INSTITUT ieet
FÜR ELEKTRISCHE ENERGIETECHNIK

TUHH
Technische Universität Hamburg

Stromnetze im Wandel – Was resultiert daraus für die IKT?

Prof. Dr.-Ing. Christian Becker

Thementag: „Sicherheit in Intelligenten Netzen und IoT“
GI-Fachgruppe NETSEC 18.03.2019

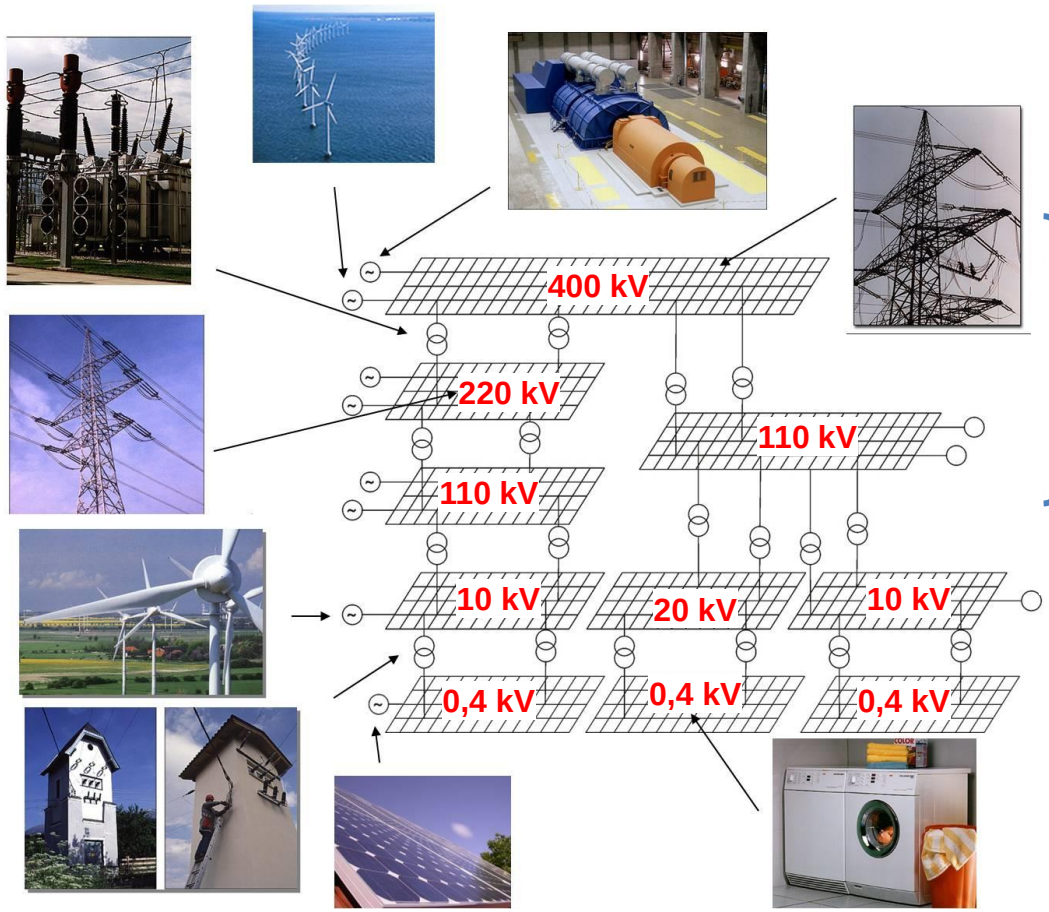
Inhalt

- Aufbau terrestrischer elektrischer Energienetze
- Netzleittechnik
- Aufgaben der Netzführung
- Energiewende:
  Konsequenzen für Netze, Netzführung und IKT

Inhalt

- **Aufbau terrestrischer elektrischer Energienetze**
- Netzleittechnik
- Aufgaben der Netzführung
- Energiewende:
  Konsequenzen für Netze, Netzführung und IKT

Schematischer Aufbau eines elektrischen Energieversorgungssystems

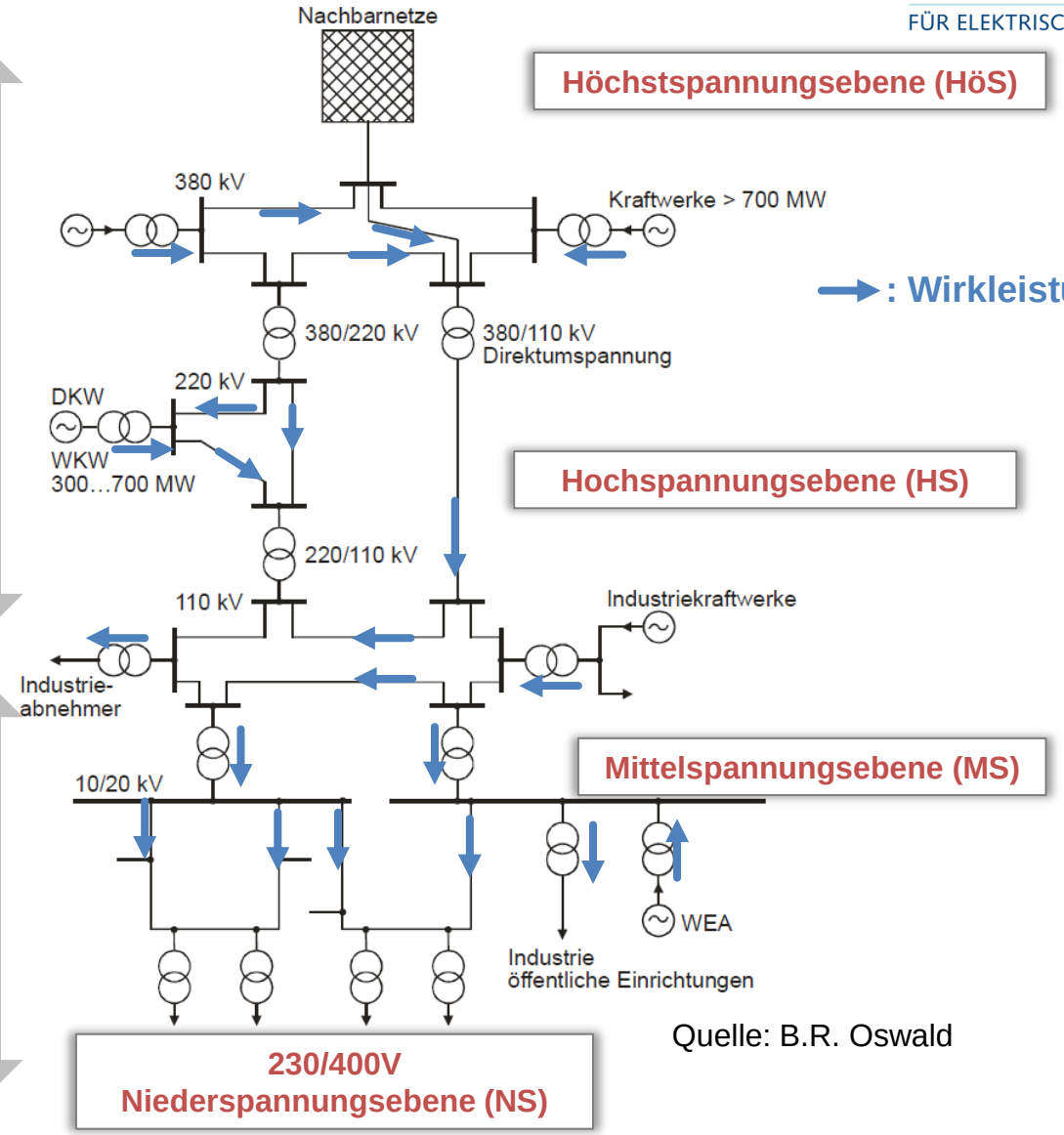


Darstellung elektrischer Energienetze und Lastflüsse

INSTITUT ieet FÜR ELEKTRISCHE ENERGIETECHNIK

Übertragungsnetz (vermascht, im Verbundbetrieb)

