INSTITUT ieet
FÜR ELEKTRISCHE ENERGIETECHNIK

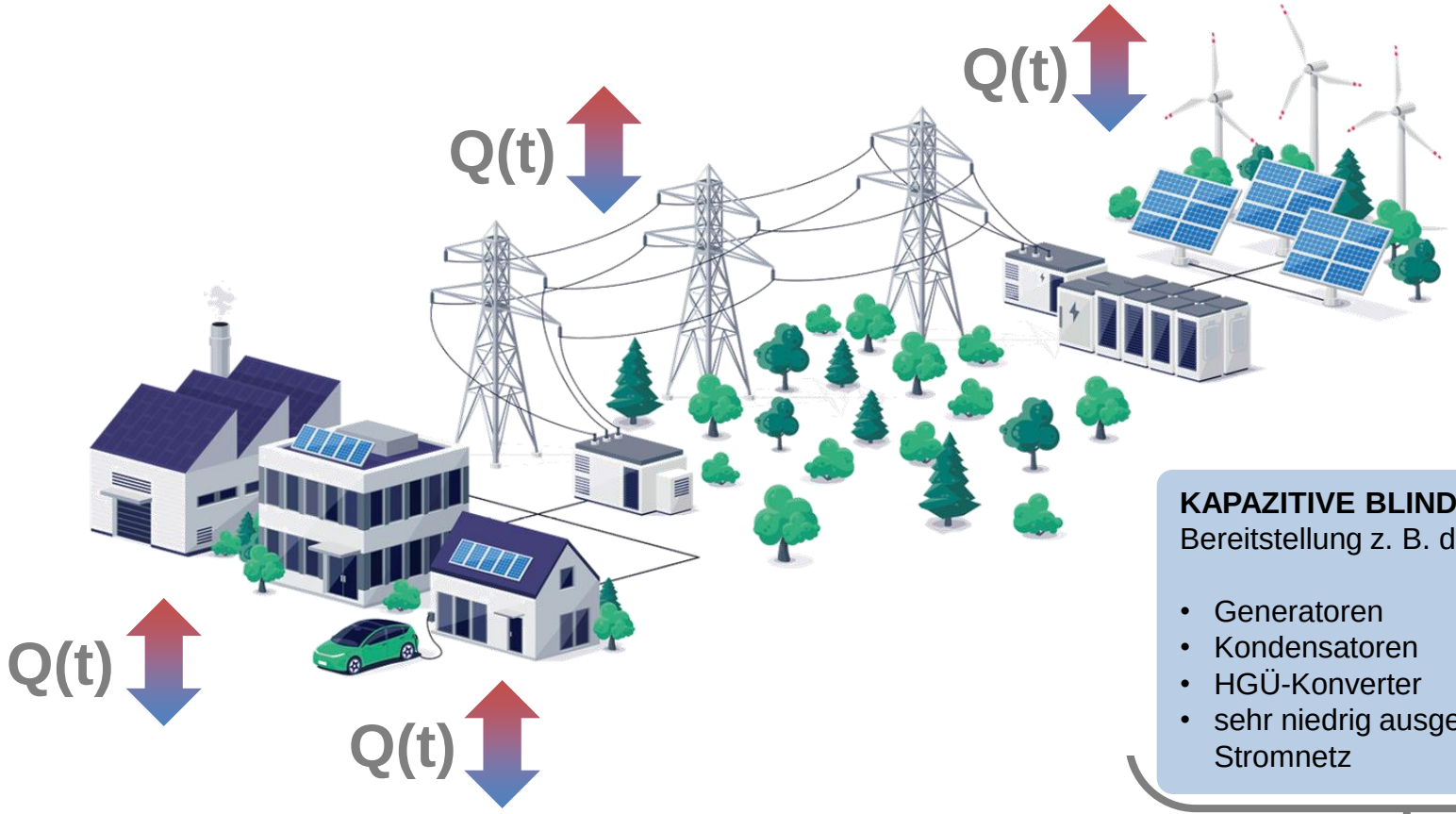
TUHH
Technische Universität Hamburg

Blindleistung in elektrischen Energienetzen

15.10.2024

Prof. Dr.-Ing. Christian Becker

Blindleistung – Das „Schmiermittel“ im Stromnetz



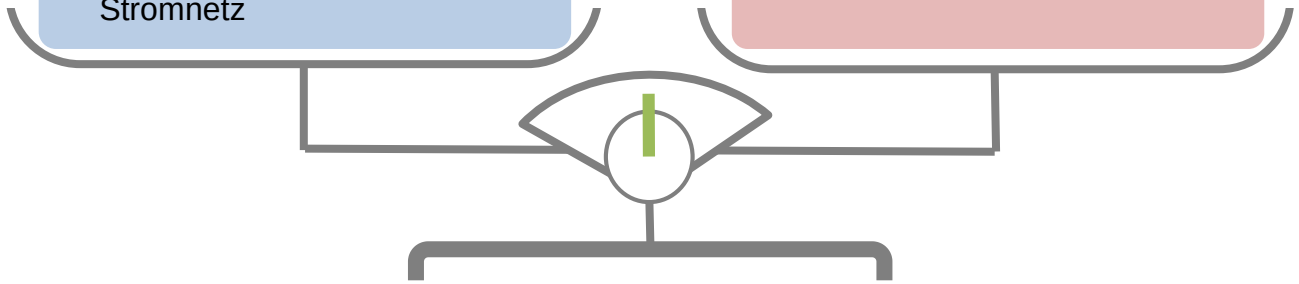
Um Wirkleistung zu transportieren, müssen induktive und kapazitive Blindleistung ausgeglichen werden.

KAPAZITIVE BLINDLEISTUNG
Bereitstellung z. B. durch:

- Generatoren
- Kondensatoren
- HGÜ-Konverter
- sehr niedrig ausgelastetes Stromnetz

INDUKTIVE BLINDLEISTUNG
Bereitstellung z. B. durch:

- Verbraucher
- höher ausgelastetes Stromnetz
- Drosselspulen



© Grafik: petovarga - stock.adobe.com

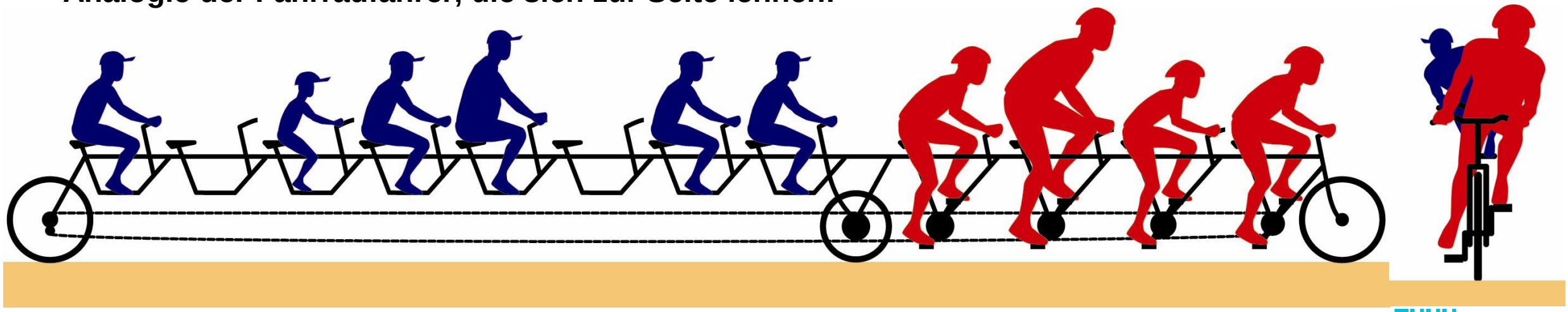
Agenda

- Einführung in das Thema der Blindleistung
- Bisherige Bereitstellung von Blindleistung
- Änderung des Blindleistungsbedarfs durch die Energiewende
  - Labormessungen
  - Situation bei den Hamburger Energienetzen und mögliche Ursachen
    - Netz
    - Lasten
    - Dezentrale Einspeisungen
- Dynamisches Blindleistungsmanagement
  - Schutzkoordination
  - Dynamische Lastmodellierung
- Zusammenfassung

