



Netzoptimierung durch witterungsabhängigen Freileitungsbetrieb und Hochtemperaturleiter

Dr.-Ing. Ralf Puffer
Institut für Hochspannungstechnik, RWTH Aachen

Gliederung

- Witterungsabhängige Strombelastbarkeit von Freileitungen
- Prinzip des Freileitungs-Monitoring
- Witterungsabhängiger Freileitungsbetrieb in Netzbetrieb und Netzplanung
- Hochtemperaturleiter und Einsatzmöglichkeiten
- Grenzen für die Erhöhung der Strombelastbarkeit

Höchstspannungsnetz: Entwicklungen

- weiterer Zubau der Windenergie + neue thermische Kraftwerke in Norddeutschland (Küste):
⇒ Erzeugungsüberhang im Norden Deutschlands
- weiter zunehmender europäischer Stromaustausch (Handel)
- konsequente Ertüchtigung und Höherauslastung des vorhandenen Transportnetzes in Nord-Süd-Richtung bis zur Kapazitätsgrenze
- Netzausbau



Optimierung der Übertragungskapazität vorhandener Leitungsverbindungen

Grundsätzliche Optionen

- Verwendung von Hochtemperaturleitern
- Freileitungs-Monitoring
- Vergrößern des Leiterquerschnitts
- Erhöhen des Bodenabstands
- Erhöhung der Übertragungsspannung
- Verringerung des Wellenwiderstandes (HSIL)

Fokus

Übertragungskapazität von Freileitungen



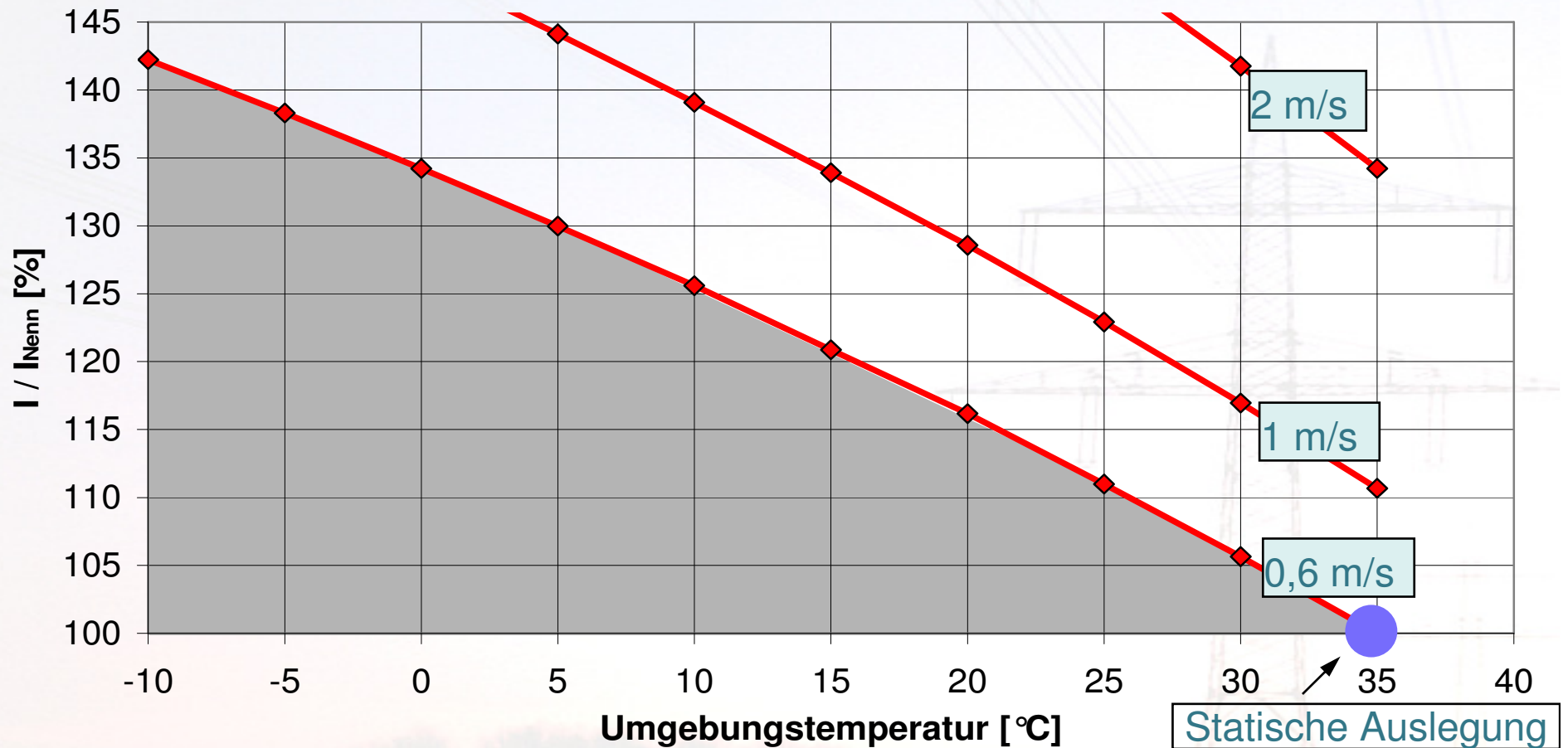
Mindestbodenabstand als bestimmende Größe

