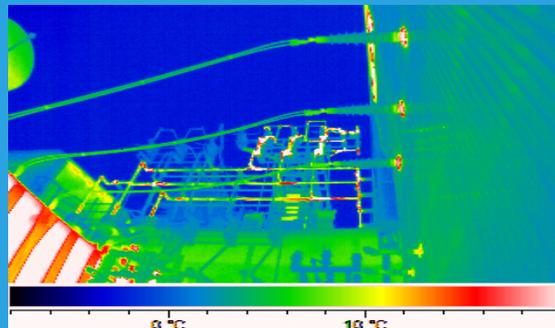
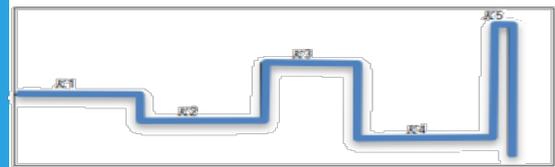
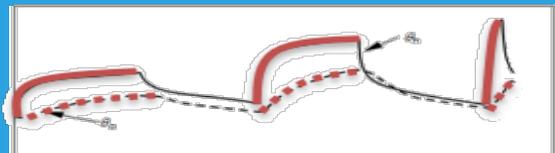


TASK FORCE HÖHERAUSLASTUNG IM NETZ DER ENERGIEWENDE



1. Warum? Schneller Zubau von Erzeugerleistung bei schleppendem Netzausbau
2. Vorhandenes Netz höher auslasten, aber dynamisch und mit Blick auf schwächstes Glied der Übertragungskette
3. Monitoring, Diagnose, Asset Management anpassen
4. Es ist machbar!