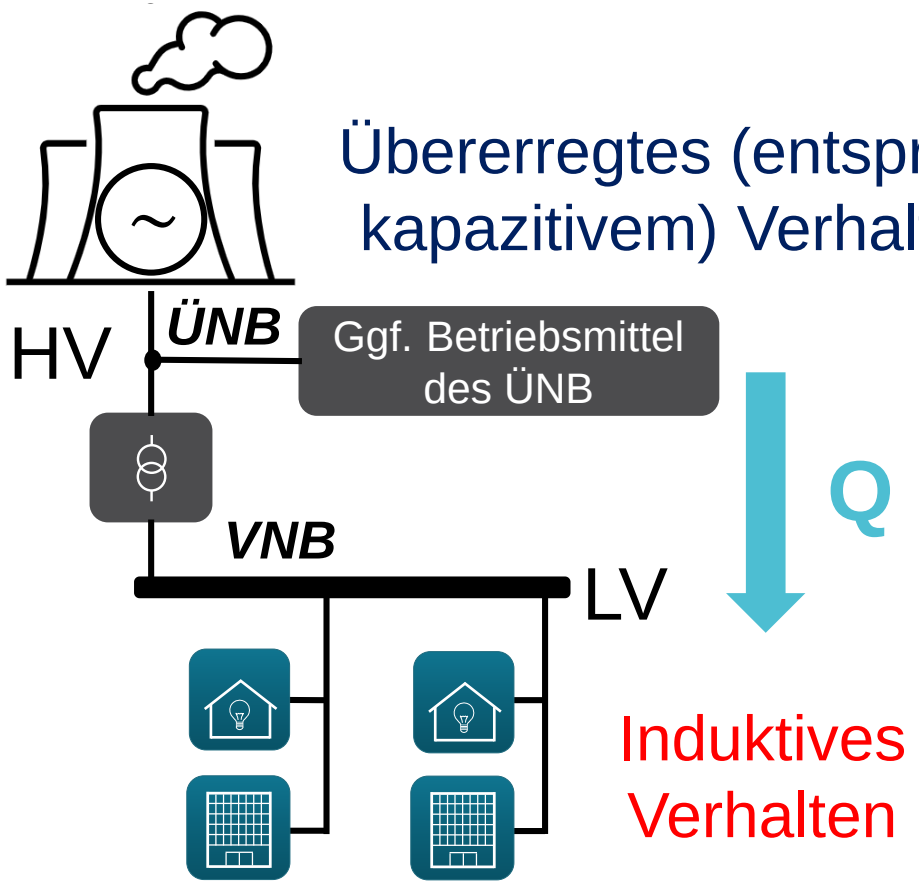
Einführung in das Thema der Blindleistung

- trägt nicht zur tatsächlichen Arbeitsleistung im Verbraucher bei (**Mittelwert = 0**)
- ist notwendig zum **Aufbau der elektrischen und magnetischen Felder**
- wird verursacht durch die **Kapazitäten bzw. Induktivitäten des Netzes und der Verbraucher**
- Blindenergie **pendelt** zwischen Quelle und Last
- Induktive und kapazitive Blindleistung müssen **ausgeglichen** sein
- verringert die mögliche Ausnutzung von Generatoren und Übertragungsnetzen
- verursacht **zusätzliche Verluste**
- ist eng **gekoppelt mit dem Spannungsniveau** in einem Übertragungsnetz
  (richtige Betriebsspannung ist wichtig für effizienten und sicheren Energietransport)

Analogie der Fahrradfahrer, die sich zur Seite lehnen:



Bisherige Bereitstellung von Blindleistung

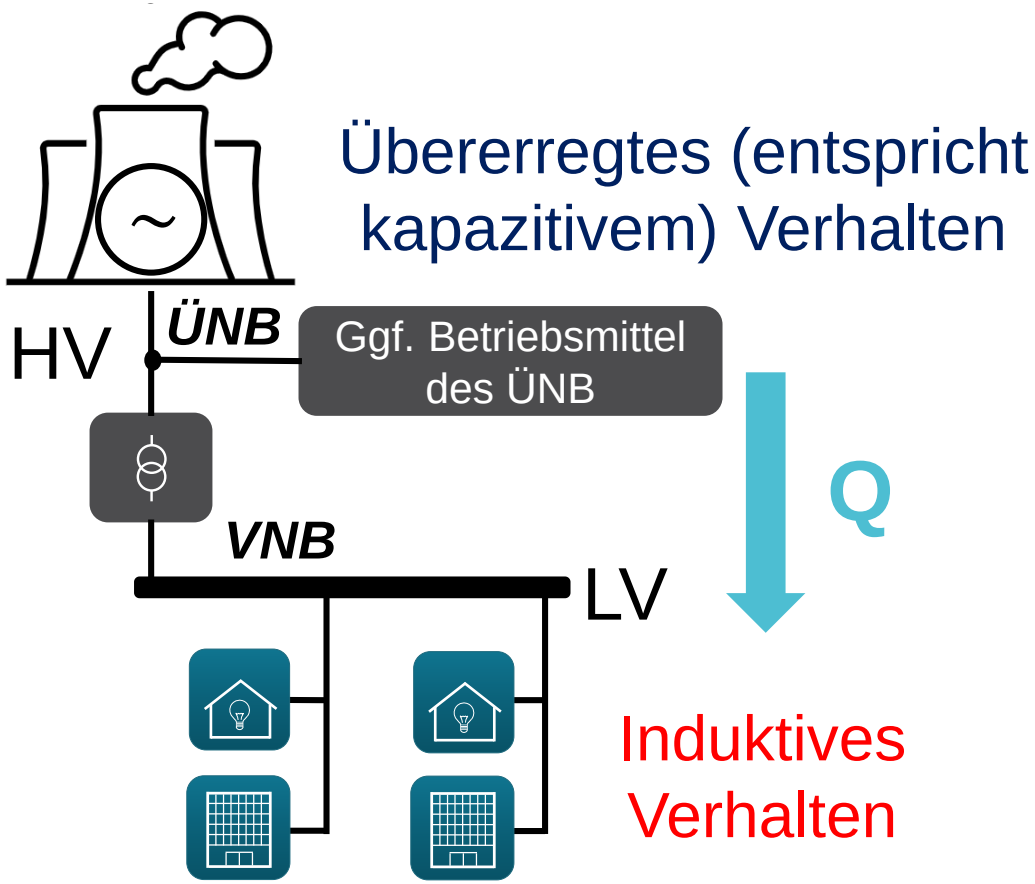


Übererregtes (entspricht kapazitivem) Verhalten

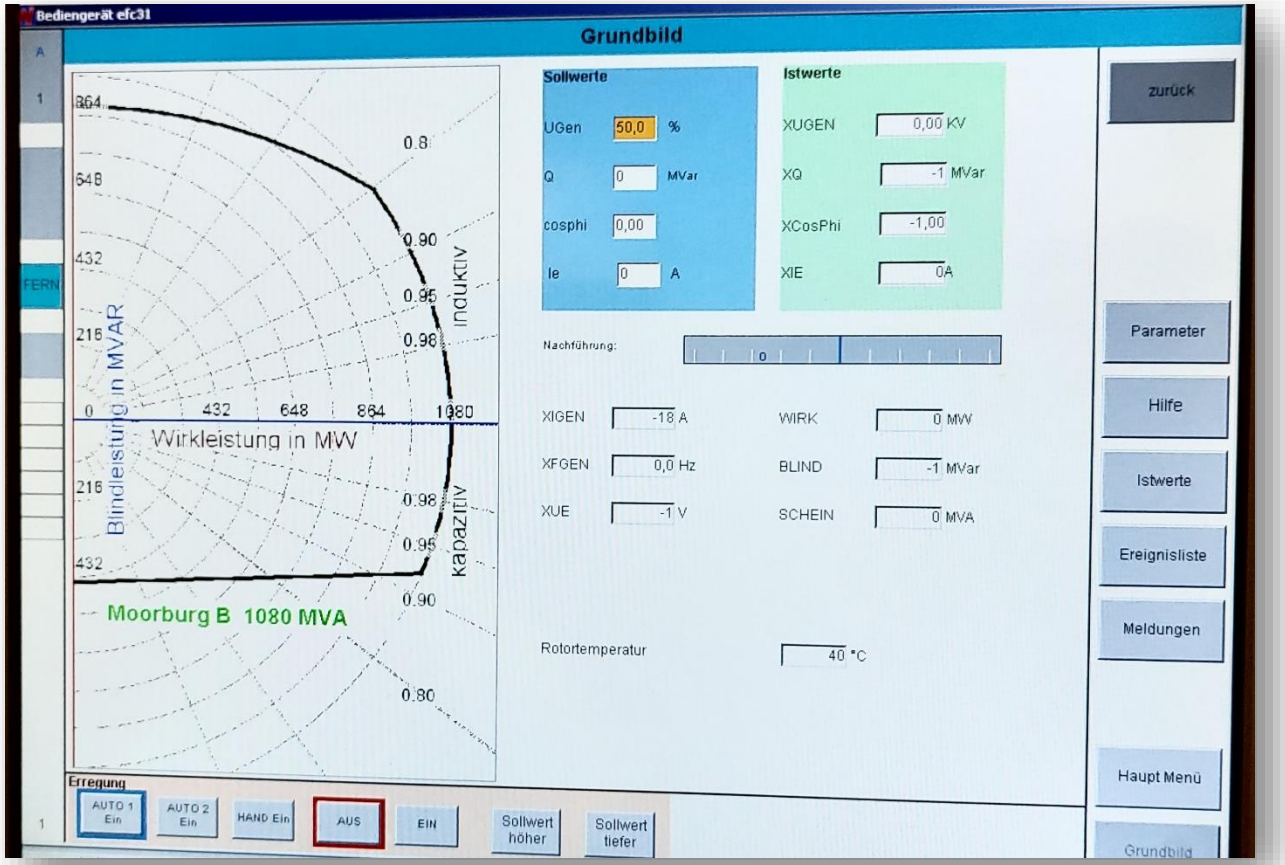
Induktives Verhalten

Verbraucher-zählpfeilsystem

Bisherige Bereitstellung von Blindleistung



KW Moorburg: Anzeige der Erregersystem-Steuerung



Neue Q-Lieferanten im Höchstspannungsnetz: Static Synchronous Compensator (STATCOM)

INSTITUT ieet FÜR ELEKTRISCHE ENERGIETECHNIK

amprion verbindet

AMPRION STROMMARKT ÜBERTRAGUNGSNETZ NETZAUSBAU

Startseite > Presse

Pressemitteilungen
Kontakt
Mediathek
Amprion-Glossar

31.08.2023

AMPRION UND HITACHI ENERGY NEHMEN STATCOM IN BETRIEB

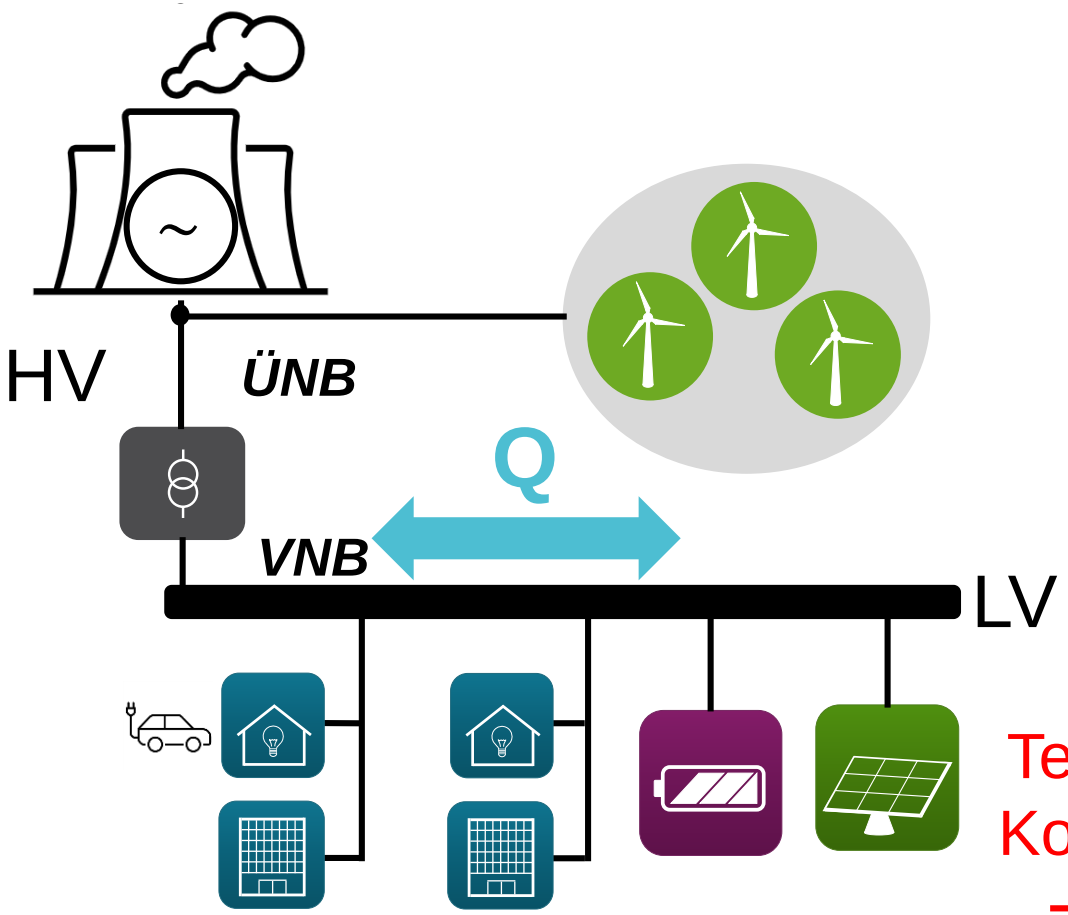
Der Übertragungsnetzbetreiber Amprion hat am 31. August 2023 auf dem Gelände der Schalt- und Umspannanlage Opladen eine neue Blindleistungskompensationsanlage des Herstellers Hitachi Energy feierlich in Betrieb genommen.

