindV: verweisen auf bestehende technische Regeln
- BHKWs sind disponible Erzeuger: Verschiebung von Wirkleistung
- Definition technischer Regeln (z.B. DIN-VDE-Normen), auf die gesetzliche Normen zugreifen können
- Wenn man sich netzfreundlich verhält, dann
 - erhält man als Kleinanlagenbetreiber einen Bonus
- Zertifikat als Nachweis für die Netzdienlichkeit
- Einmalige Typprüfung vs. Einzelabnahme bei Präqualifizierung

Gliederung

- KWK als Schlüsselement der Energiewende
- Netzstabilisierung durch Systemdienstleistungen
- Marktintegration durch flexiblen Anlagenbetrieb
- Was, wenn die Energiewende nicht gelingt?

Steuer- und Regelungstechnik

- Norbert Wiener: Kybernetik
- Wissenschaft der Steuerung & Regelung
- Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine, 1948
- Kybernètès = Steuermann



- Jay Forrester: Systemdynamik
- Simulation und Analyse komplexer Systeme
- insbesondere sozio-ökonomische Modelle: World3
- Meadows et al.: Die Grenzen des Wachstums, 1972



Quelle: Wikimedia



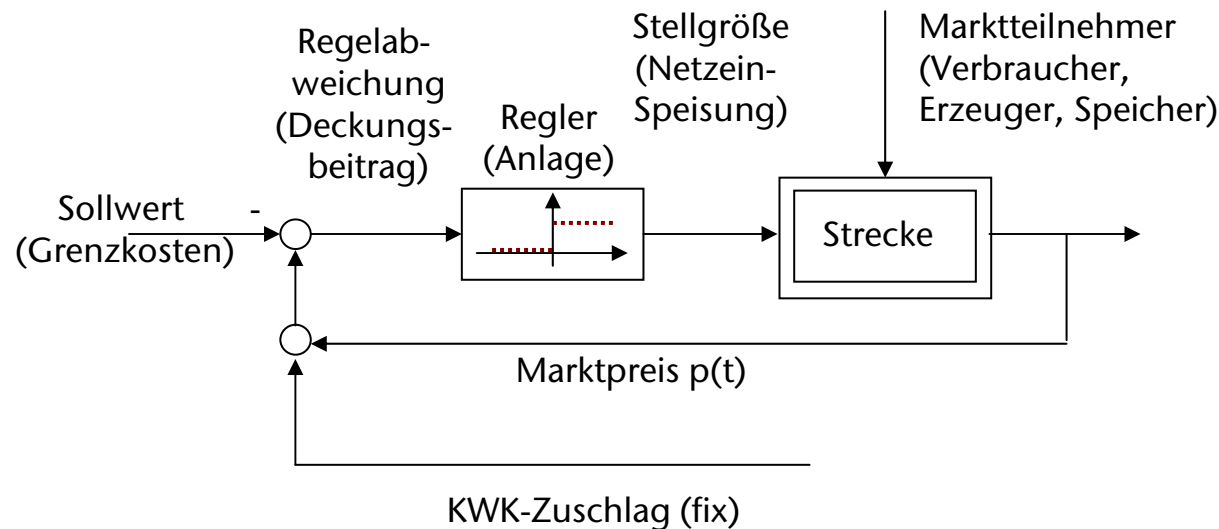
Quelle: Wikimedia

Kraftwerkseinsatzplanung

- Geschlossener Regelkreis:
 - Bestimmen des Inputsignals (Strompreis)
 - Anpassen des Outputs (Stromproduktion)
- Entscheidungskriterium sind die variablen Kosten (Sollwert)
- Erzeugungsanlage als 2-Punkt-Regler
 - An, wenn Marktpreis über Grenzkosten
 - Aus, wenn Marktpreis unter Grenzkosten
 - Maximierung des Deckungsbeitrages
- Regelstrecke ist der Strommarkt
 - Mitbewerber auf Erzeugerseite
 - Verbraucher als Abnehmer
 - Speicher als Zwitter
 - Prognosegüte für residuale Last