Verteilnetz (ring-/strahlenförmig)

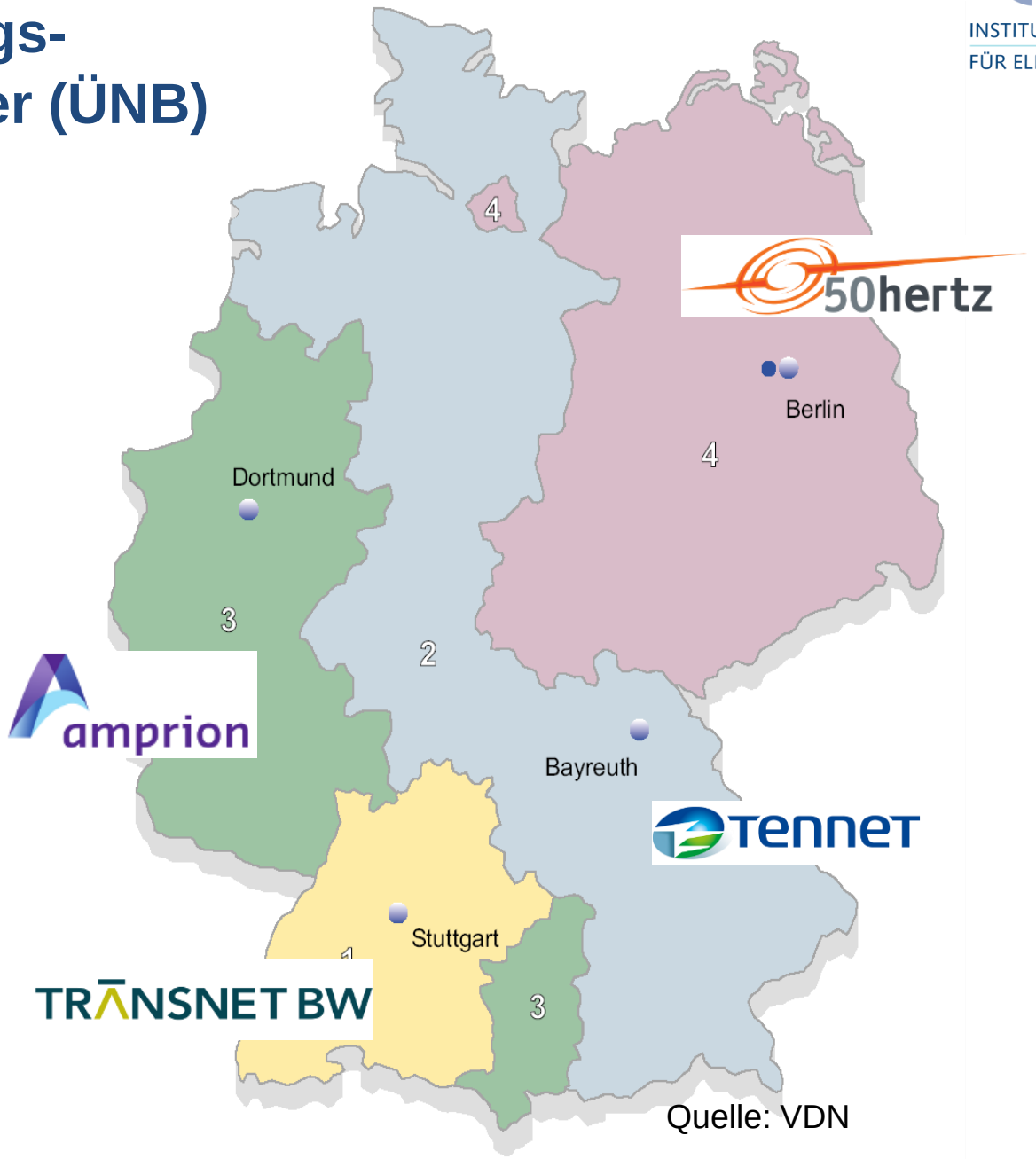


Quelle: B.R. Oswald

Deutsches Verbundsystem: 380/220 kV

Quelle: VDE

Die vier deutschen Übertragungs-netzbetreiber (ÜNB)