Seit Mai 2020 wurde am Bau der Blindleistungskompensationsanlage (STATCOM) in Leverkusen-Opladen gearbeitet. Nun konnte die Anlage gemeinsam durch Vertreter von Amprion und Hitachi Energy sowie den Oberbürgermeister der Stadt Leverkusen und den Bürgermeister der Stadt Langenfeld feierlich in Betrieb genommen werden. „Beim Ausbau der erneuerbaren Energien ist nicht nur die Stromerzeugungsseite zu beachten, sondern ebenso der Ausbau des Übertragungsnetzes. Dies darf jedoch nicht zu Lasten der Stabilität im Netz gehen“, erklärt Klaus Wewering, Leiter Netzprojekte bei Amprion. „Blindleistungskompensationsanlagen wie die hier in Opladen leisten einen wichtigen Beitrag zur Netzstabilität. Die heutige Inbetriebnahme der STATCOM in unserer Schalt- und Umspannanlage Opladen ist ein wichtiger Meilenstein für den Ausbau und den auch zukünftig sicheren Betrieb unseres Übertragungsnetzes hier im Rheinland.“

Haben am 31. August 2023 auf dem Gelände der Amprion Schalt- und Umspannanlage Opladen eine neue Blindleistungskompensationsanlage des Herstellers Hitachi Energy feierlich in Betrieb genommen: Stefan Habild (Leiter Grid Integration Hitachi Energy in Deutschland), Uwe Richrath (Oberbürgermeister Stadt Leverkusen), Frank Schneider (Bürgermeister Stadt Langenfeld), Klaus Wewering (Leiter Netzprojekte Amprion) (v.l.n.r.)

Quelle: Amprion

Änderung des Blindleistungsbedarfs durch die Energiewende



- Blindleistungsverhalten (induktiv, kapazitiv) von Komponenten nicht mehr eindeutig
- Kein hierarchischer Transport von Blindleistung mehr
- Verhalten topologie- und lastabhängig

Teilweise unbekanntes Komponentenverhalten → Gesamtverhalten

?

→ Messungen, Überwachung, Modellierung, Simulation

Labormessungen

ERIGrid 2.0 Connecting European Smart Grid Infrastructures

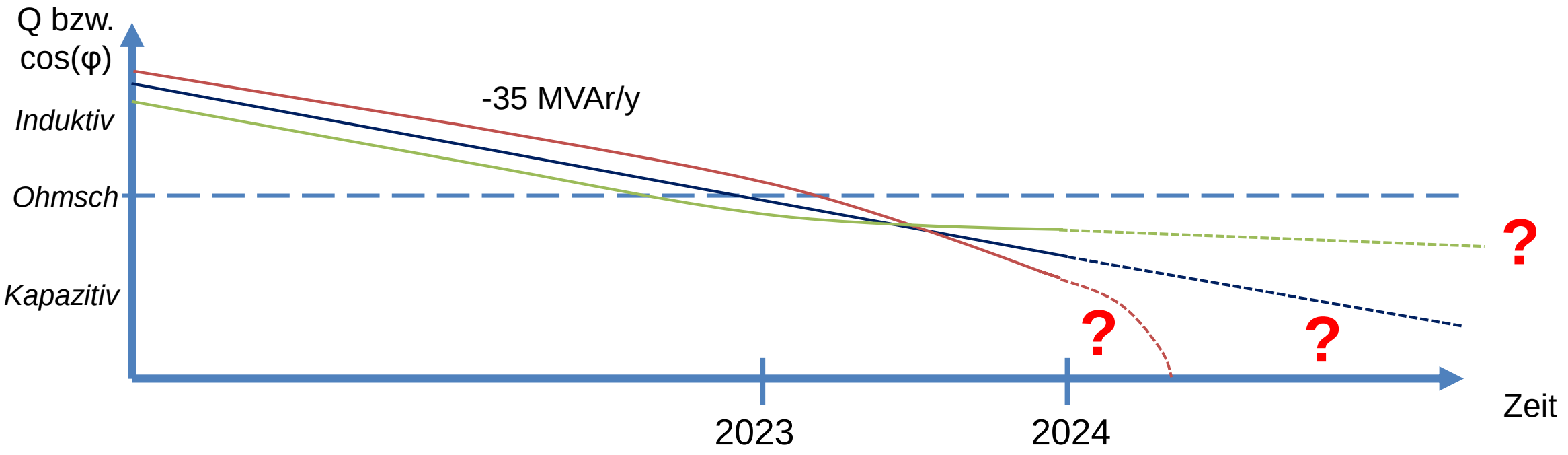
DTU Technical University of Denmark

INSTITUT ieet FÜR ELEKTRISCHE ENERGIETECHNIK

- ERIGrid 2.0 ist ein europaweites Laborzugangsprogramm, bei dem Forscher kostenlosen Zugang zur Erforschung von intelligenten Stromnetzen und intelligenter Energieinfrastruktur erhalten können
- Projekt „MOVES“: Messungen an leistungsstarken Niederspannungsverbrauchern zur Modellvalidierung und Parametrisierung
  - Elektrische Wärmepumpen
  - On-Board-Ladegeräte für Elektrofahrzeuge