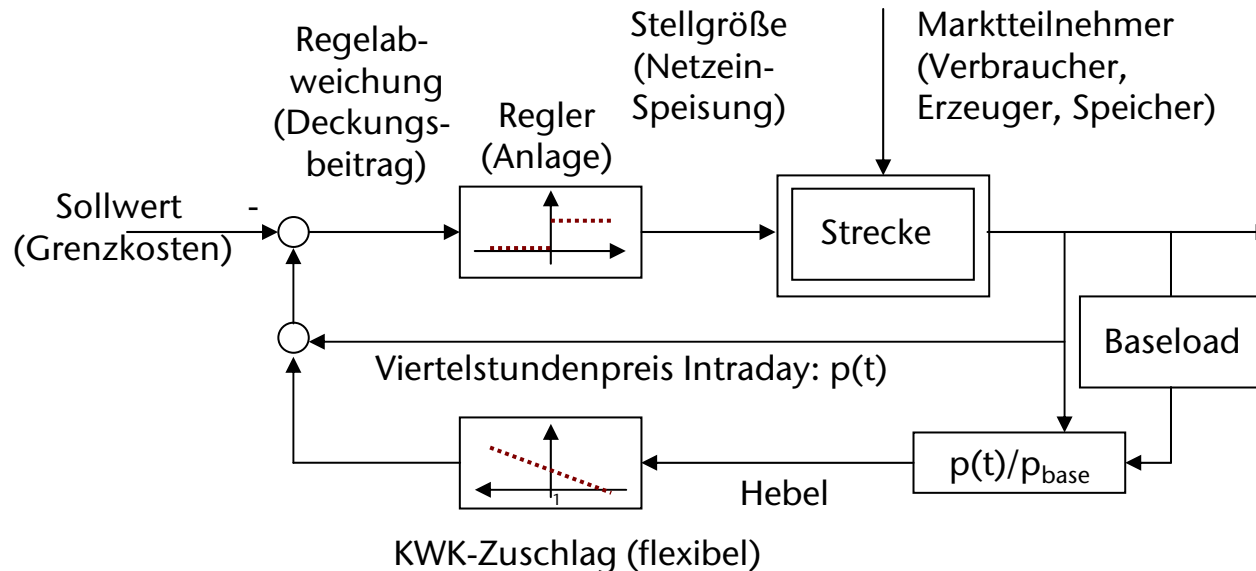
Preissignal in der geschlossenen Regelschleife I

- Anlage (Regler) reagiert auf das Preissignal
- Markt (Regelstrecke) reagiert auf die Erzeugungsleistung
- Geschlossener Regelkreis, allerdings ist der KWK-Zuschlag konstant und beeinflusst den Kraftwerkseinsatz nur statisch



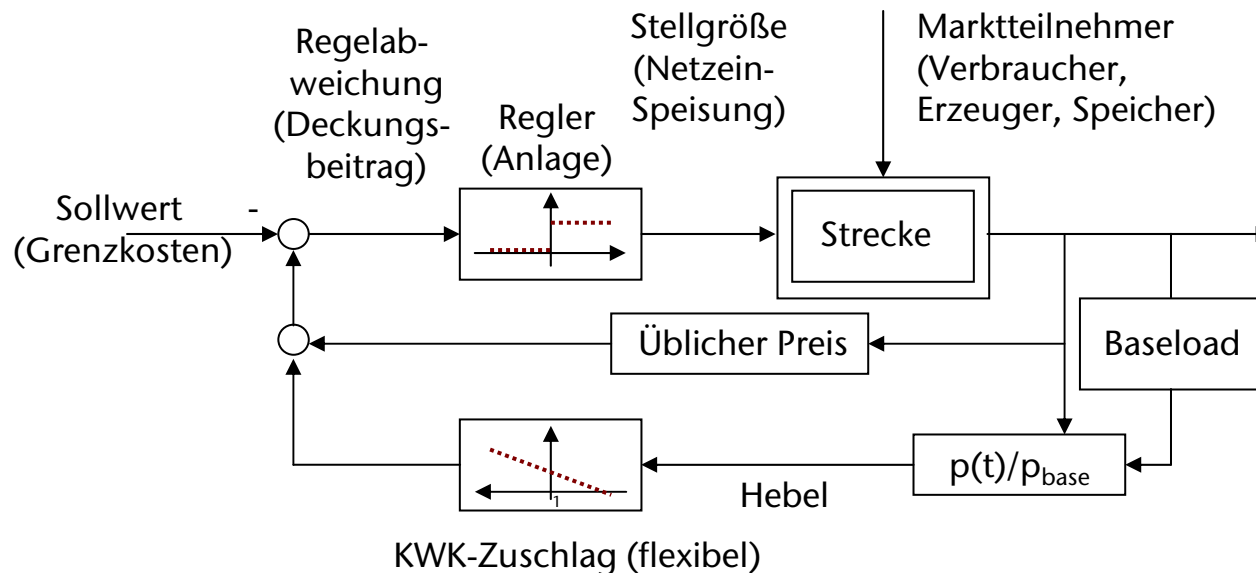
Preissignal in der geschlossenen Regelschleife II

- Vorschlag: optionale Umstellung auf flexiblen Zuschlag
- Hebelfaktor aus Quotient von Preis und Baseload
- KWK-Zuschlag bleibt durchschnittlich gleich
- Stärkerer Anreiz, Marktpreissignale auszuregeln