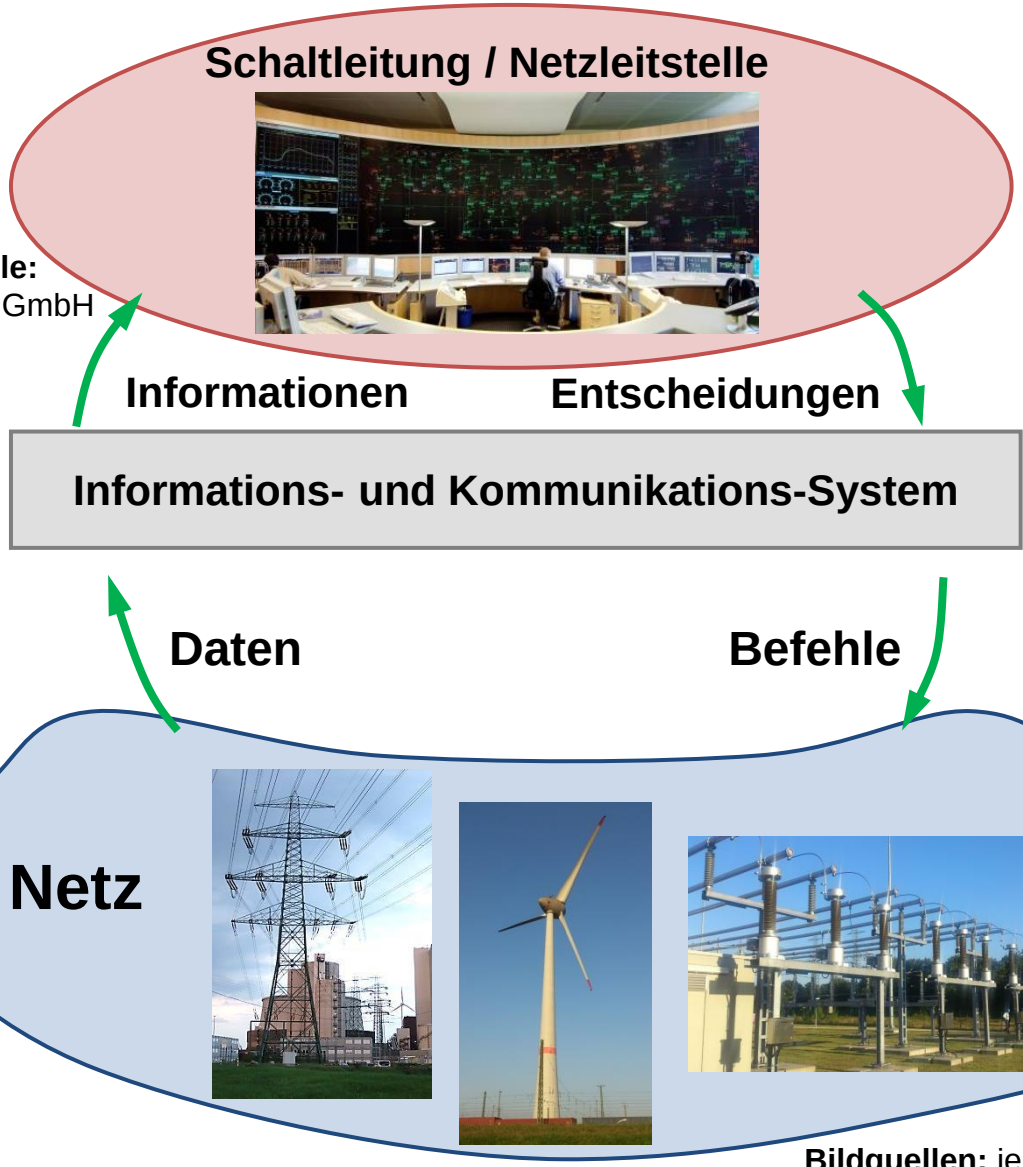


Quelle: VDN

Inhalt

- Aufbau terrestrischer elektrischer Energienetze
- **Netzleittechnik**
- Aufgaben der Netzführung
- Energiewende:
  Konsequenzen für Netze, Netzführung und IKT

Netzleittechnik – Übersicht



Bildquelle:
Amprion GmbH

„Führen“:

- Überwachen
- Optimieren
- Schaltmaßnahmen
- Engpassmanagement
- …

Prozess:
Elektrisches Energiesystem

Bildquellen: ieet/TUHH

ÜNB Amprion: Hauptschaltleitung in Brauweiler (bei Köln)

Quelle: Amprion

Netzleittechnik: Leitebenen

zentral

Netzleitebene

WAN
(= wide area network)

dezentral

Stationsleitebene

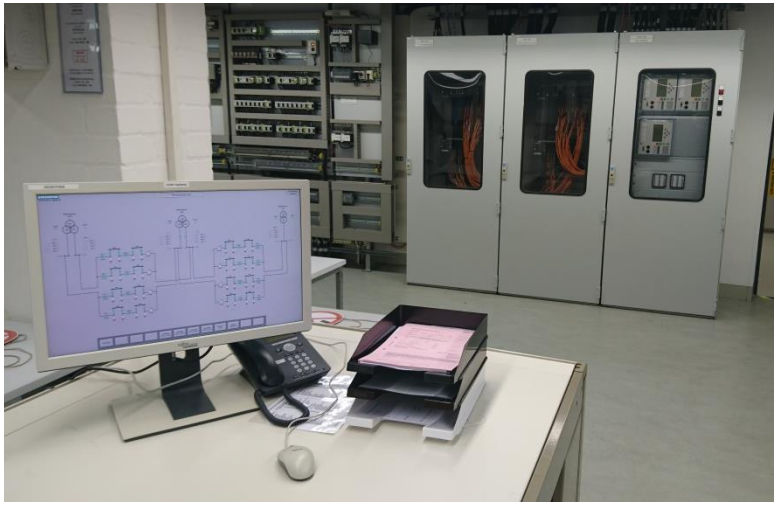
Feldleitebene

Messsysteme
Schutz
Regler

Messsysteme
Schutz
Regler

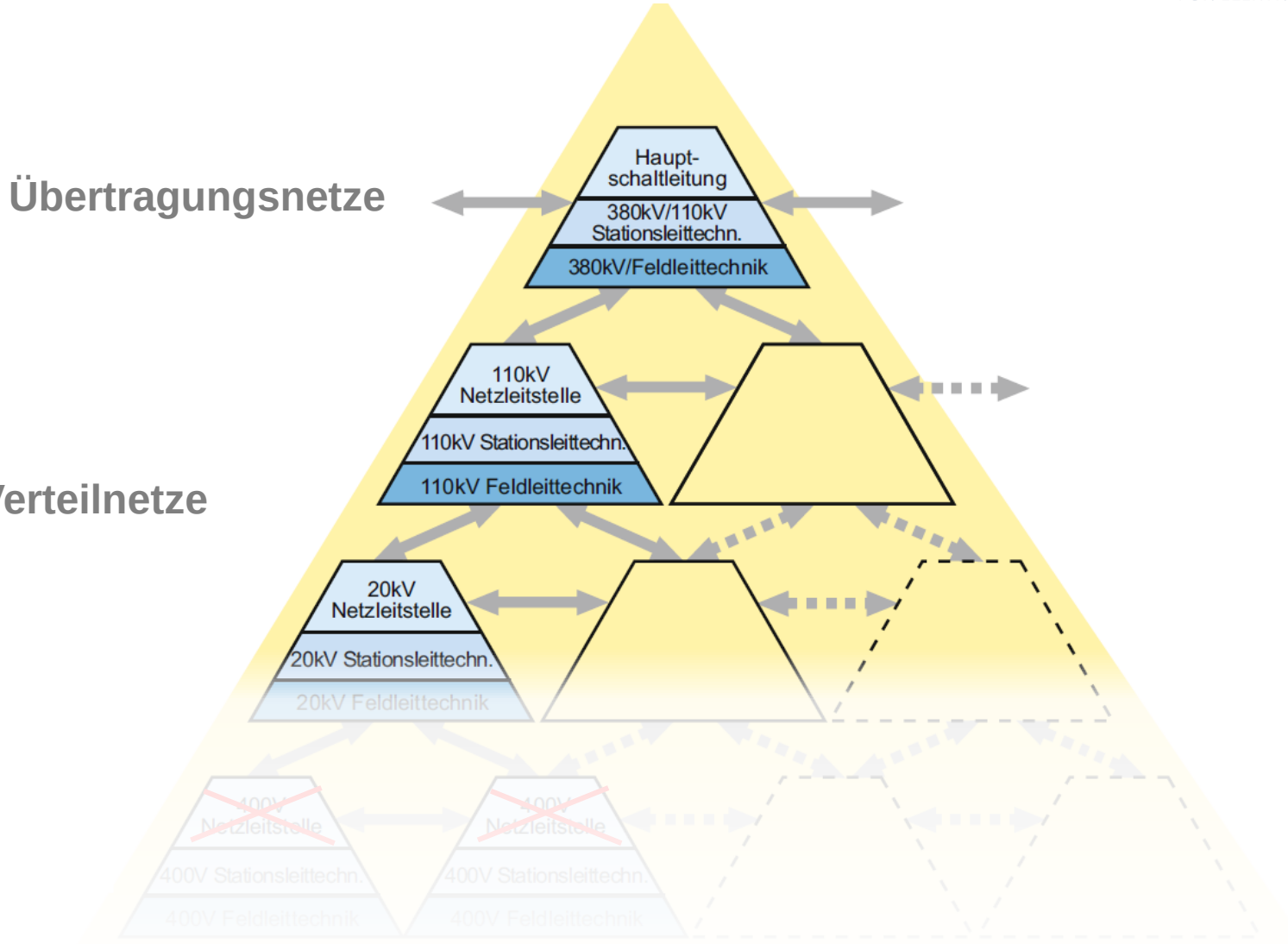
Messsysteme
Schutz
...