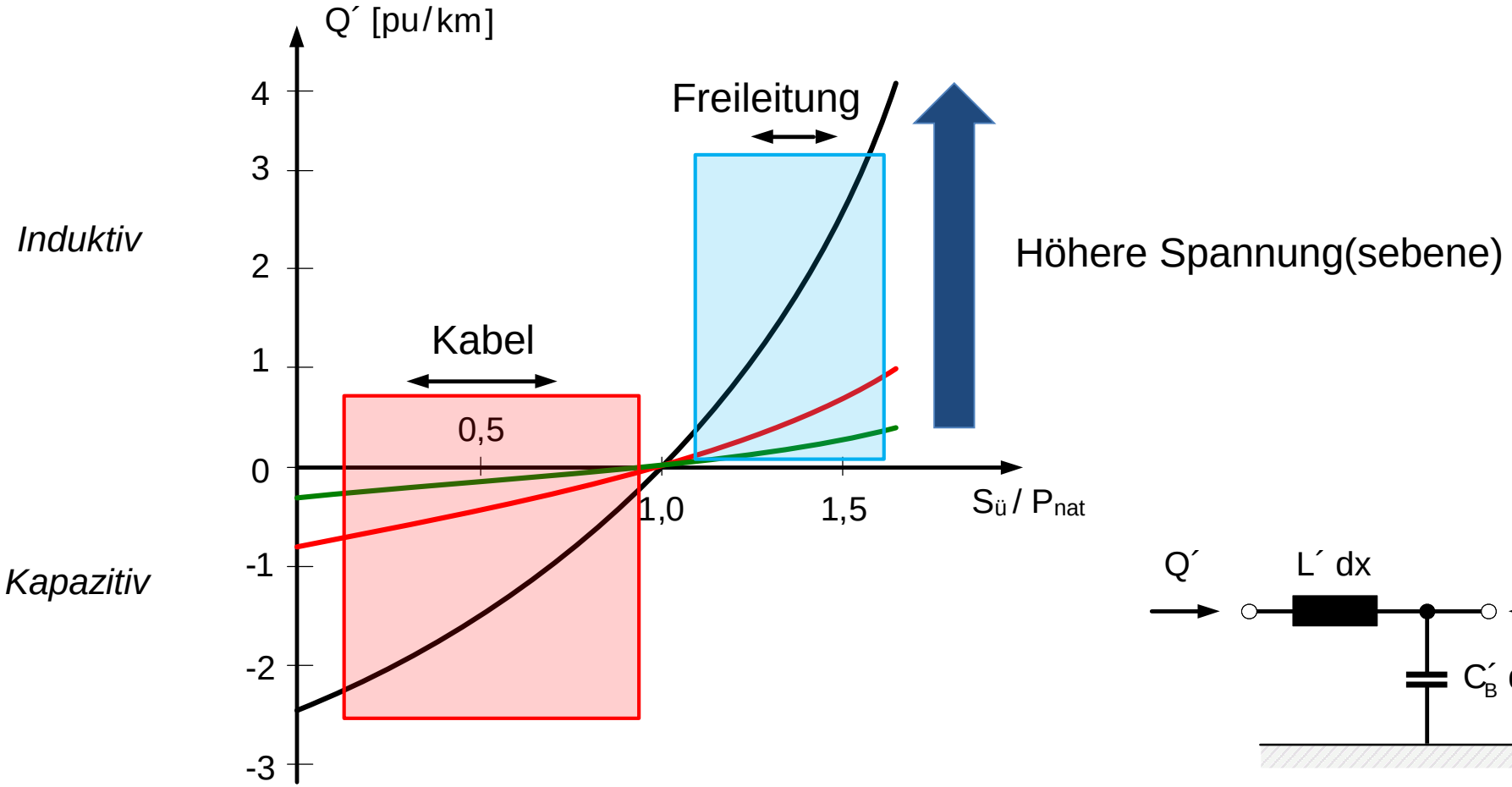
Situation bei den Hamburger Energienetzen und mögliche Ursachen

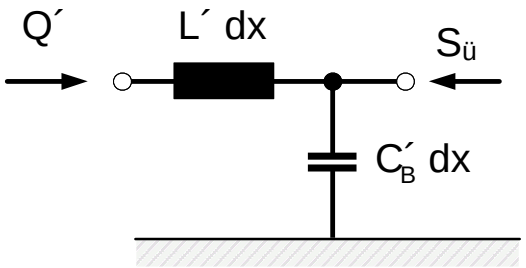
- Aktuell steigt der Q-Bedarf im Hamburger Netz um 35 MVAr (kapazitives Verhalten des Netzes) pro Jahr.
- Die beiden thermischen Kraftwerke fahren aktuell untererregt, um das zu kompensieren.
- Künftig: 2 Drosselspulen (110 kV), um weiter steigende kapazitive Blindleistung zu kompensieren



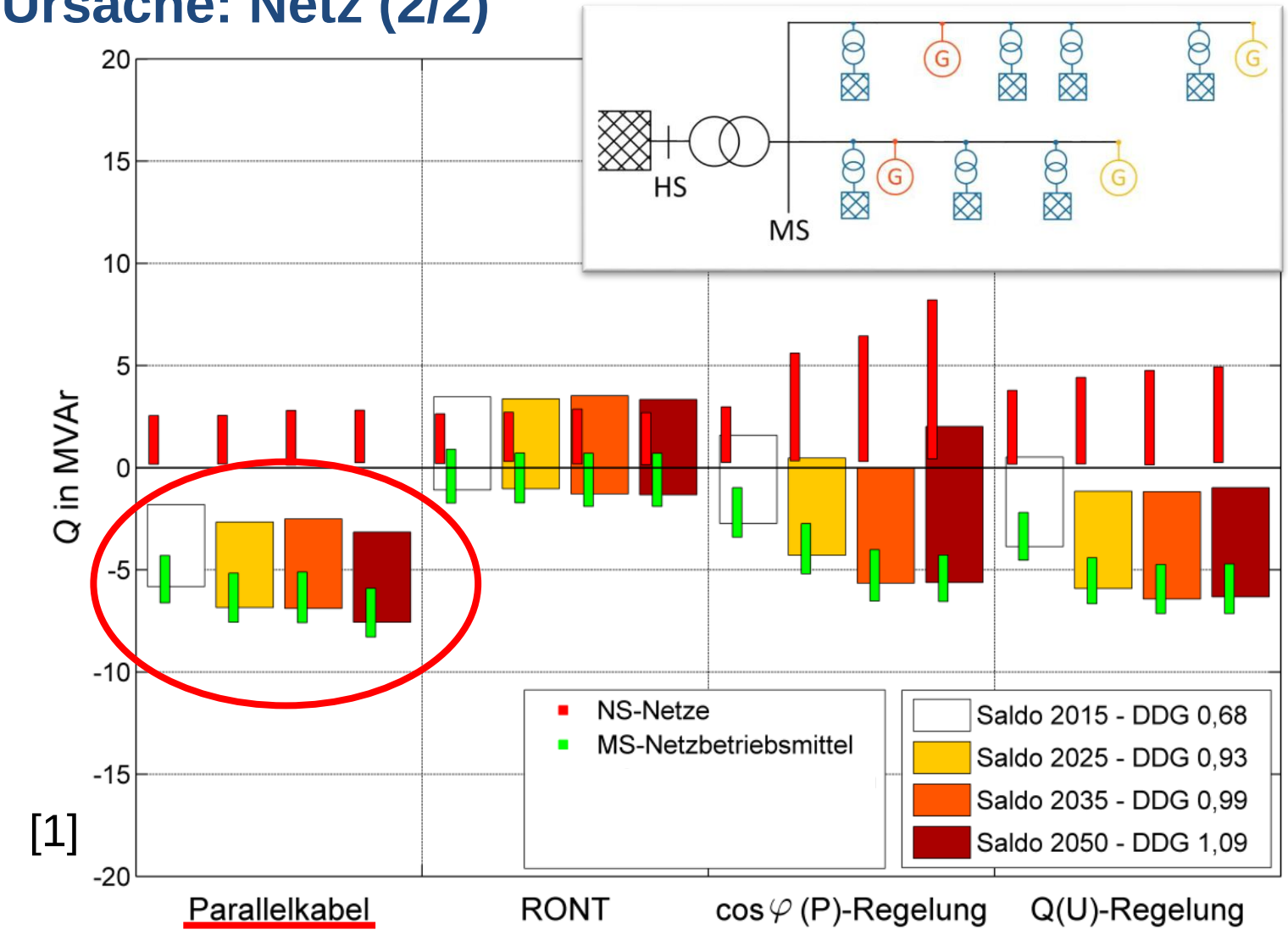
Mögliche Ursache: Netz (1/2)