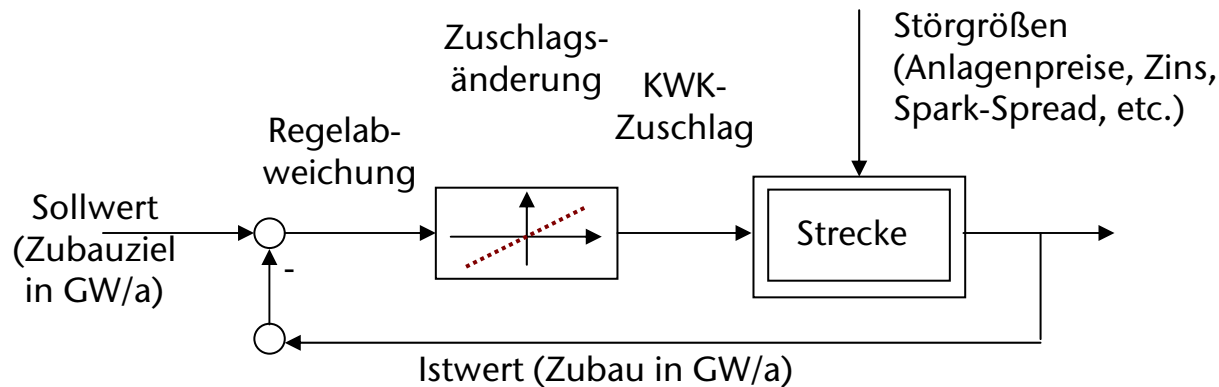
Preissignal in der geschlossenen Regelschleife III

- Kleine KWK-Anlagen (bis 2 MW): Zuschlag üblicher Preis
- Üblicher Preis = Quartalsdurchschnitt
- Kleine KWK-Anlagen sind schwer direkt zu vermarkten
- Flexibler KWK-Zuschlag gibt Steuerungsanreiz



KWK-Gesetz 2.0 als Kapazitätsmechanismus

- Zubauerfolg bestimmt den Investitionsanreiz
- Selbstregelnder Mechanismus analog zur PV-Vergütung
- Anpassungszyklen differenzierbar nach Größensegment