M. Gerber, M. Köhler, **Maik Koch**, S. Kornhuber, A. Küchler, M. Kurrat, M. Schäfer, S. Uhrig, A. Babizki



2023 1'777 km gebaut, 12'000 km in Planung oder Bau

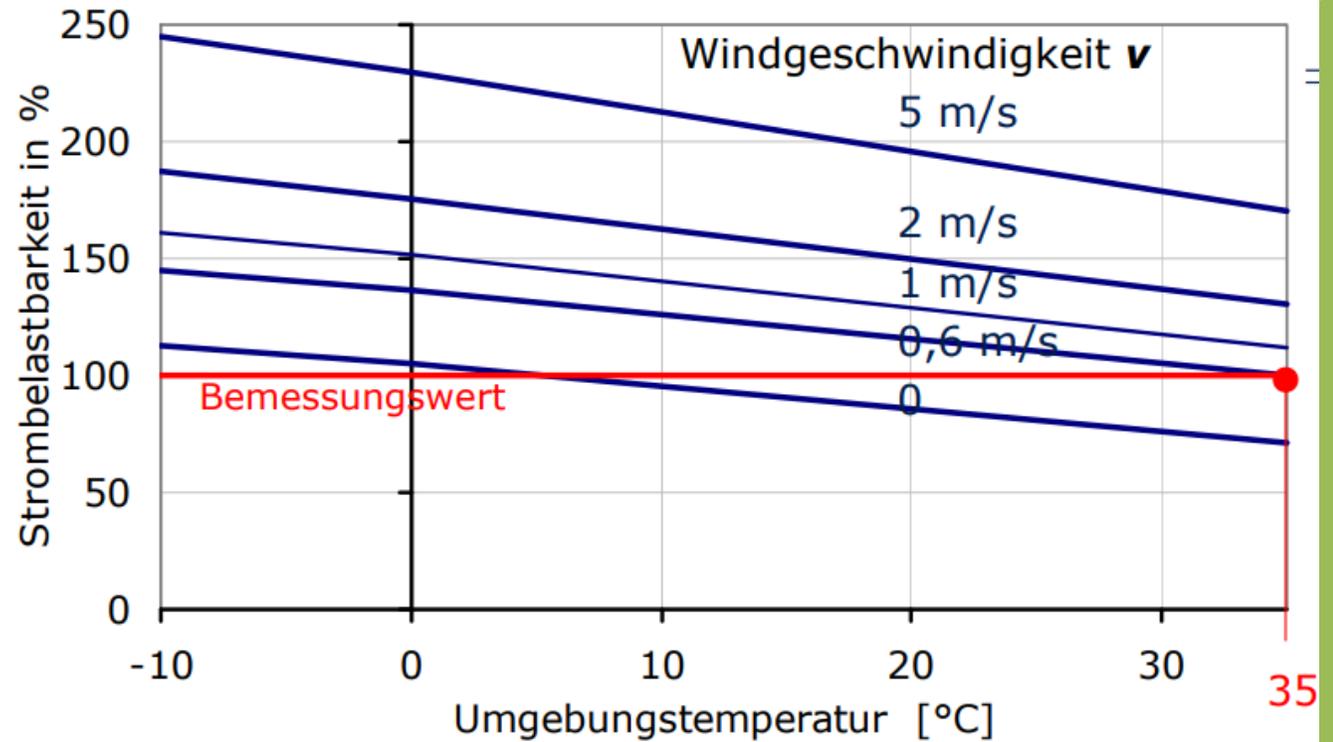
2020 Tatsächlich EE: 47 %

2010 DENA Netzstudie II: Es wurden 90 km realisiert. Wir brauchen 3'700 km neue Leitungen für 39 % EE in 2020

2005 DENA Netzstudie I: Wir brauchen 850 km Netzausbaumaßnahmen im Übertragungsnetz

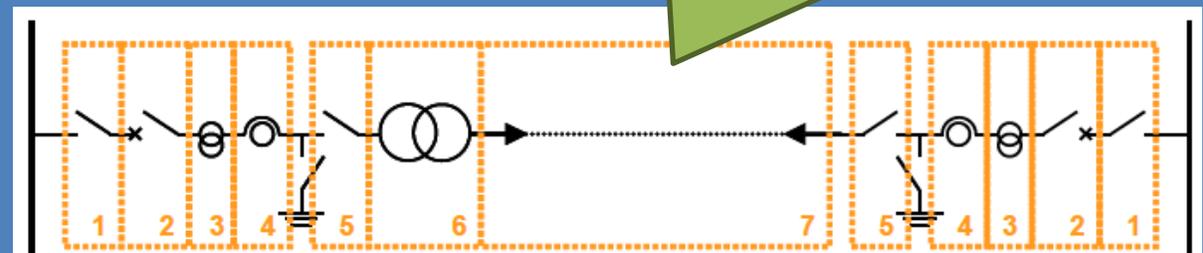


Freileitungen bis + 140 %

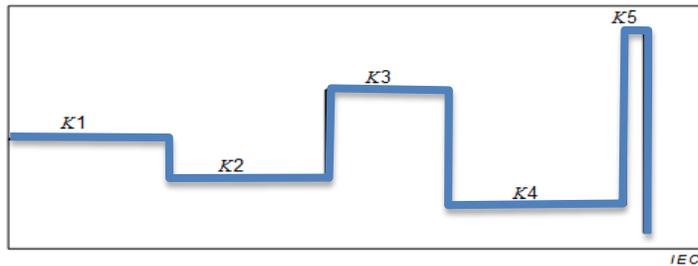
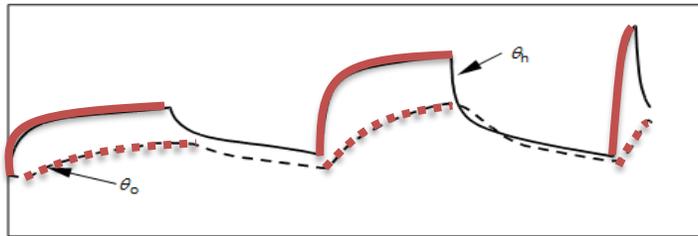


[S. Großmann et al. Erhöhung der Strombelastbarkeit von Freileitungen und Schaltanlagen]

Höhere Strombelastbarkeit?
Das schwächste Glied der Übertragungskette zählt!