- Netzausbau mit Kabeln, Leitungsauslastung liegt nicht dauerhaft an
- Unternatürlicher Betrieb von Kabeln mit kapazitivem Verhalten





Mögliche Ursache: Netz (2/2)



[1]

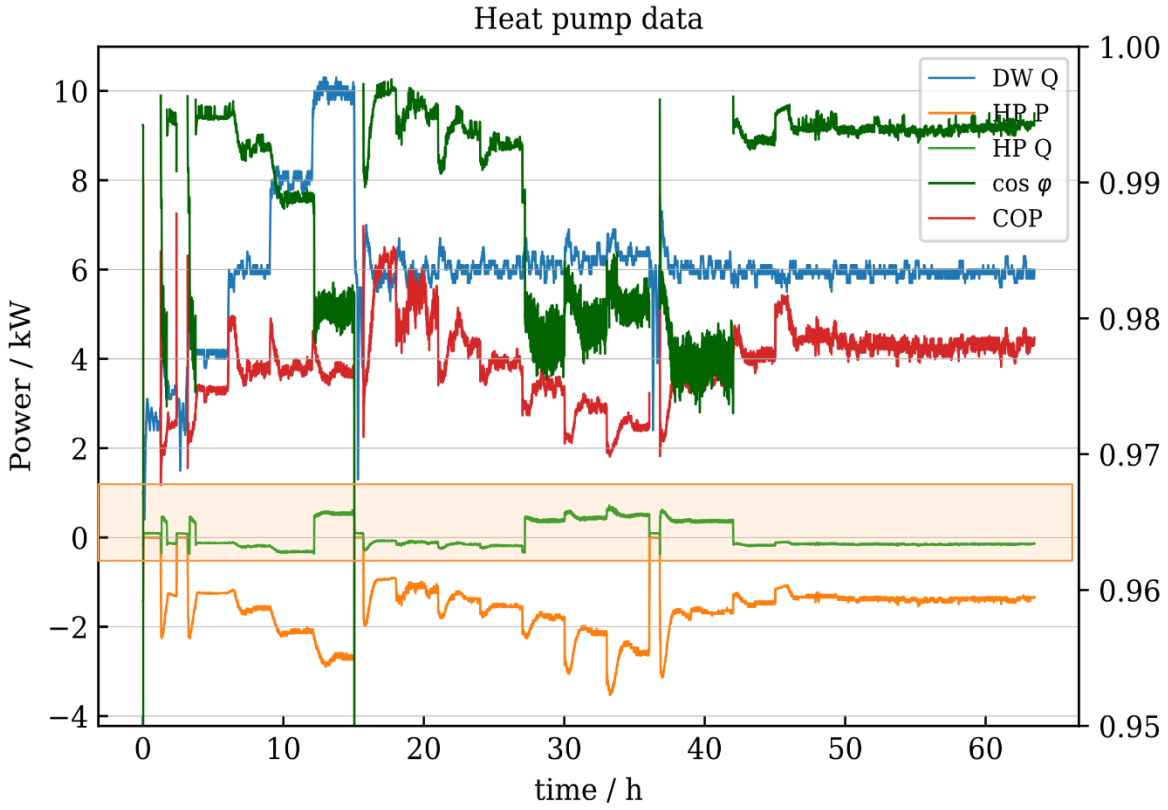
(Regelbarer Ortsnetztransformator)

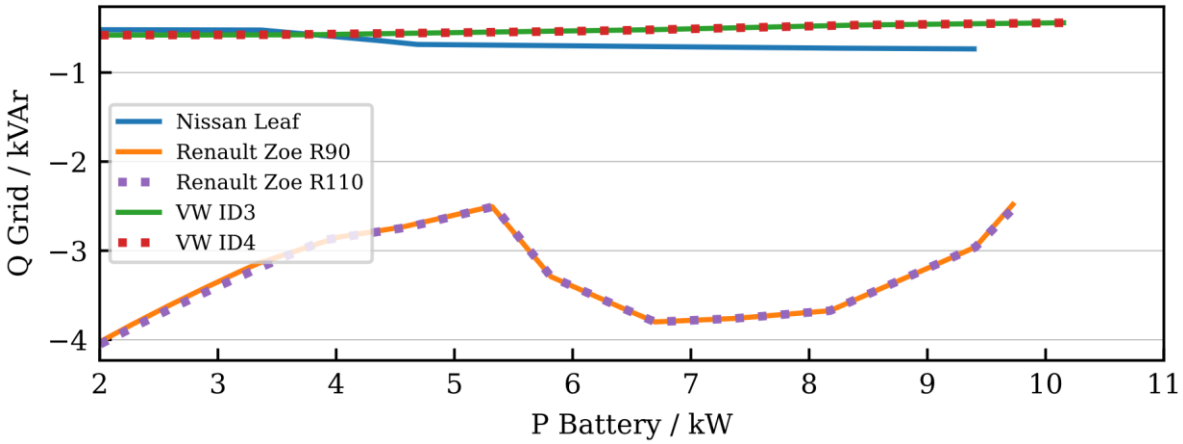
- Gleichmäßiger Zubau von Erzeugungsanlagen gemäß Jahr
- geringe Durchdringung (passt zum Hamburger Netz) in 2015 (Basisszenario)
- Vollständige Kompensation der Industriebetriebe

[1]: Endbericht zum Dienstleistungsauftrag: „Zukünftige Bereitstellung von Blindleistung und anderen Maßnahmen für die Netzsicherheit“, INA – Institut für Netz- und Anwendungstechnik GmbH, Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg, 2016

Mögliche Ursache: Lasten

- LED-Leuchtmittel
- Schaltnetzteile
- Leistungselektronisch angebundene Lasten
- Wärmepumpen
  - $\cos\varphi \geq 0.98$
  - Wechselt zwischen induktivem und kapazitivem Verhalten nach Betriebspunkt
    - $P < 1.5\ \mathrm{kW} \rightarrow \cos\varphi > 0.99\ (\mathrm{ind.})$
    - $P \geq 1.5\ \mathrm{kW} \rightarrow \cos\varphi = 0.98\ (\mathrm{cap.})$
- Ladegeräte (Elektromobilität)
  - Kapazitives Verhalten



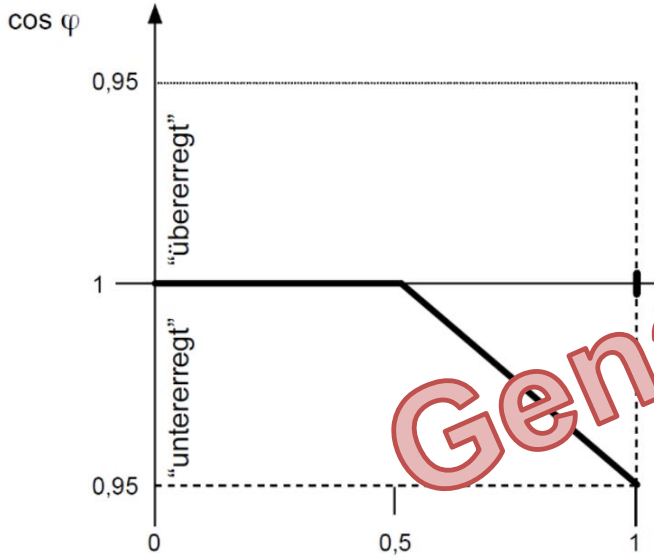


Mögliche Ursache:
Dezentrale Einspeisungen (z.B. PV)