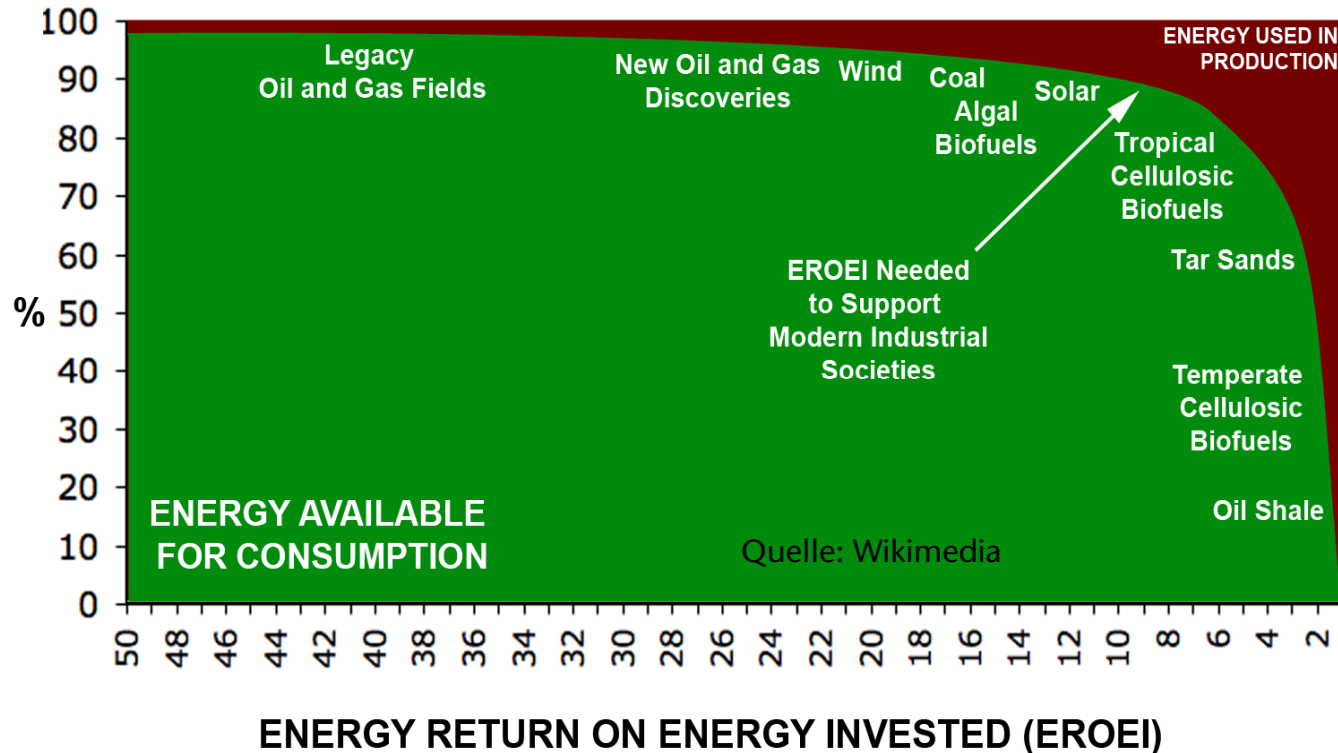


Gliederung

- KWK als Schlüsselement der Energiewende
- Netzstabilisierung durch Systemdienstleistungen
- Marktintegration durch flexiblen Anlagenbetrieb
- Was, wenn die Energiewende nicht gelingt?

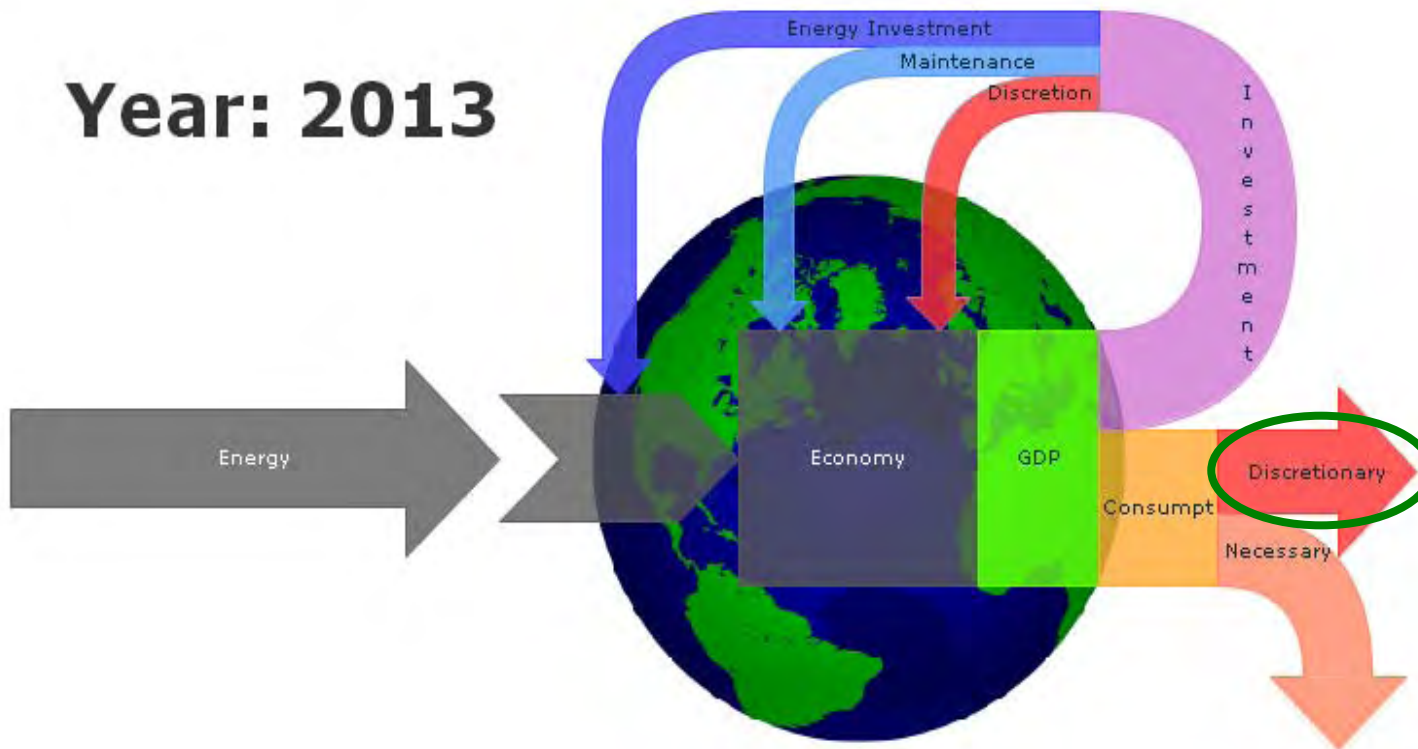
The Net Energy Cliff

- abnehmender Erntefaktor endlicher Energievorräte
- verfügbare Nettoenergie nimmt ab („high hanging fruits last“)