Beispiel: 110-kV-Schaltanlage



Bildquellen: ieet/TUHH

Struktur des Netzleitsystems eines Elektroenergiesystems



Quelle: A. Schwab, Elektroenergiesysteme, Springer

Inhalt

- Aufbau terrestrischer elektrischer Energienetze
- Netzleittechnik
- **Aufgaben der Netzführung**
- Energiewende:
  Konsequenzen für Netze, Netzführung und IKT

Aufgaben der Übertragungsnetzführung

ÜNB trägt die Systemverantwortung

- Systemüberwachung und Systemführung der Regelzone
- Überwachung und Führung des Übertragungsnetzes (380/220 kV)
- Netzlastprognose / Lastflussprognose
- **Engpassmanagement:** präventiv und kurativ
- Planung und Beschaffung von **Systemdienstleistungen**
- **Leistungs-Frequenzregelung und Regelleistungseinsatz**
- Bewirtschaftung der Erneuerbaren Energien
- Kontrolle der Systembilanz
- Entstörungsmanagement
- …

Netzengpassmanagement: Einspeisemanagement, Redispatch

Einspeisamanagement:

- Abregeln Erneuerbarer Energieanlagen

Redispatch:

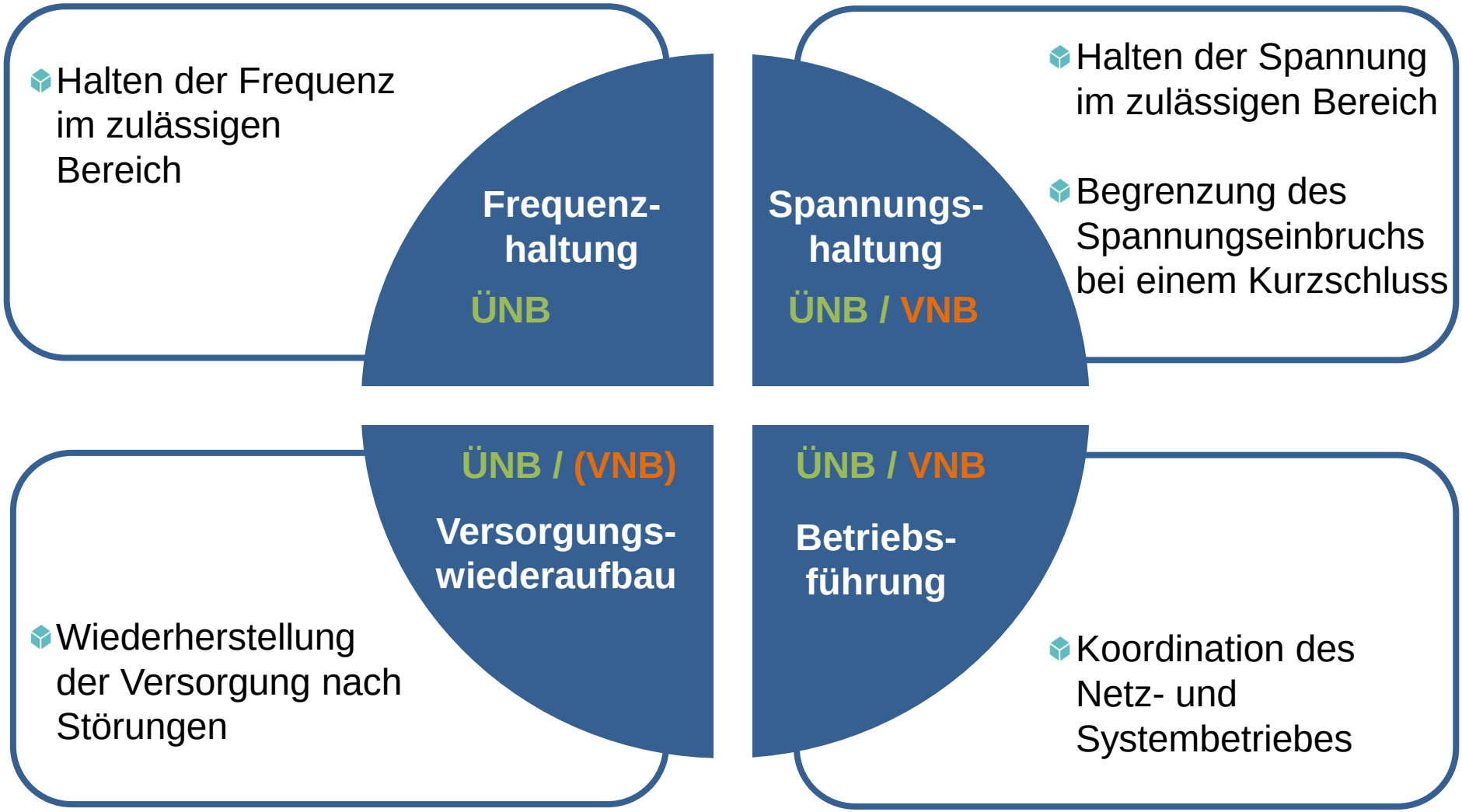
- Beeinflussung der Einspeisung konventioneller Kraftwerke

Technische Umsetzung:

- direkte Ansteuerung und Überwachung der Anlagen von der Netzführung (serielles Übertragungs-protokoll nach IEC 60870-5-101)
- Vorgabemöglichkeiten: P, Q, U, $\cos(\varphi)$