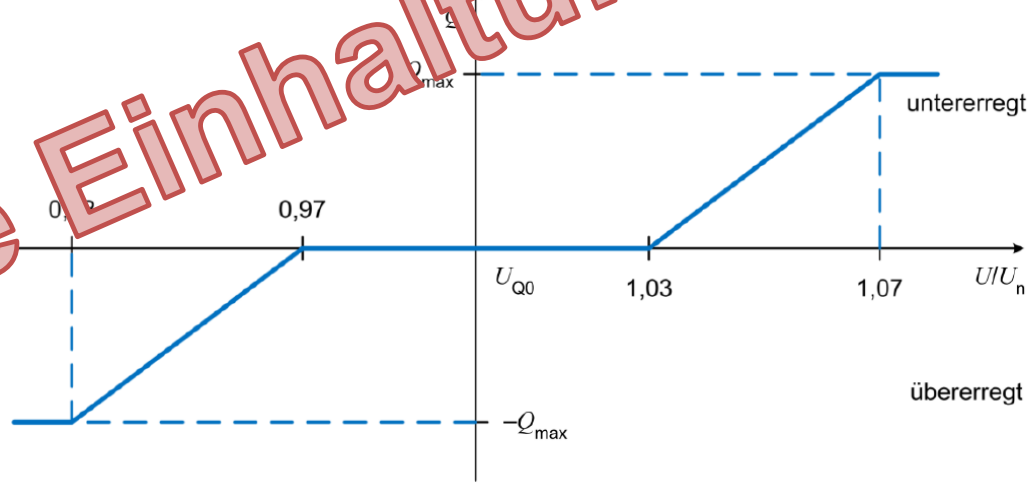
Quelle: IUE, TUHH

- Vorgaben für Mittel- bzw. Niederspannung:
  - cos(φ)(P)-Regelung
  - Q(U)-Regelung
  - cos(φ) zwischen 0,9 kapazitiv und 0,9 induktiv

Genaue Einhaltung?



[1]



[2]

Bild 7 – Standard-$Q(U)$-Kennlinie

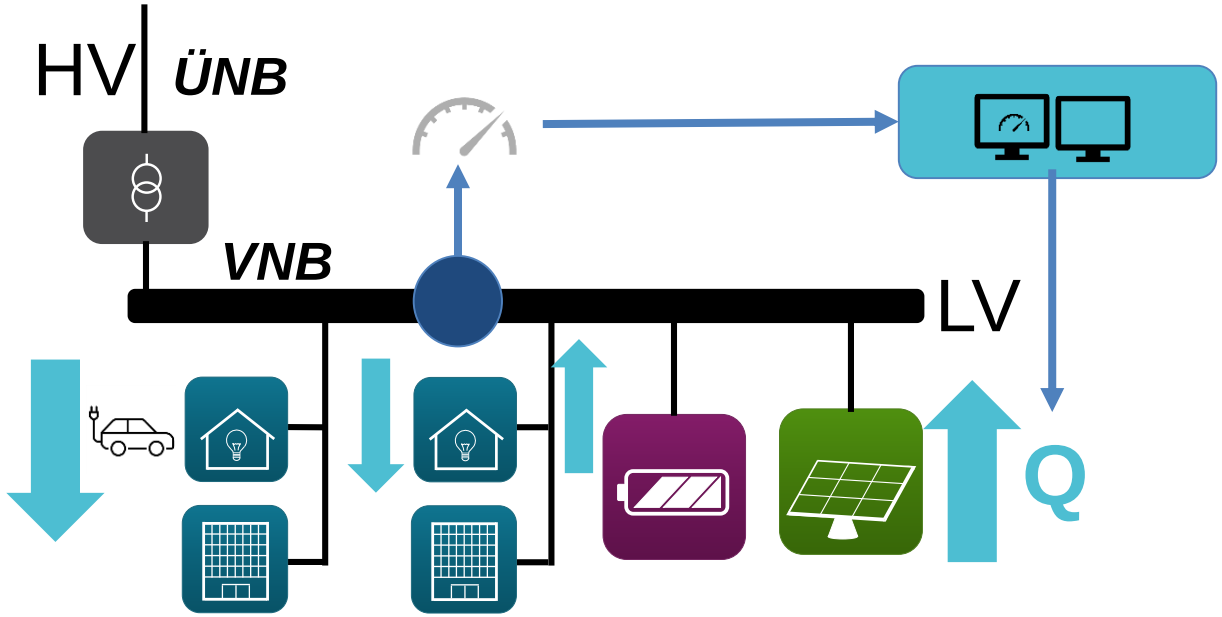
[1]: Technische Anschlussbedingungen (TAB) für den Anschluss an das Mittelspannungsnetz Hamburg
Bau, Betrieb, sekundärtechnische Ausrüstung und Anbindung von 10-kV-Kundenanlagen, Hamburger Energienetze, 2023

[2]: Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz – Technische Mindestanforderungen für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz, VDE-AR-N 4105, VDE FNN, 2018