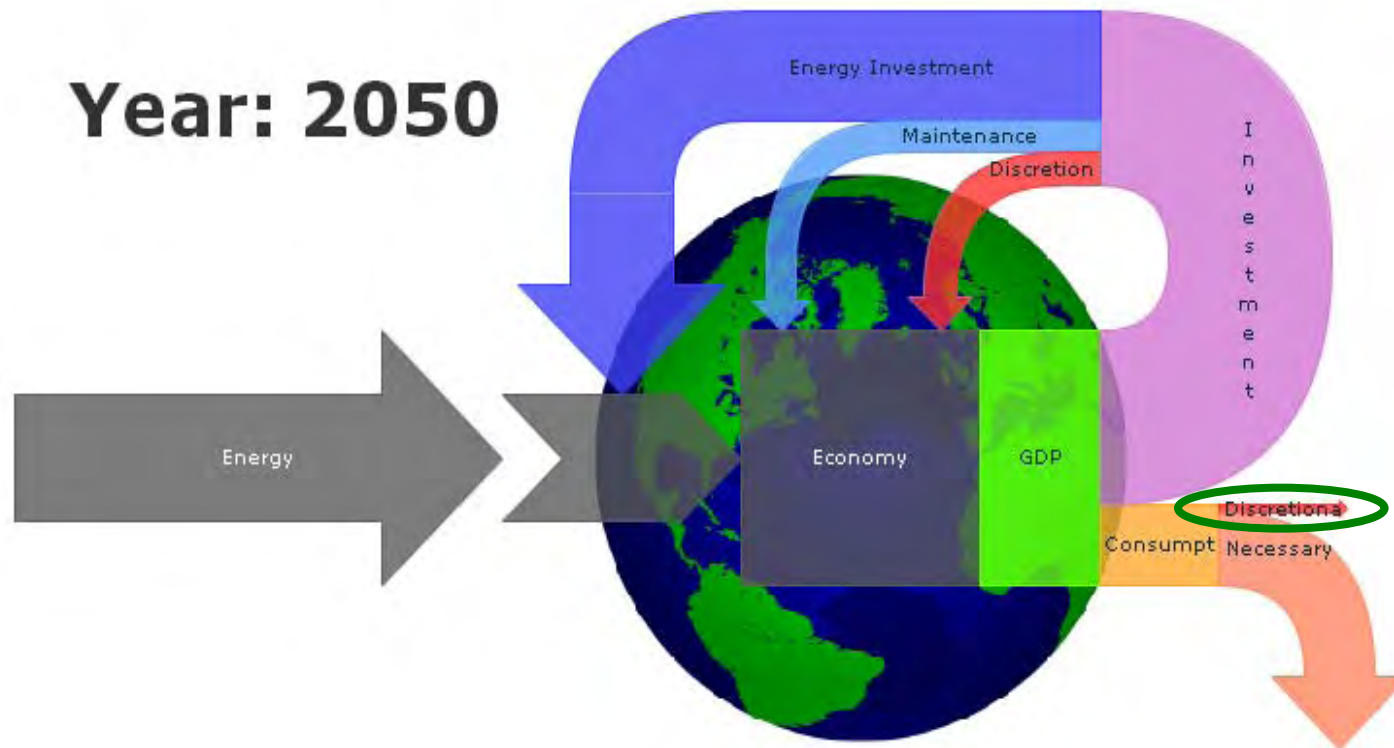
Reinvestitionen in die Energieinfrastruktur I

Year: 2013



Quelle: Charlie Hall

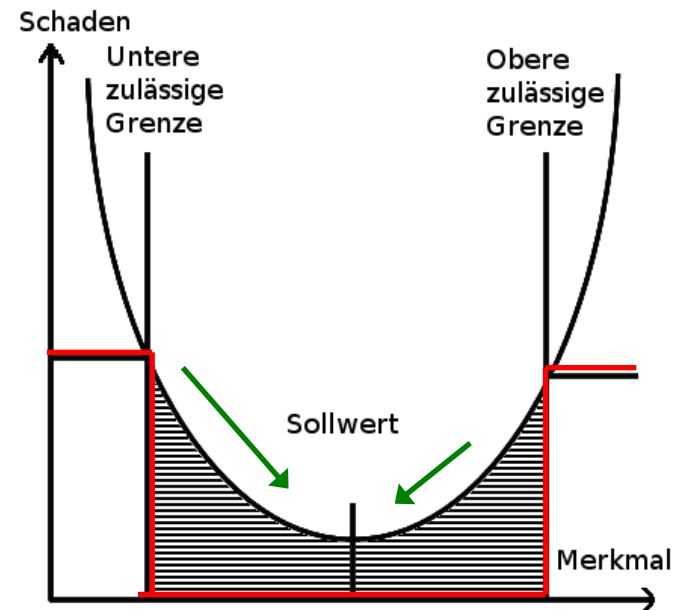
Reinvestitionen in die Energieinfrastruktur II