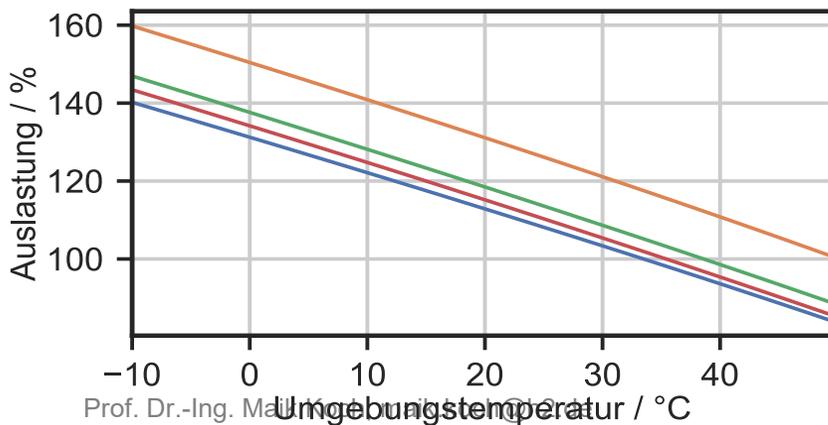


Transformatoren: Vorbildlicher Transformer Loading Guide



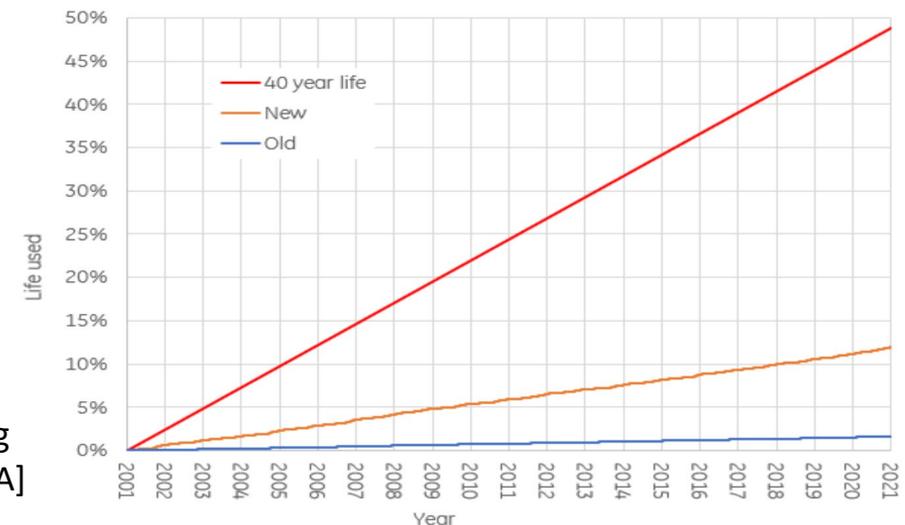
735 min [IEC 60076-7]

- dauerhafte Überlast
- Überlast für 1 std.
- Überlast für 2 std.
- Überlast für 3 std.

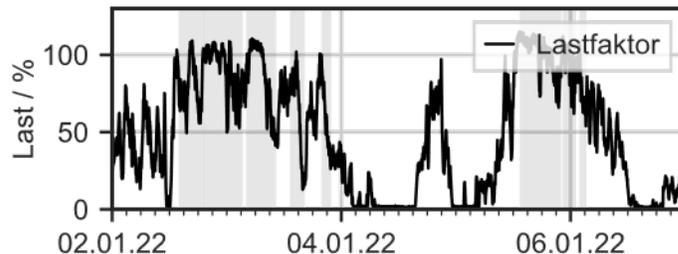
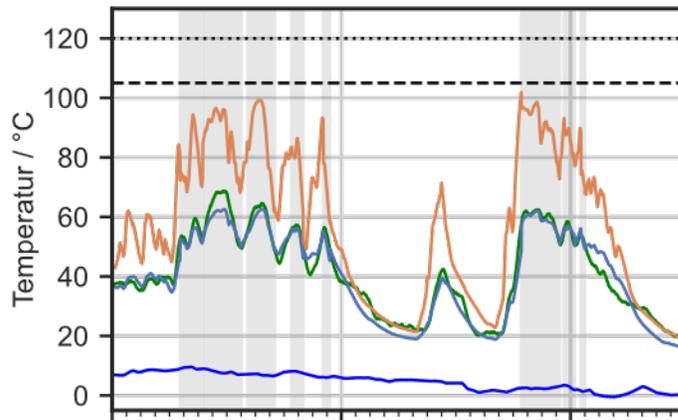