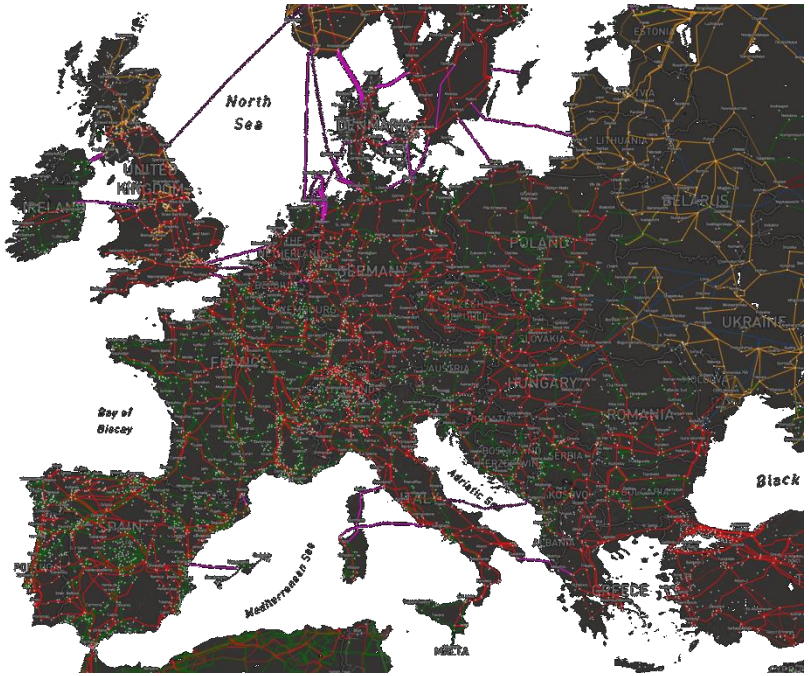
Quelle: 50Hertz

Systemdienstleistungen: Werkzeug und Rahmen der Netzbetreiber



Frequenzhaltung

Wirkleistungs-
verbrauch

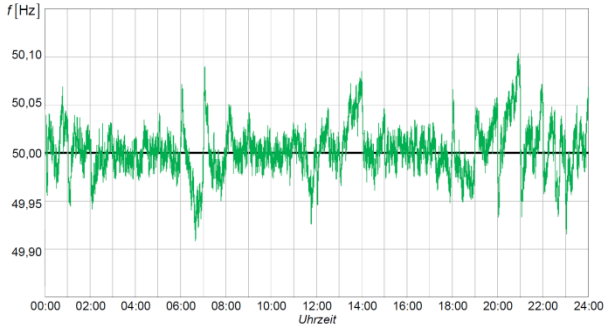


Wirkleistungs-
erzeugung

$P_V(t)$ $-$ $P_E(t)$

Wirkleistungsgleichgewicht
Indikator/Regelgröße:
Netzfrequenz

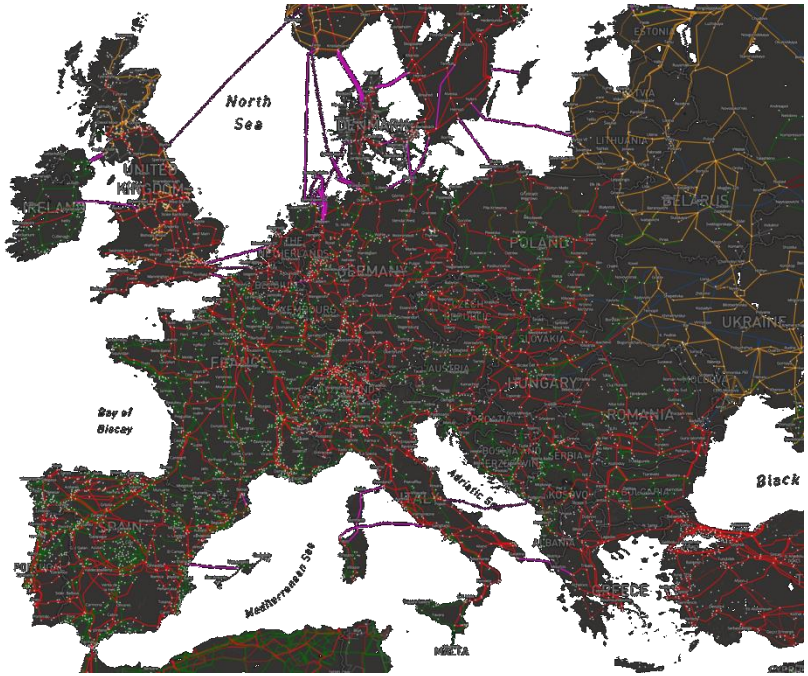
Beispiel-Frequenzverlauf eines Tages



Quelle: ENTSO-E

Frequenzhaltung

Wirkleistungs-
verbrauch



Wirkleistungs-
erzeugung