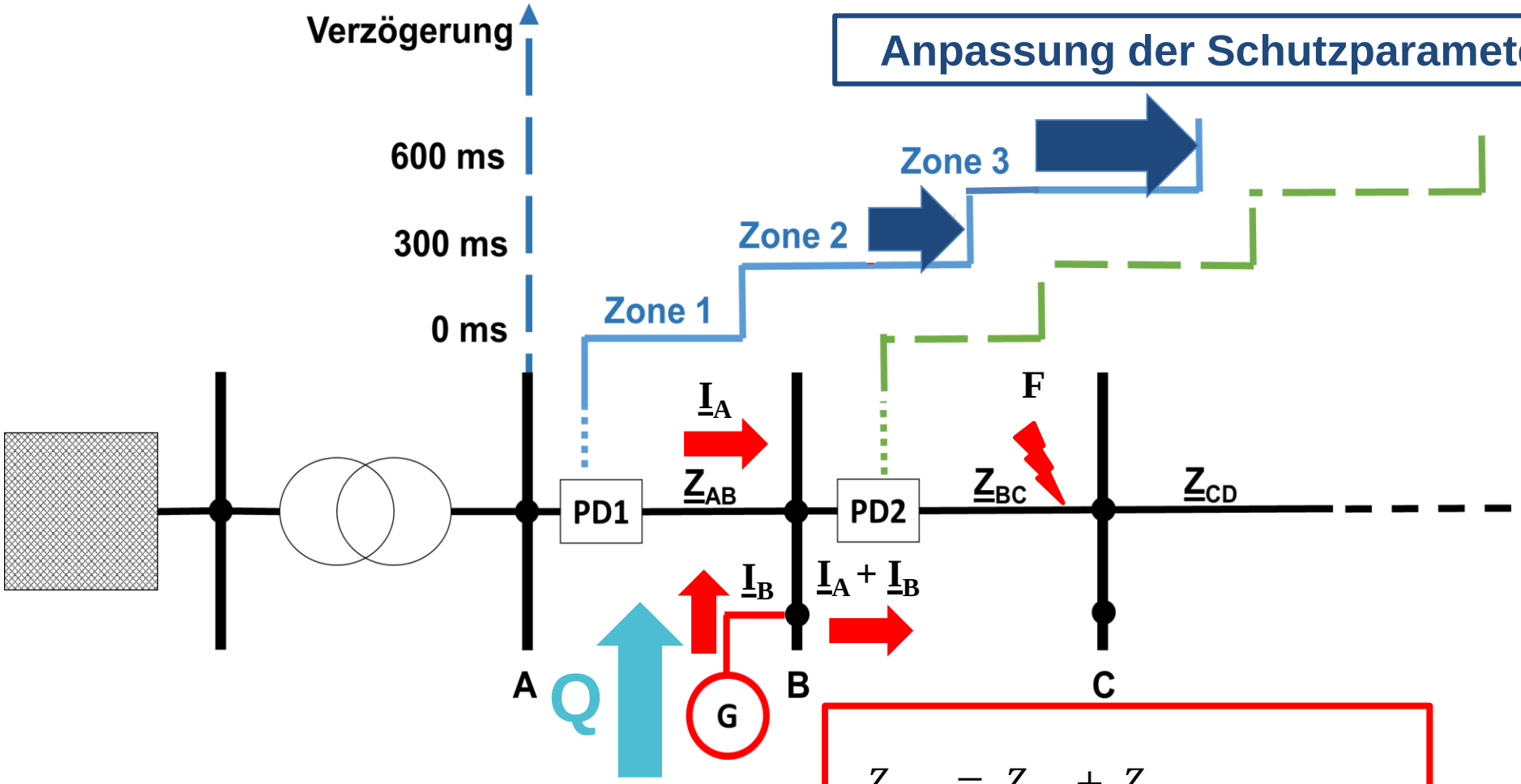
Dynamisches Blindleistungsmanagement

- Gemäß Roadmap Systemstabilität gibt es folgende Möglichkeiten der Blindleistungsbereitstellung:
  - Durch Betriebsmittel des Netzbetreibers
  - Durch Erzeugungsanalgen mittels TAR und TAB
  - Über einen Markt

- **Dynamische Vorgabe von Blindleistungssollwerten** für alle steuerbaren Anlagen unter Berücksichtigung der Blindleistungsbilanz und der Netzauslastung



Schutzkoordination



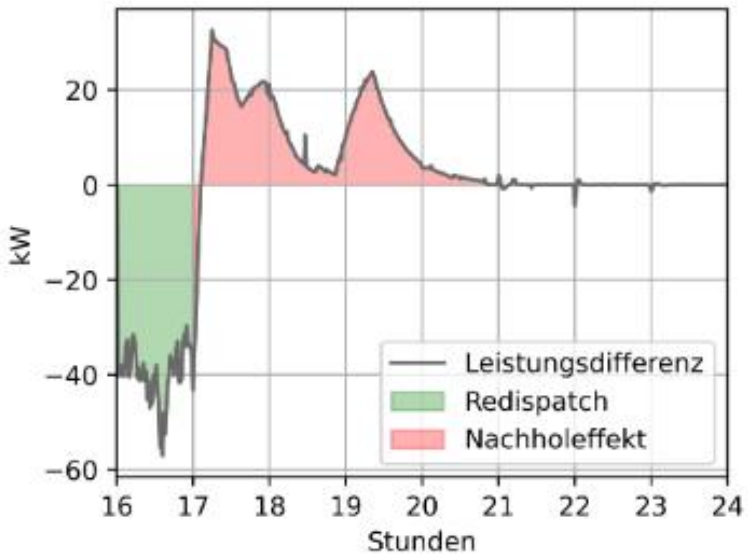
Anpassung der Schutzparameter

$$\underline{Z}_{PD1} = \underline{Z}_{AB} + \underline{Z}_{BF}$$

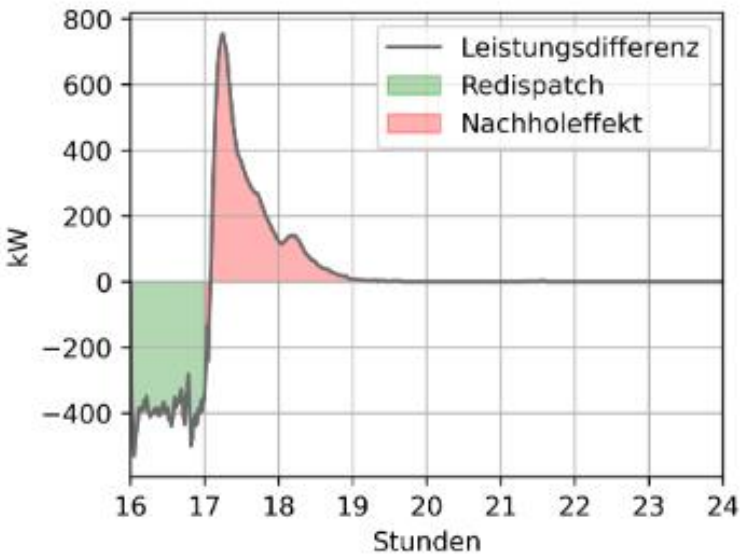
https://www.tuhh.de/ieet/forschung/forschungsprojekte/ven2us-bmwk

Dynamische Lastmodellierung

- Dynamische Lastmodellierung mittels TransiEnt Library https://github.com/TransiEnt-official/transient-lib
- Abbildung von
  - Nachholeffekten durch Regelungen, Speicher und Trägheiten
  - Blindleistungsverhalten



(a) Ländliches Netz.



(b) Städtisches Netz.

https://www.tuhh.de/ieet/forschung/forschungsprojekte/effizientee-bmwk

Zusammenfassung

- Blindleistung (kapazitiv / induktiv) muss stets ausgeglichen sein.
- Blindleistungsbalance ist entscheidend für die Einhaltung des Spannungsniveaus (stärker bei höheren Nennspannungen).
- Übertragungsnetze müssen durch den Wegfall großer Kraftwerke ihren Blindleistungsbedarf durch neue / andere Maßnahmen decken.
- Die Energiewende führt zu verändertem Blindleistungsverhalten auf allen Netzebenen, Verteilnetze stehen in besonderem Fokus
- Blindleistungsverhalten von dezentralen Anlagen ist zunehmend dynamisch und teilweise unbekannt.
- **→ Dynamisches Blindleistungsmanagement:**
  - gezielte & schnelle dynamische Bereitstellung von Blindleistung (induktiv, kapazitiv)
  - erfordert genaue Kenntnis und Modellierung der Anlagen und deren Regelung
  - erfordert Adaption der Schutzparameter

VIELEN DANK!

Prof. Dr.-Ing. Christian Becker
c.becker@tuhh.de
Tel.: 040 42878 3113

Technische Universität Hamburg
Institut für Elektrische Energietechnik
Harburger Schloßstraße 22a
21079 Hamburg