- Umgebungstemperatur bestimmt dauerhafte Belastbarkeit
 - Wind und Sonne nur geringfügig
- Dynamische Überlastbarkeit nach IEC 60076-7:
 - 150 % bei normalzyklischer Last und $S_r < 100$ MVA
 - 130 % bei normalzyklischer Last und $S_r > 100$ MVA
- Dabei Heißpunkttemperatur $< 120^\circ\text{C}$, Obere Öltemperatur $< 105^\circ\text{C}$
- Langzeit- und Kurzzeit Emergency Loading mit noch höheren Temperaturen und Lastfaktoren

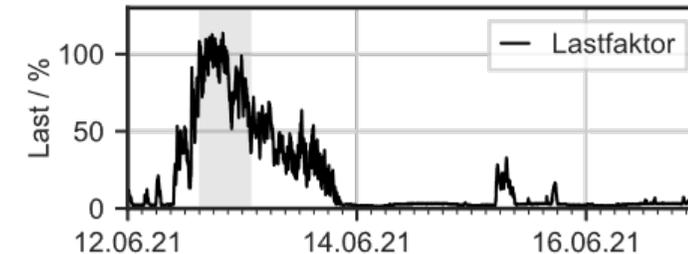
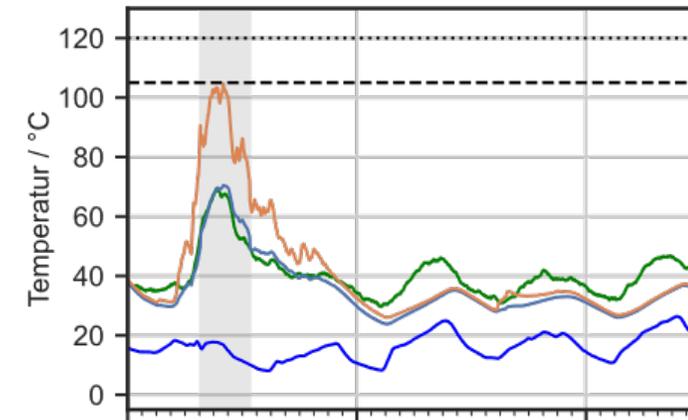
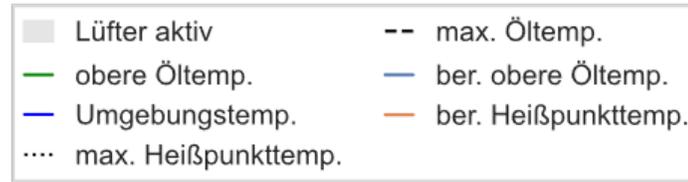
Lebensdauerverbrauch bei unterschiedlicher Belastung [T. Stirl Trafos für Offshore-WKA]