$P_{\mathrm{V}}(t)$ $-$ $P_{\mathrm{E}}(t)$

Wirkleistungsgleichgewicht
Indikator/Regelgröße:
Netzfrequenz

Wirkleistungsdefizit

$P_{\mathrm{V}}(t) > P_{\mathrm{E}}(t)$

$f < f_{\mathrm{soll}} = 50\ \mathrm{Hz}$

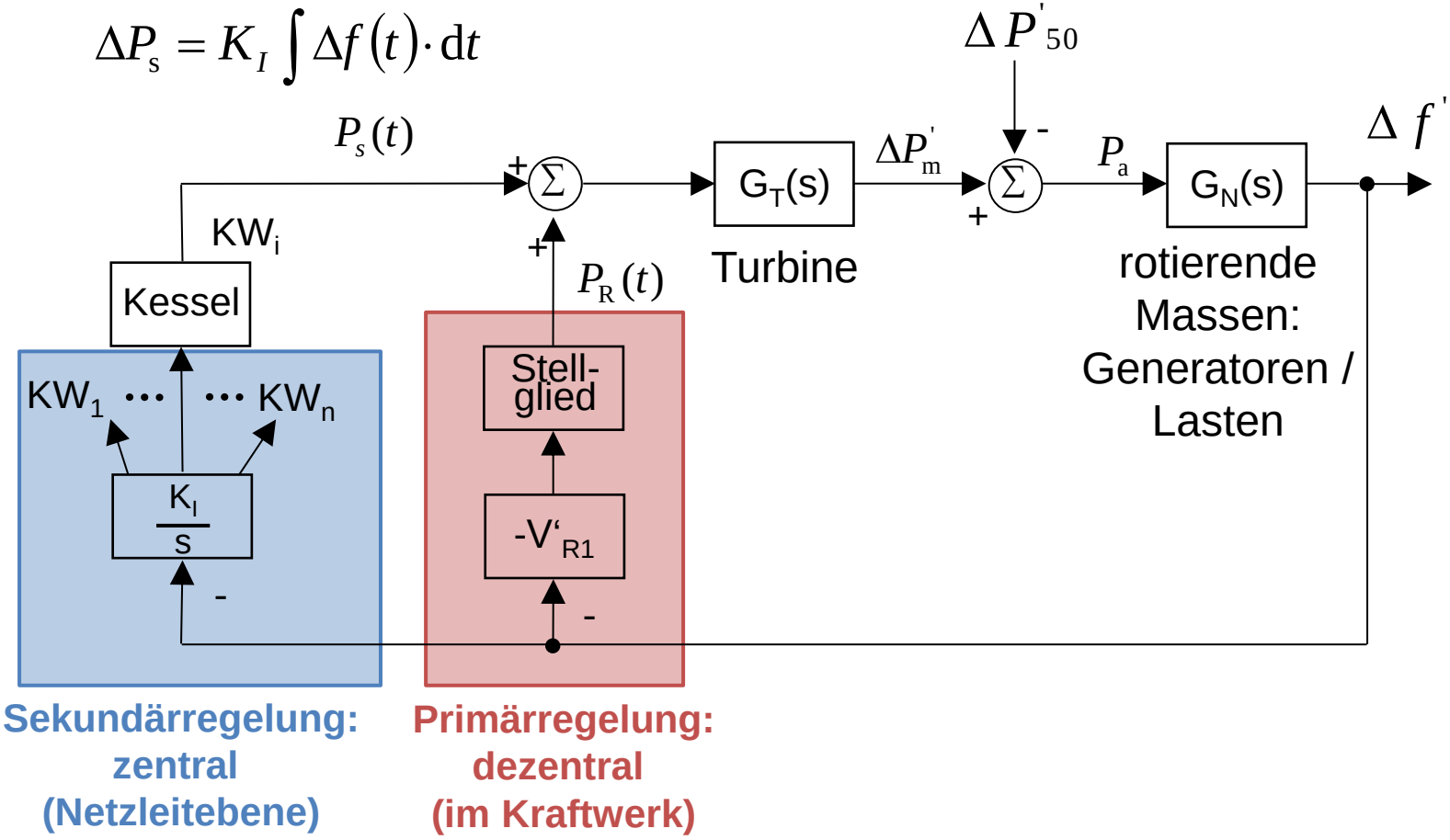
Wirkleistungsüberschuss

$P_{\mathrm{V}}(t) < P_{\mathrm{E}}(t)$

$f > f_{\mathrm{soll}} = 50\ \mathrm{Hz}$

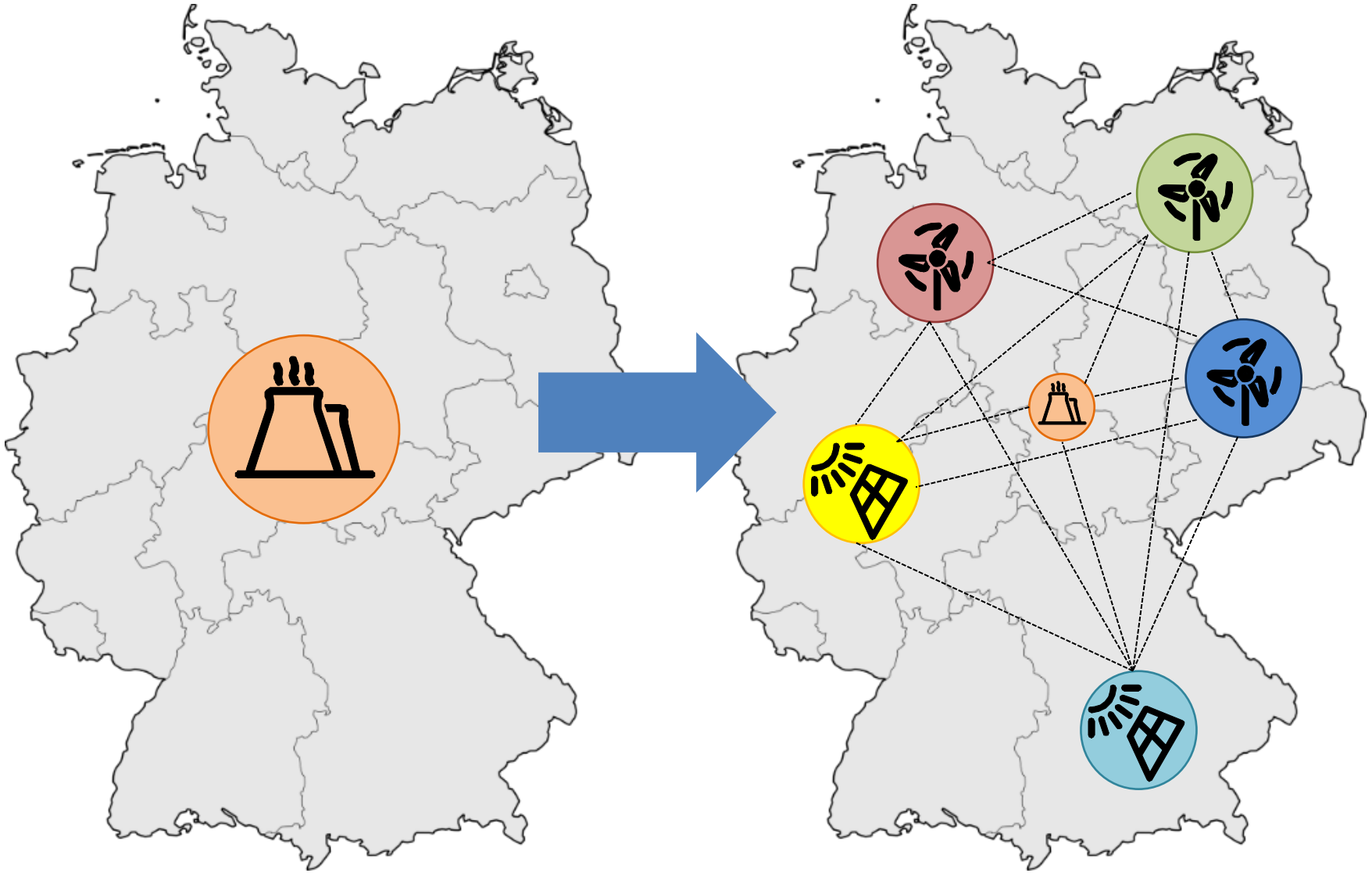
Quelle: ENTSO-E

Kraftwerksregelung: Frequenz/Wirkleistung

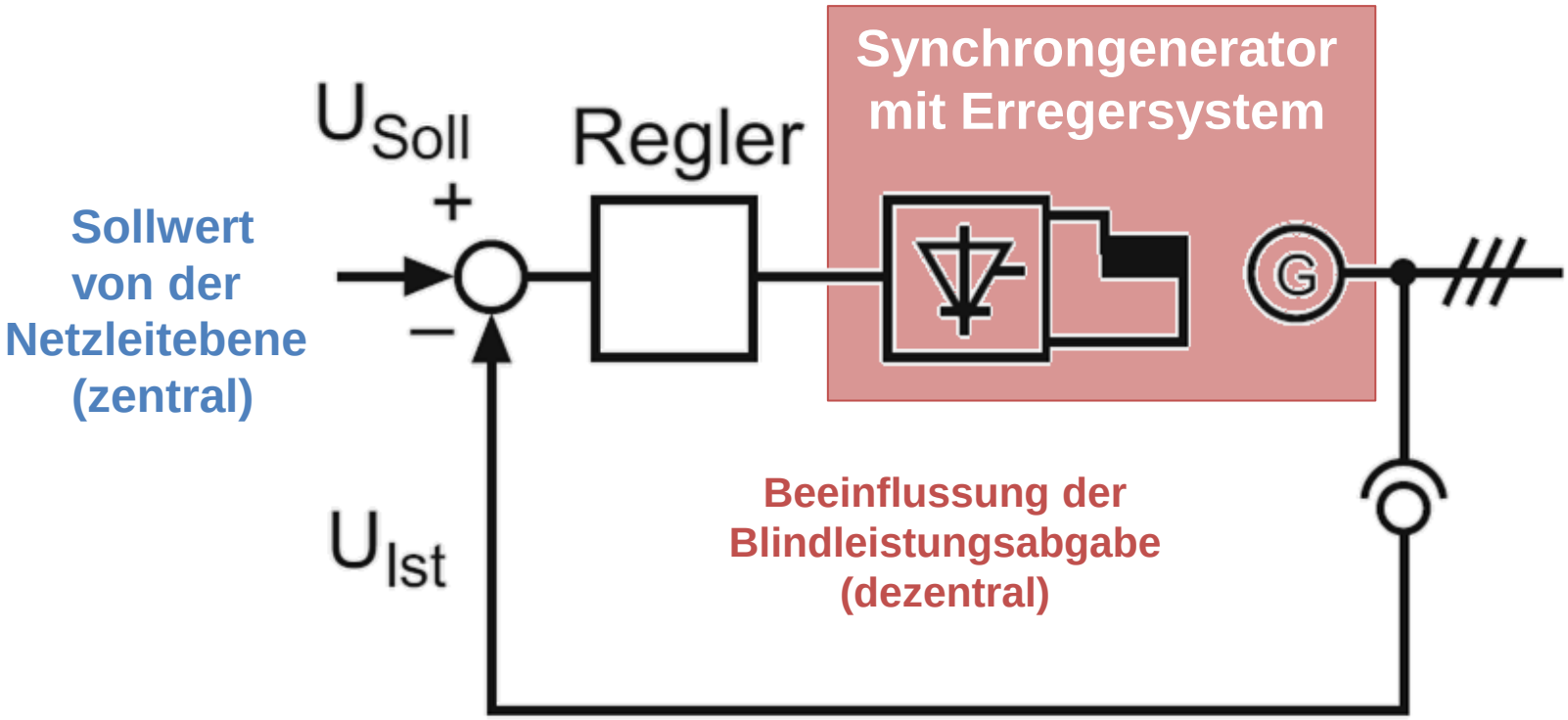