- **DIN EN 50341 „Freileitungen über AC 45 kV“**
 - Vorgaben zu Abständen
 - **Einfluss-Parameter:**
 - Stromstärke
 - Wetter (Temperatur, Wind, Sonne)
 - **übliche konservative Klimabedingungen:**
 - 35°C Umgebungstemperatur
 - 0,6 m/s Windgeschwindigkeit
 - 900 W/m² Sonnenstrahlung
- **statische Strombelastbarkeit** als worst-case-Ansatz, keine Nutzung klimaabhängiger Potenziale

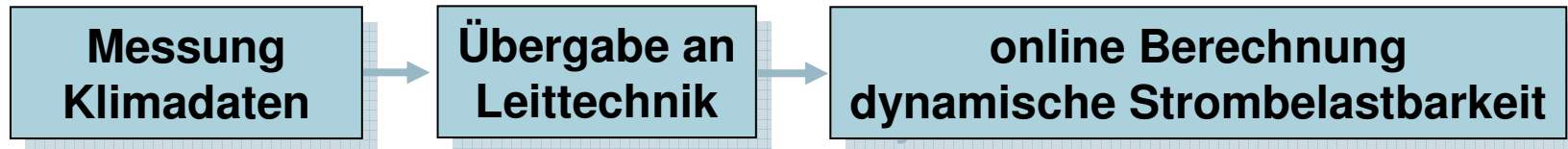
Abhängigkeit der Strombelastbarkeit von Klimagrößen

Klima-Strom bezogen auf Nennstrom

Randbedingungen: Strahlung 1000W/m²; Wind senkrecht zum Seil; 80°-Trassierung



Komplexe Umsetzung im Netzbetrieb



- gesamter Stromkreis ist für max. Strombelastbarkeit vorzubereiten
- im Leitungs-, Umspannwerks- und Schutzbereich sind ggf. Anpassungsmaßnahmen durchzuführen
- Zustand elektrischer Verbindungen ist zu prüfen
- Aufstellorte für Wetterstationen müssen ermittelt werden
- Abschätzungen zu Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Sonnenstrahlung erforderlich
- Leitsystem muss Strombelastbarkeit aus Wetterdaten berechnen können
- ggf. Blindleistungsbereitstellung erforderlich
- ggf. Absprache mit angrenzenden Netzbetreibern erforderlich

Ansatz zur Verwendung von Freileitungs-Monitoring in der Netzplanung (1/2)