Beispiel 63 / 80 MVA Trafo an Onshore-Windpark



Winter

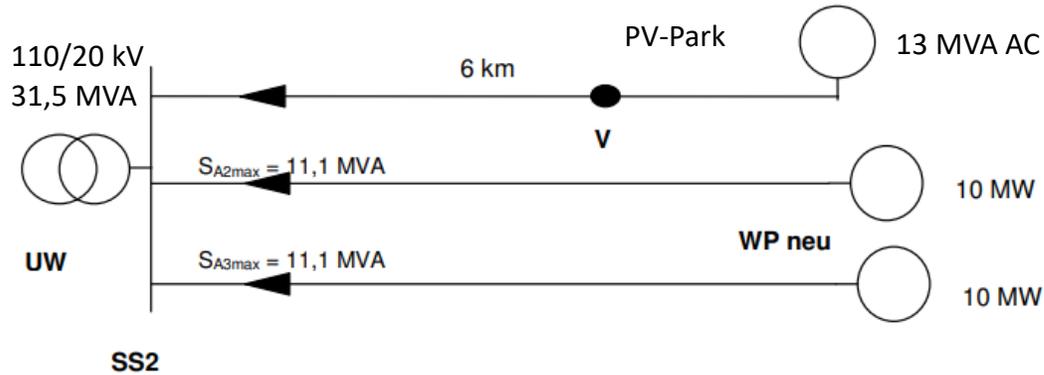


Sommer

- Kühlung ONAN/ONAF
- 95 MW Windpark, volle Einspeisung
- Überlastet mit 119 % im Sommer und Winter
- 105°C o.Ölt. nicht annähernd erreicht
- Thermally upgraded paper – kein Lebensdauerverlust bis 110°C
 - Normales Papier: 98°C

Kein Lebensdauerverlust bei dieser Betriebsweise!

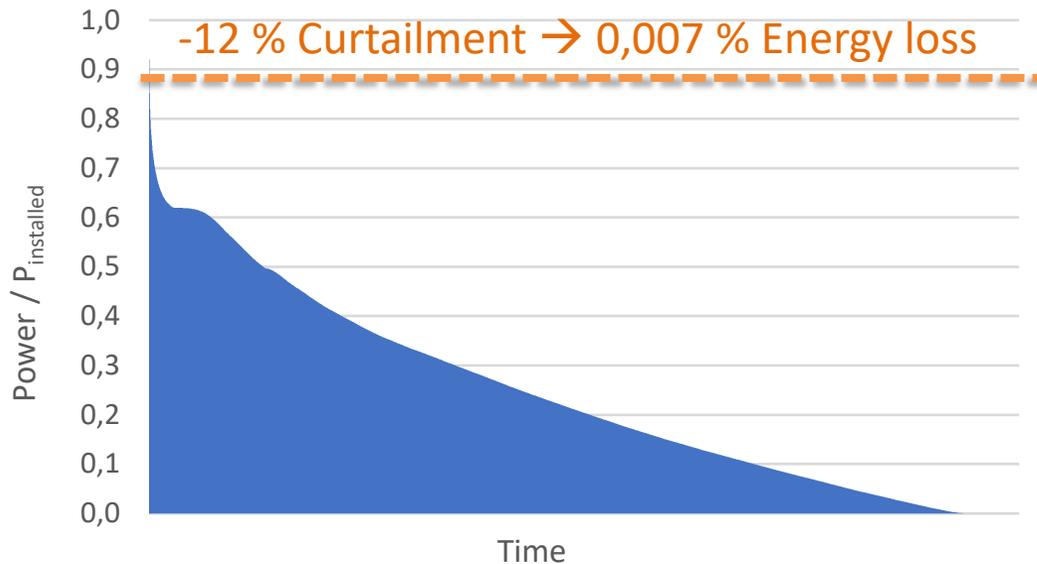
Praxis eines Verteilnetzbetreibers: Erneuerbare ans Netz bringen



- BDEW TR „EZA am MS-Netz“

“... muss hier mit Dauerlast (Belastungsgrad = 1, anstelle der oft üblichen EVU-Last) gerechnet werden.“

35,2 MVA > 31,5 MVA, 112 % → nicht möglich



Lösungen:

1. Neuer Trafo, 40 MVA, ca. 800 T€, 3 Jahre

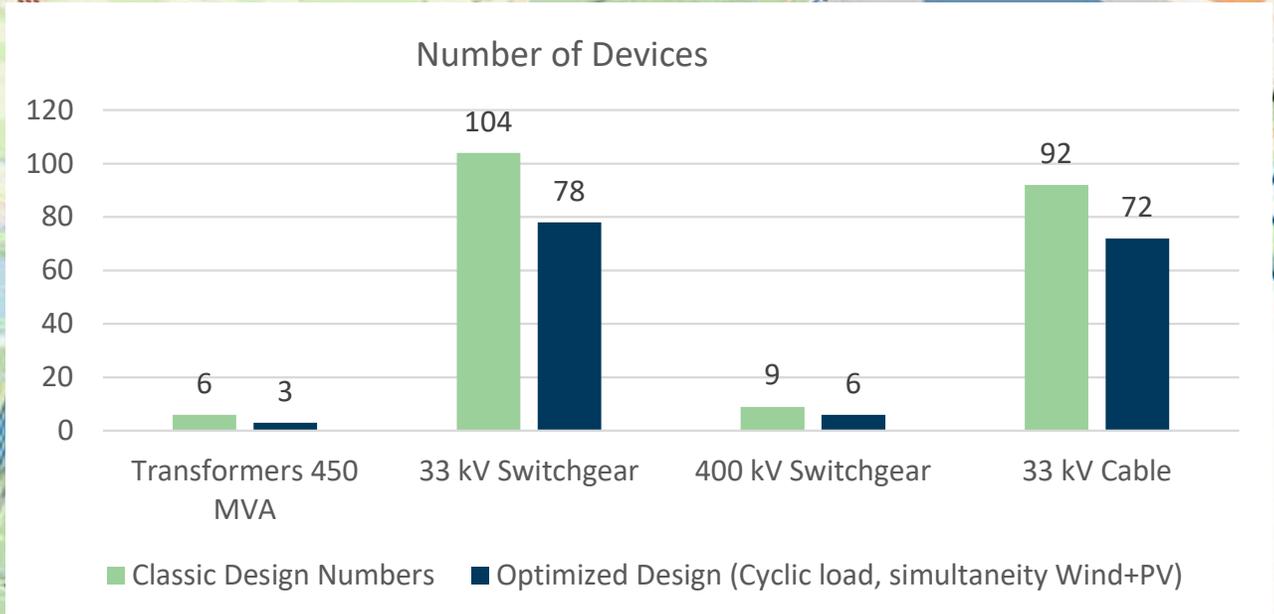
BESSER:

2. Ausnutzung zyklischer Belastbarkeit + 150 % nach Loading Guide → 53 MVA
3. Gleichzeitigkeit Wind und PV nutzen, Leistungsspitzen abschneiden

Für eine schnellere und kostengünstigere Energiewende!

LEAG Gigawatt Factory

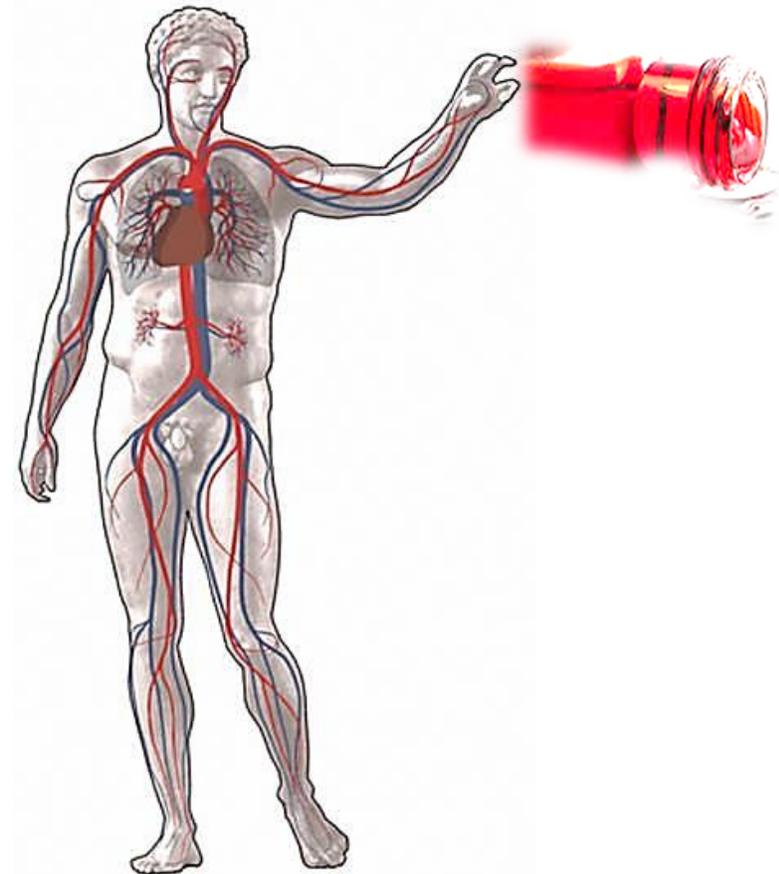
3 GW Braunkohle
15,2 Mt CO₂@2021 Platz 6 Europa