Aufteilung des Regler-signals durch ÜNB

Pooling von Erzeugungsanlagen

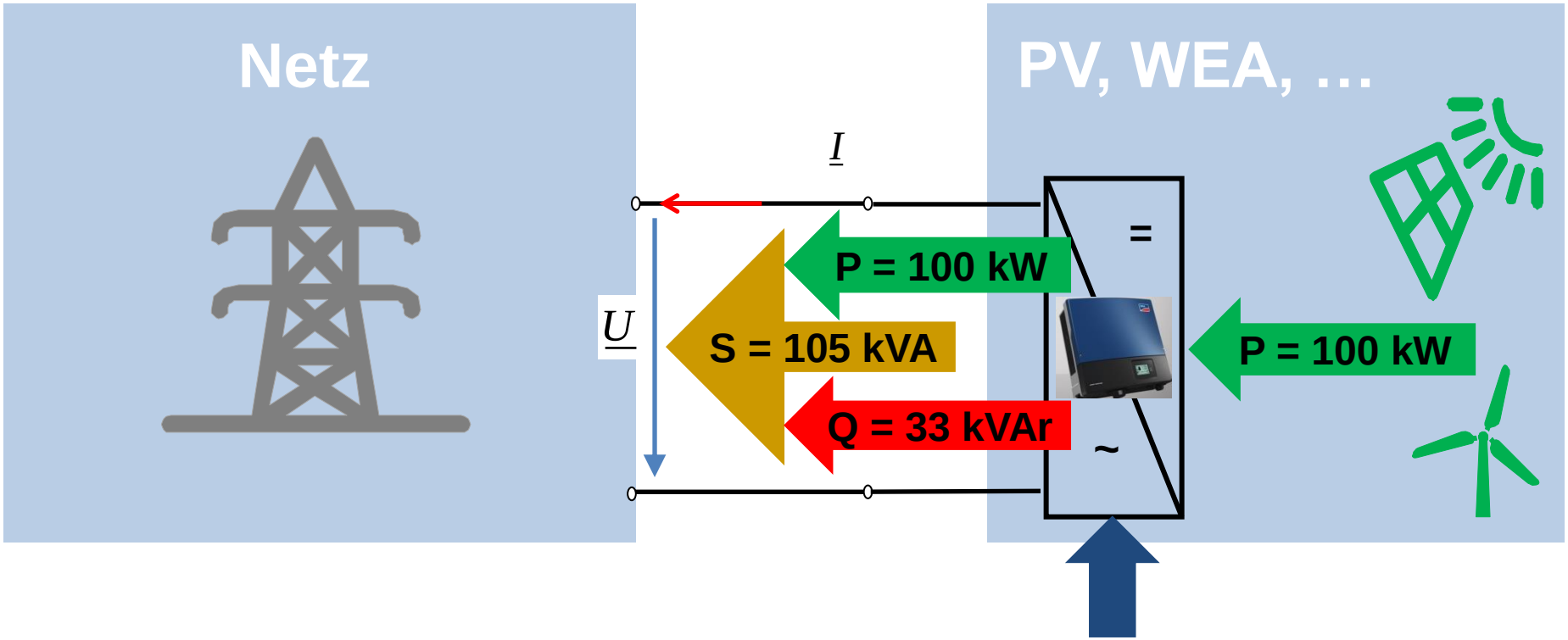


Spannungshaltung:
Spannung der Generatoren regelbar



Quelle: A. Schwab, Elektroenergiesysteme, Springer

Moderne Wechselrichter sind regelbar in Wirk- und Blindleistung

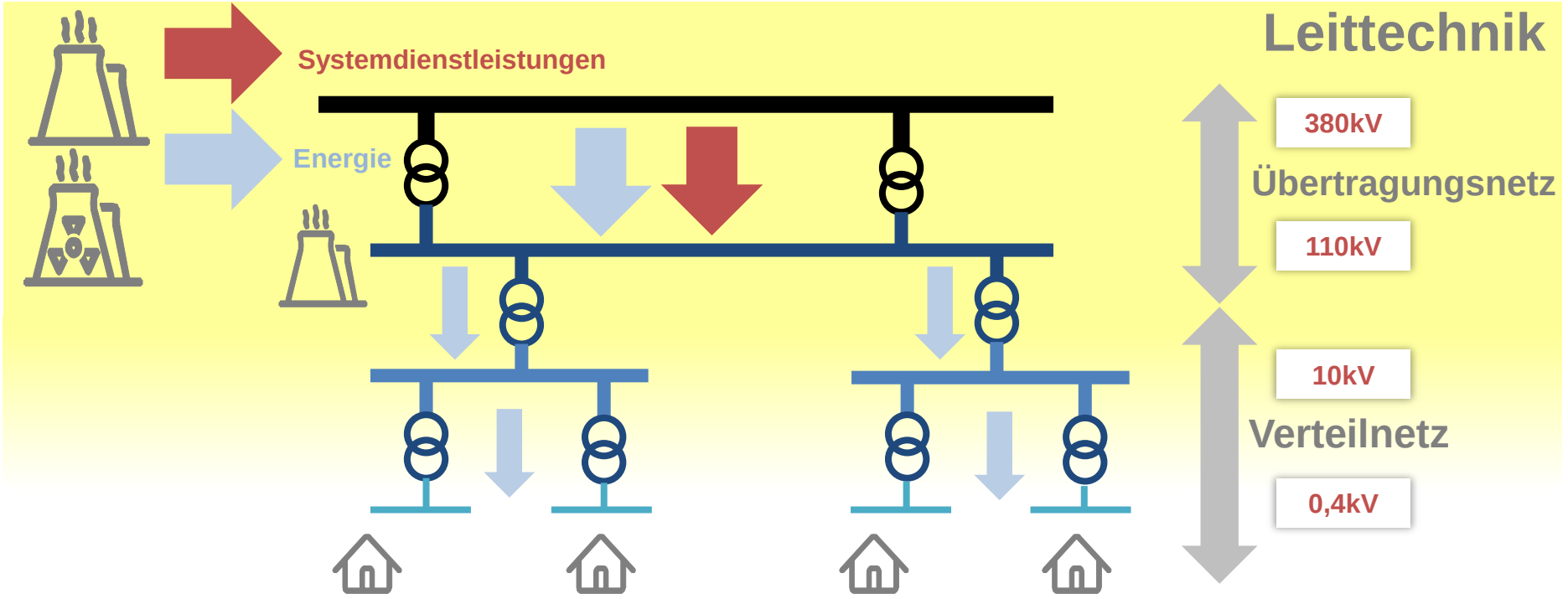


Bildquelle: SMA AG

Inhalt

- Aufbau terrestrischer elektrischer Energienetze
- Netzleittechnik
- Aufgaben der Netzführung
- **Energiewende:**
  Konsequenzen für Netze, Netzführung und IKT