Quelle: Charlie Hall

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kaestle@IEE.TU-Clausthal.de
Tel. +49 5323 72-2572



Qualitätsfunktion nach Taguchi



Backup

KWK-Cluster als virtuelles Heizkraftwerk

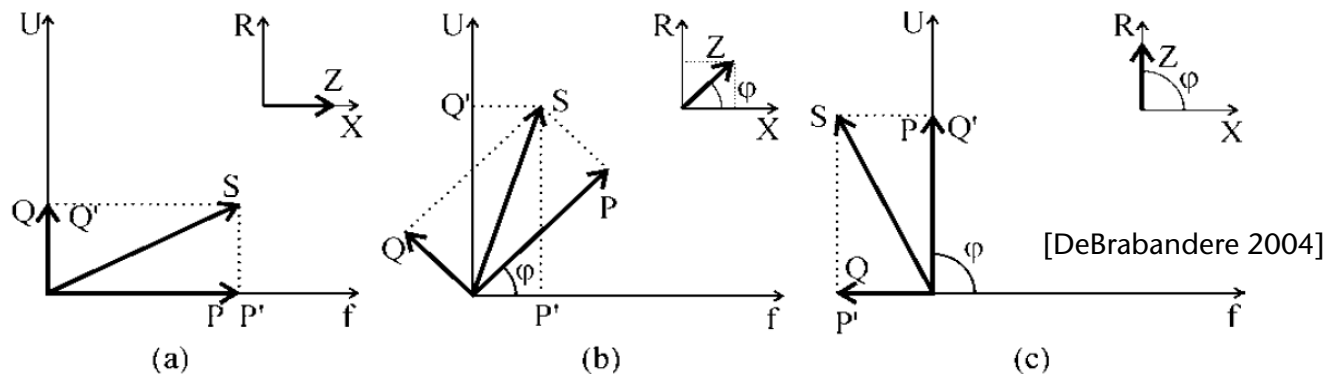
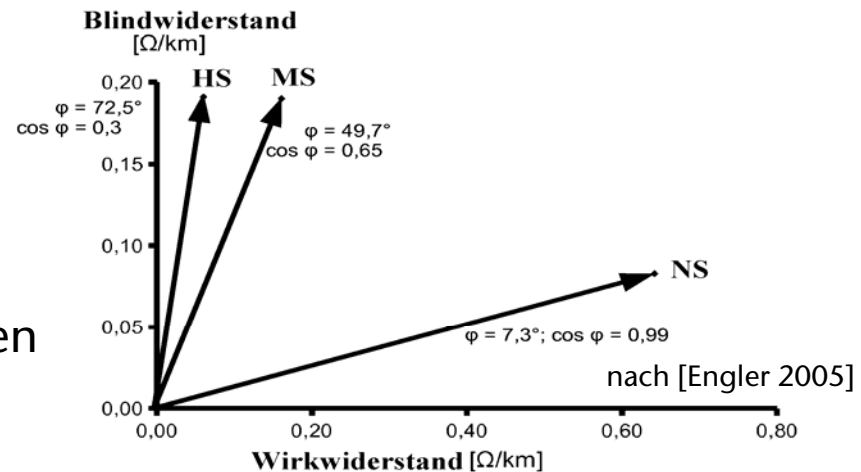
- Anbieter von Regelleistung
- Prinzipiell (gesetzlich) möglich, vgl. auch mit BNetzA BK6-10-097/098/099: Poolung ist erlaubt
- betriebswirtschaftlich schwierig, da:
 - viele kleine KWK-Anlagen
 - hohe Transaktionskosten