Verringerung der Errichtungskosten um 46 %!

Energielandschaft Jänschwalde
3,4 GW_p PV, 0,8 GW Wind

Monitoring und Diagnostik bei normalzyklischer Überlastung

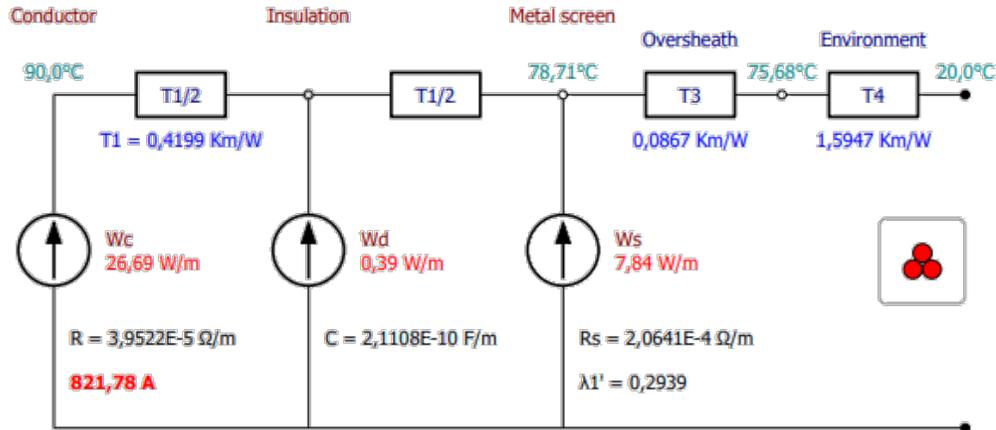


- Ölanalyse
 - Dielektrisch-chemische Alterungsindikatoren: Säurezahl, TanDelta
 - Gas-in-Öl: Methan, Ethan, Ethylen
 - Furane, Alkohole
- Management der Feuchte im Papier < 3 %
 - Insbesondere wegen Gefahr des Bubbling
- Durchführungen
 - Schlechte Wärmeabfuhr und enge dielektrische Auslegung
 - Messung von Kapazität und TanDelta, PDC, FDS
- Laststufenschalter
 - Visuelle Inspektion, Widerstand und DRM, vibroakustische Messung

Was online messbar
und sinnvoll ist, direkt
im Betrieb messen

- Insbesondere Öltemperatur und Wicklungstemperatur

Strombelastbarkeit von Kabeln



[Cigre TB 880] $\text{K}\cdot\text{m}/\text{W}$ = Therm. Widerstand

- Wärmeleitfähigkeit des Bodens

- ca. 60 % des therm. Widerstands!

- \rightarrow Genaue Kenntnis hebt Reserven

Fallbeispiel Berlin: Bodenart Sand / Talsand mSfs:

0,5 – 1,15 $\text{K}\cdot\text{m}/\text{W}$

- \rightarrow Oder Bettung in Spezialbetonen, bis $0,25 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$