Elektroenergiesysteme: bislang



Erzeugung

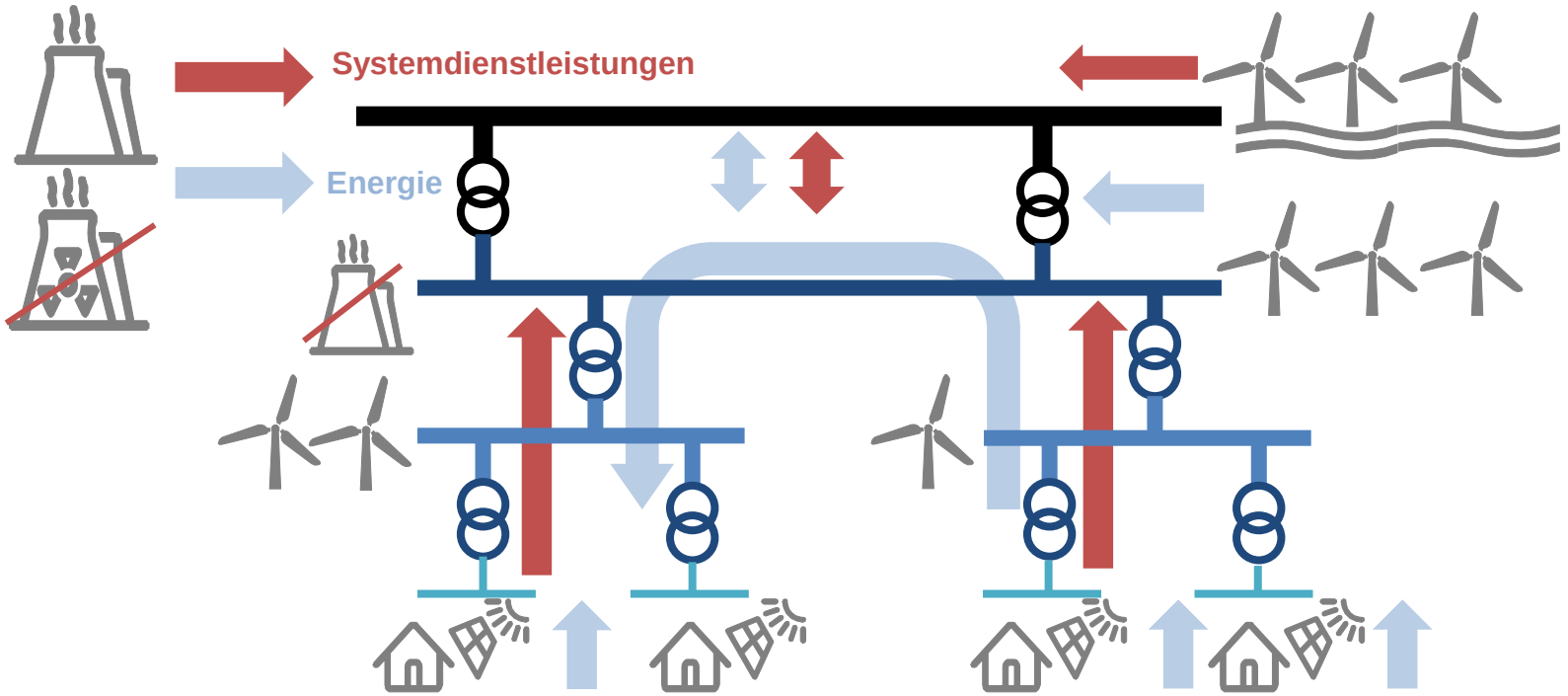
- zentral
- planbar
- nach Verbrauch regelbar

Übertragung & Verteilung

- unidirektional

Systemdienstleistungen zentral bereitgestellt

Energiewende: „Dezentralisierung des Stromsystems“



Erzeugung
- dezentral, verteilt
- erneuerbare Energien
- fluktuierend

Speicherung
- steuerbar

Übertragung & Verteilung
- bidirektional Lastfluss: verändert, volatil
- Netzengpässe
- Netzausbau verzögert

Verbrauch
- teilweise steuerbar

Systemdienstleistungen zentral und aus dem Verteilnetz

SDL werden verstärkt aus erneuerbaren Energien und den Verteilnetzen erbracht

INSTITUT ieet FÜR ELEKTRISCHE ENERGIETECHNIK

Frequenz-haltung

ÜNB / VNB

- Erbringung von Regelleistung durch erneuerbare Energien
- stärkere Rolle der VNB

Spannungs-haltung

ÜNB / VNB

- Blindleistungsbereit-stellung für ÜN aus VN
- Blindleistungs-neutralität auf allen Spannungsebenen

Versorgungs-wiederaufbau

ÜNB / VNB

- Unterstützung durch VNB: regionale Koordination von Lasten und DEA
- ggf. Betrieb von Inselnetzen

Betriebs-führung

ÜNB / VNB

- Komplexität steigt durch dezentrale Erzeuger
- Systemoptimierung
- Engpassmanagement
- Netzzustands-prognosen

Konsequenzen für die IKT

- Netz- und Systemverantwortung durch **ÜNB**:
  Einbeziehung vieler dezentraler Anlagen in
  - Netzengpassmanagement
  - Systemdienstleistungen

Übertragungsnetz

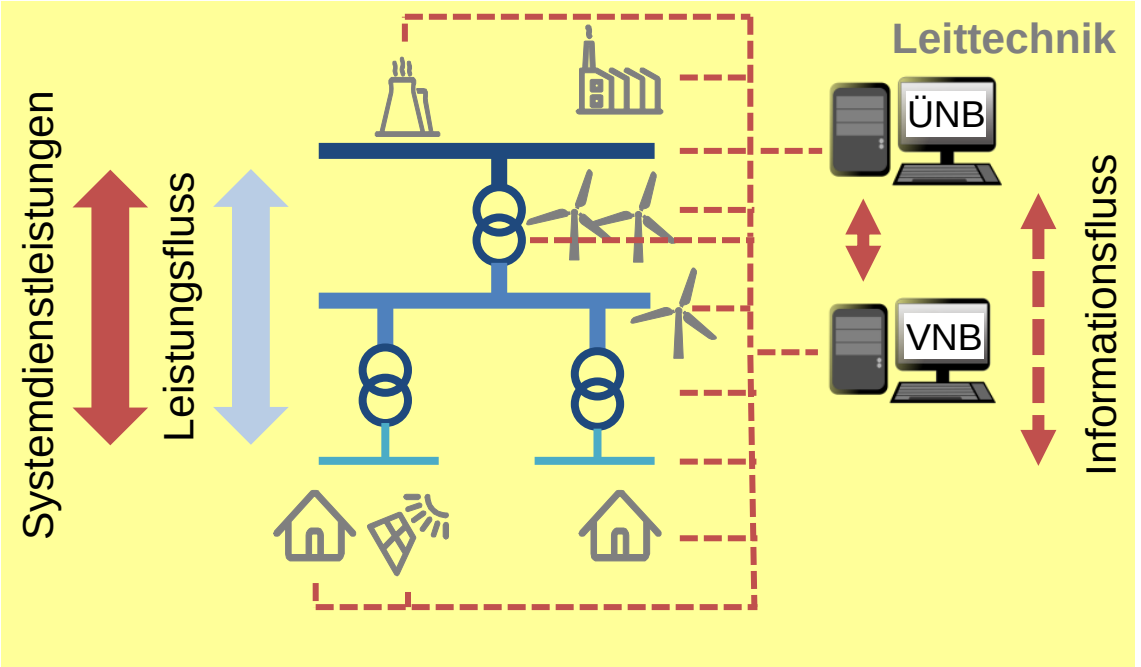
- erweiterte Verantwortung der **VNB** → Einbindung in Systemverantwortung
  - Beobachtbarkeit und Steuerbarkeit
  - Netzengpassmanagement

Verteilnetz

- stärkere Kooperation **ÜNB ←→ VNB**
  - „vertikale Beobachtbarkeit“
  - stärkerer Informationsbedarf des **ÜNB** aus dem **VN**
  - **ÜNB** benötigt knotenscharfe Eingriffsmöglichkeiten auf **VN**-Ebene
  - Engpassmanagement: kaskadiert

Erhöhter Koordinationsbedarf → Stärkere Vernetzung

- Verbindung der elektrischen Infrastruktur mit **IKT** auf allen Spannungsebenen
- Anbindung dezentraler Erzeuger an die Netzführung
- Verteilnetze:
  - stärkere messtechnische Durchdringung
  - Ausbau der Leittechnik



- Netzzustand auf allen Ebenen bekannt
- Fernsteuerbarkeit von Erzeugern, Lasten, Speichern
- Zusammenschluss von Anlagen („Pooling“)
- häufige Wechsel der Kommunikationskanäle: wetterbedingt, marktbedingt

- **Höhere Komplexität des Gesamtsystems**

INSTITUT ieet
FÜR ELEKTRISCHE ENERGIETECHNIK

VIELEN DANK!

TUHH
Technische Universität Hamburg