- **Frage:**
Welche Strombelastbarkeiten stehen erwarteten Strombelastungen in verschiedenen Planungsszenarien gegenüber?
- **Lösungsweg:**
Strombelastbarkeiten müssen aus den im jeweiligen Planungsszenario zur Verfügung stehenden Wetterrandbedingungen statistisch abgesichert ermittelt werden

Ansatz zur Verwendung von Freileitungs-Monitoring in der Netzplanung (2/2)

Beispiel Windszenario:

- Ermittelt wird Häufigkeitsverteilung der Strombelastbarkeit, wenn gleichzeitig die Windeinspeisung **größer als 80% bezogen auf die installierte Leistung ist**
- minimale Strombelastbarkeit bei 80% Windeinspeisung steht statistisch abgesichert in diesem Planungsszenario zur Verfügung
- Strombelastbarkeiten sind gültig für zugehörige Klimazone, die z.B. durch Meteorologen vorgegeben werden können

F&E Bedarf Freileitungs-Monitoring

- **Einsatz im Netzbetrieb**

- Untersuchung der Strombelastbarkeit bei kleinen Windgeschwindigkeiten
- Modifikation bestehender Modellansätze und Verifikation in Feldtests

- **Einsatz in der Day-Ahead Netzbetriebsplanung**

- Untersuchung der erreichbaren Strombelastbarkeit bei Verwendung von Prognosewetterdaten
- Entwicklung eines Konzeptes zur orographischen Zuordnung von Wetterstationen zu Leitungsverläufen und Verifikation in Feldtests

- **Einsatz in der langfristigen Netzplanung**

- Entwicklung und Verifizierung eines Ansatzes zur Bestimmung von Strombelastbarkeiten für Netzplanungsberechnungen (ggf. Einfluss auf notwendigen Netzausbau)
- Entwicklung und Umsetzung eines Ansatzes zur Berücksichtigung der lokalen Orographie bei der Bestimmung von Strombelastbarkeiten (deutschlandweit erforderlich)

Hochtemperaturleiter

- **konventionelle Hochtemperaturleiter (TAI-Leiter)**
 - Zugabe von Zirkon (AlZr) erhöht thermische Belastbarkeit auf 150°C
 - Stand der Technik
 - Strombelastbarkeit +50% bis +60 % gegenüber Al/St
 - Masterhöhungen i. A. erforderlich
 - ggf. Genehmigungsverfahren erforderlich
 - werden je nach Bedarf eingesetzt
- **Höchsttemperaturleiter > 200°C (z.B. ACCC, ACCR)**
 - Verwendung von hochtemperaturfesten Alu-Legierungen und Kernen aus Spezialwerkstoff
 - Strombelastbarkeit kann um bis zu 100 % gesteigert werden (gegenüber Al/St)
 - weltweit nur in Einzelfällen im Einsatz
 - Langzeitverhalten von Armaturen wird noch untersucht



Höchsttemperaturleiter



ACCC

**Aluminum Conductor
Composite Core**

Glasfaser über Kohlefaser,
ausgeglühtes Aluminium

ACCR

**Aluminum Conductor
Composite Reinforced**

Aluminum Oxide Keramik,
Aluminum Zirkonium
Legierung



Hochtemperaturleiter Typ ACCR

- **Technologie**

- Kernwerkstoff aus Aluminiumoxid-Keramik
- Leiter aus hochtemperaturbeständiger Aluminiumlegierung
- Alterungsverhalten, extreme Lastsituationen, etc. durch Hersteller untersucht

- **Vorteile**

- hohe Betriebstemperaturen erlauben hohe Strombelastbarkeiten (bis ca. Faktor 2)
- Masterhöhungen sind i.A. nicht erforderlich

- **Nachteile**

- kaum Betriebserfahrungen in Deutschland
- hohe Investkosten
- elektr. Verluste bei hoher Auslastung