Quelle: Technology Platform SmartGrids

Impedanzwinkel unterschiedlicher Leitungstypen

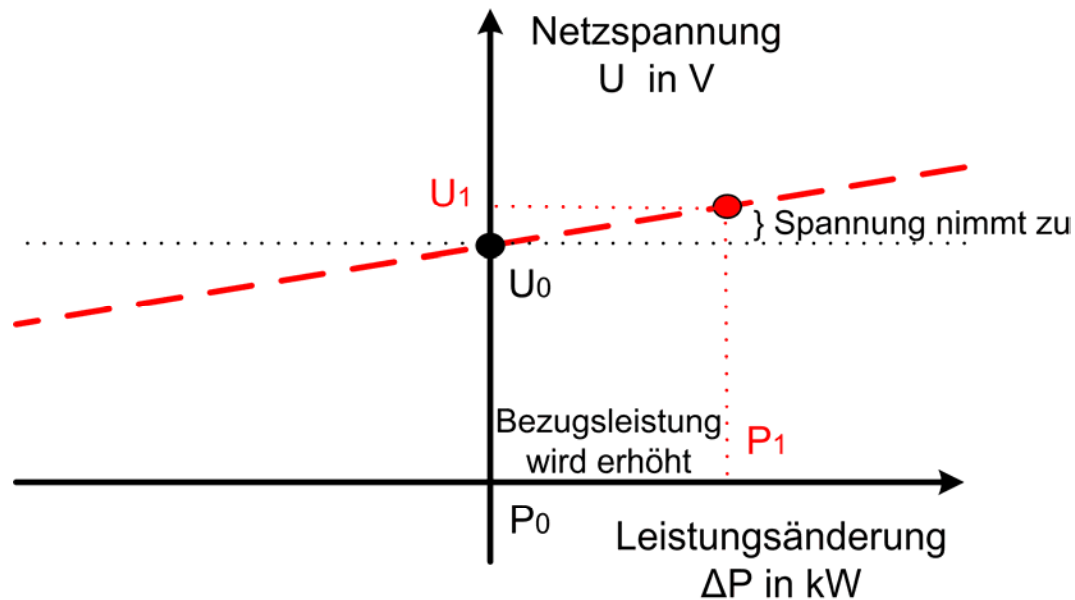
- MS- und HS-Leitungen haben induktiven Charakter.
- Bei NS-Kabeln nimmt das R/X-Verhältnis zu.
- Der Zusammenhang der Vektoren (P,Q) und (f,U) verschiebt sich.



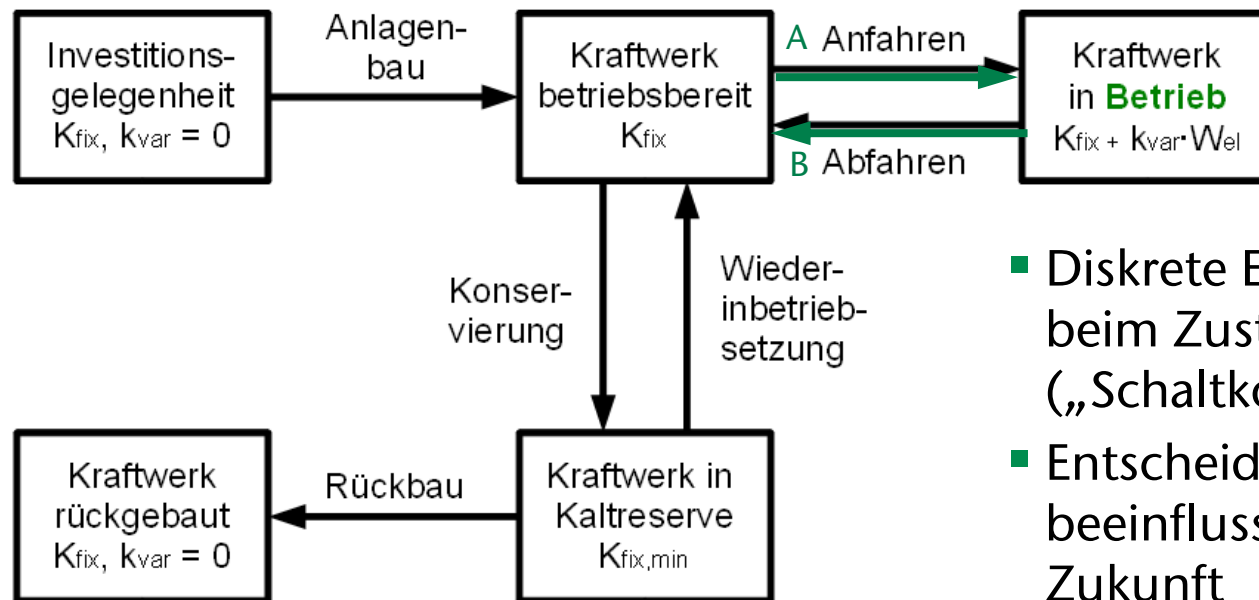
Influence of active and reactive power on voltage and frequency for different line impedance ratios: (a) $R/X=0$, (b) $R/X=1$, (c) $R/X=\infty$.

Vorgabe von atypischen Statiken

- Wirkleistungs-Spannungs-Regelung (im NS-Netz bei großem R/X)
- Zur Spannungshaltung in Niederspannungsnetzen
- Soll in Italien ab 2013 eingeführt werden
- Besonders geeignet für steuerbare Anlagen wie BHKW, aber auch für Lasten, wie Elektroautos:



Hysterese durch An- und Abfahrkosten



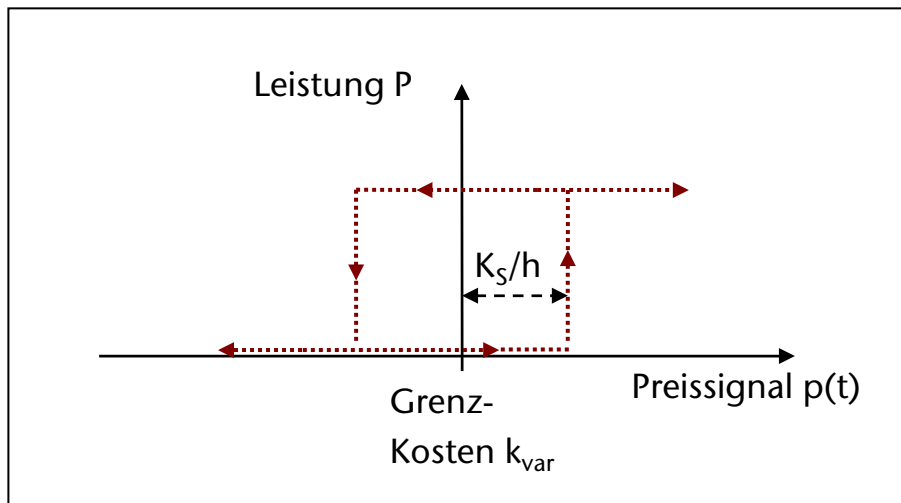
- Diskrete Einzelausgaben beim Zustandsübergang („Schaltkosten“)
- Entscheidungsrelevant: beeinflussbare Kosten der Zukunft
- Kosten für An- und Abfahrvorgang werden eingepreist

Hysterese beim Übergang zwischen A und B:
Strompreisniveau

- A. deckt variable Kosten + Schaltkosten
- B. deckt variable Kosten nicht - Schaltkosten

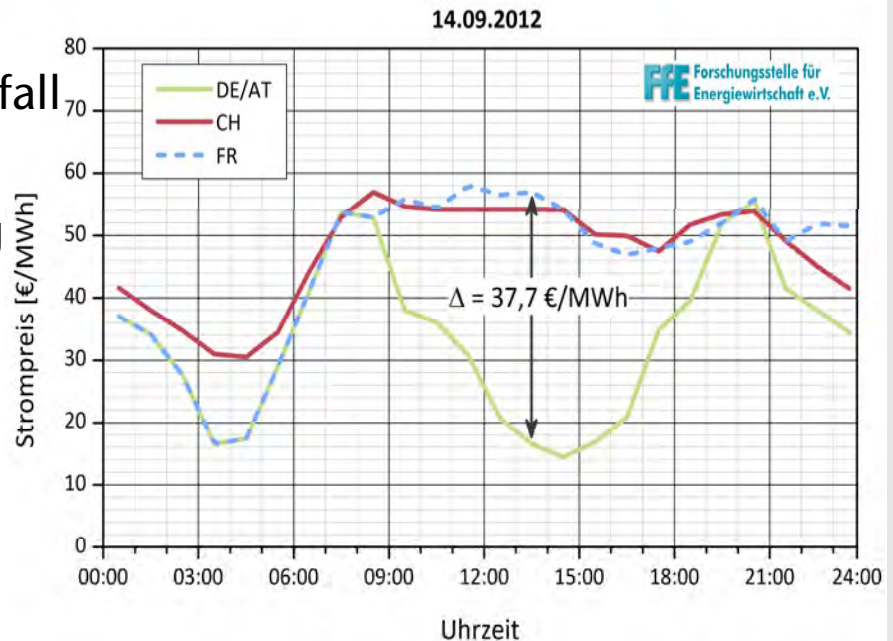
Marktverzerrung durch Hysterese

- Schaltkosten K_S bedingen
 - Verzögertes Zuschalten (erhöhte Strompreise)
 - Verzögertes Abschalten (negativer Deckungsbeitrag)
- Breite der Hysterese wird bestimmt durch die erwartete Länge h des kommenden Ein- bzw. Aus-Zyklus K_S/h



Flexibilitäten mit hoher Zyklushäufigkeit

- Dynamisches Wachstum der Photovoltaik
 - Deckt heute schon die Mittagsspitze
 - Reduziert weiter Restlast am Tag
- Mittellast mit zwei Zyklen pro Arbeitstag
 - z.B. 6-10 Uhr und 18-22 Uhr
 - Abschalten wirkt gegen Preisverfall
 - Beispiel 16.9.2012:
 - hohe Wind- und PV-Einspeisung
 - 15,6 GW + 16,2 GW
 - Rückgang konventionelle Erz.
 - Export maximal



Das Energy-Hub Konzept zur exergetischen Optimierung

- Knoten zur Energieumwandlung und -speicherung
- Konvergenz von Strom-, Gas- und Wärmenetzen
- Fluktuationen am Ort der Entstehung „wegfiltern“
- To Do: Abwägung zwischen Speicher- und Transportbedarf
 - exergetisch und
 - kostenoptimiert