Hochtemperaturleiter Typ ACCC

- **Technologie**

- Kern aus Kohlefaserwerkstoff mit Glasfasermantel
- Leiter aus hochtemperaturbeständiger Aluminiumlegierung
- Alterungsverhalten, extreme Lastsituationen, etc. durch Hersteller ausreichend untersucht

- **Vorteile**

- hohe Betriebstemperaturen erlauben hohe Strombelastbarkeiten (bis ca. Faktor 2)
- Masterhöhungen sind i.A. nicht erforderlich
- geringere Verluste als bei Al/St durch größeren Aluminium-Querschnitt bei gleicher Strombelastung wie bei Standard Al/St Leiter

- **Nachteile**

- kaum Betriebserfahrungen
- hohe Investkosten
- elektr. Verluste bei hoher Auslastung

F&E Bedarf Hochtemperaturleiter

- **Durchgangverhalten**

- Durchgangsberechnungen weichen von Standardberechnungen ab
- Durchgangsmodelle müssen entwickelt und anhand von Feldmessungen verifiziert werden
- Modelle zur Berechnung der Strombelastbarkeit und der Leitertemperatur sind zu entwickeln und zu prüfen

- **Armaturen**

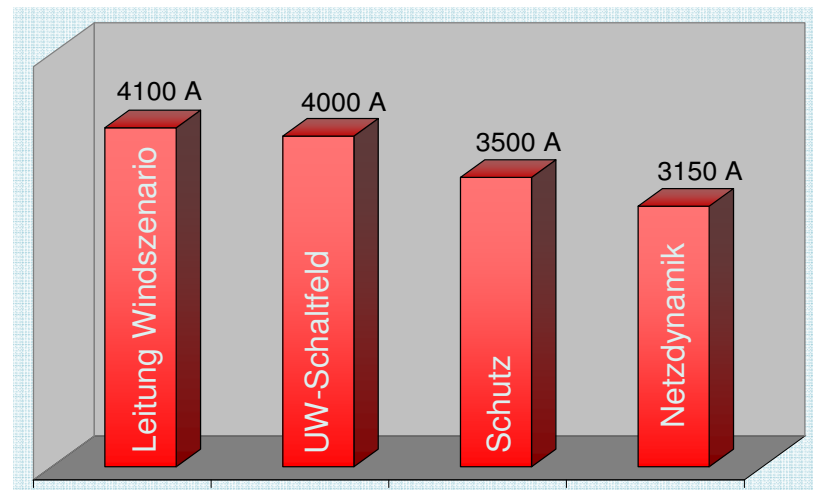
- Alterungsverhalten nicht hinreichend geklärt – Langzeituntersuchungen und Verifikation durch Feldtests erforderlich

- **Bau und Betrieb**

- neue Technologie: Schulungen erforderlich
- Montage, Reparatur, Instandhaltung – bisher wenig Erfahrung in Deutschland
- Ersatzteilverfügbarkeit über Jahrzehnte?

Grenzen der Strombelastbarkeit

- Freileitungs-Monitoring im Netzbetrieb und die Auswertung der Klimadaten zur Bestimmung der netzplanerisch nutzbaren Kapazitäten geben die Strombelastbarkeitsgrenzen aus Sicht des Betriebsmittels Freileitung vor
- Die Transportkapazität von Stromkreisen wird außerdem begrenzt durch die minimal verfügbaren Kurzschlussströme im 110-kV Netz bzw. durch die sich aus Stabilitätsuntersuchungen ergebenden max. zulässigen Betriebsströme im 220/380-kV Netz
- **Beispiel 380-kV Stromkreis:**
Transportkapazität trotz hoher Strombelastbarkeit im Leitungsbereich durch Netzdynamik begrenzt auf 3150 A





Netzoptimierung durch witterungsabhängigen Freileitungsbetrieb und Hochtemperaturleiter

Dr.-Ing. Ralf Puffer
Institut für Hochspannungstechnik, RWTH Aachen