- Belastungsgrad

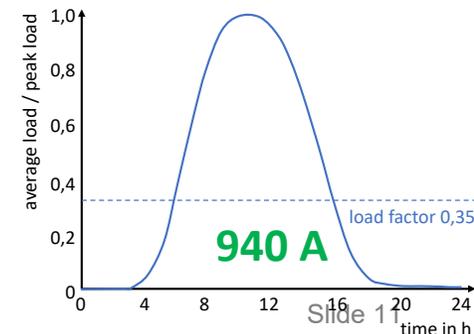
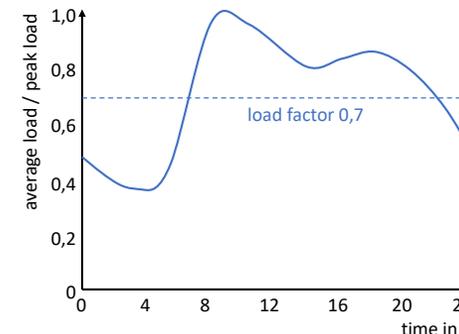
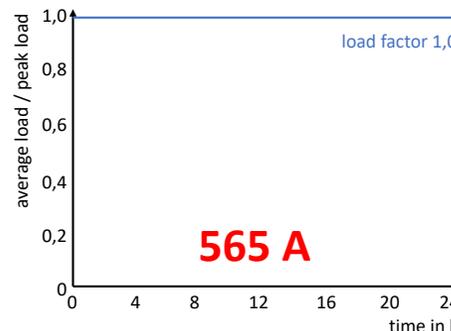
- Dauernd / Zyklisch / Längerer Störbetrieb, zB. 5 Tage / Kurzzeitiger Störbetrieb

- EE Erzeugerprofile nicht abgebildet: Eigene Berechnung mit Zeitreihen

- Beispiel NA2XS2Y 18/30 kV 1000 mm², 10fach Häuf.



[Leprich et al. „Ausbau elektrischer Netze mit Kabel...“]



Hot Spot Table Stromnetz Berlin

Datum der Betrachtung		07.08.2023		Leitungs-Nr.		x			
Übertragungskette				Schalt-anlage UW1	von		UW1		
					Stromschiene		2500		
Strombelastbarkeit in A: UW1				Wandler	SS-Trenner		630		
					Leistungsschalter		1250		
Strombelastbarkeit in A: UW2				Schalt-anlage UW2	Leitungstrenner		1250		
					Bemessungsstrom		400		
Belastbarkeit im Sommer und Winter				Wandler	thermisch zulässiger		480		
					nach		UW2		
Belastbarkeit im Sommer und Winter				Schalt-anlage UW2	Stromschiene		1600		
					SS-Trenner		1600		
Belastbarkeit im Sommer und Winter				Wandler	Leistungsschalter		1250		
					Leitungstrenner		630		
Belastbarkeit im Sommer und Winter				Wandler	Bemessungsstrom		600		
					thermisch zulässiger		720		
Belastbarkeit im Sommer und Winter				Belastbarkeit in A		dauernd	langer Störbetrieb	kurzer Störbetrieb	
						zulässiger Strom in A Winter	270	324	486
Belastbarkeit im Sommer und Winter				Belastbarkeit in A		zulässiger Strom in A Sommer	250	300	460
						Engpass im Winter	Kabel	Kabel	Wandler UW1
Belastbarkeit im Sommer und Winter				Belastbarkeit in A		Engpass im Sommer	Kabel	Kabel	Kabel

Nr.	Hot spot Name	Link	Quelle	Datum der Betrachtung	in Betrieb		betroffene Leitungen	Reihung	Kabeltyp	Strombelastbarkeit in A		
					von	bis				dauernd	langer Störbetrieb	kurzer Störbetrieb
1	Einführung UW 1, zwei 110-kV- Systeme, 10 MS- Systeme		Einzelfall- betrachtung	01.10.1995	01.05.1996	30.11.2023	x, y	1	N2XS(FL)2Y 3x1x300/35	400	480	720
2	Hauptstraße, Querung Fernwärme		Einzelfall- betrachtung	15.04.2001	01.01.1970	31.12.2100	x	2	NÖKUDEY 3x1x185	270	324	486
3	Einführung UW 1 nach Umbau		Einzelfall- betrachtung	02.05.2023	01.12.2023	31.12.2100	x, y	1	N2XS(FL)2Y 3x1x630/35	525	630	945

Engpass Ölkabel

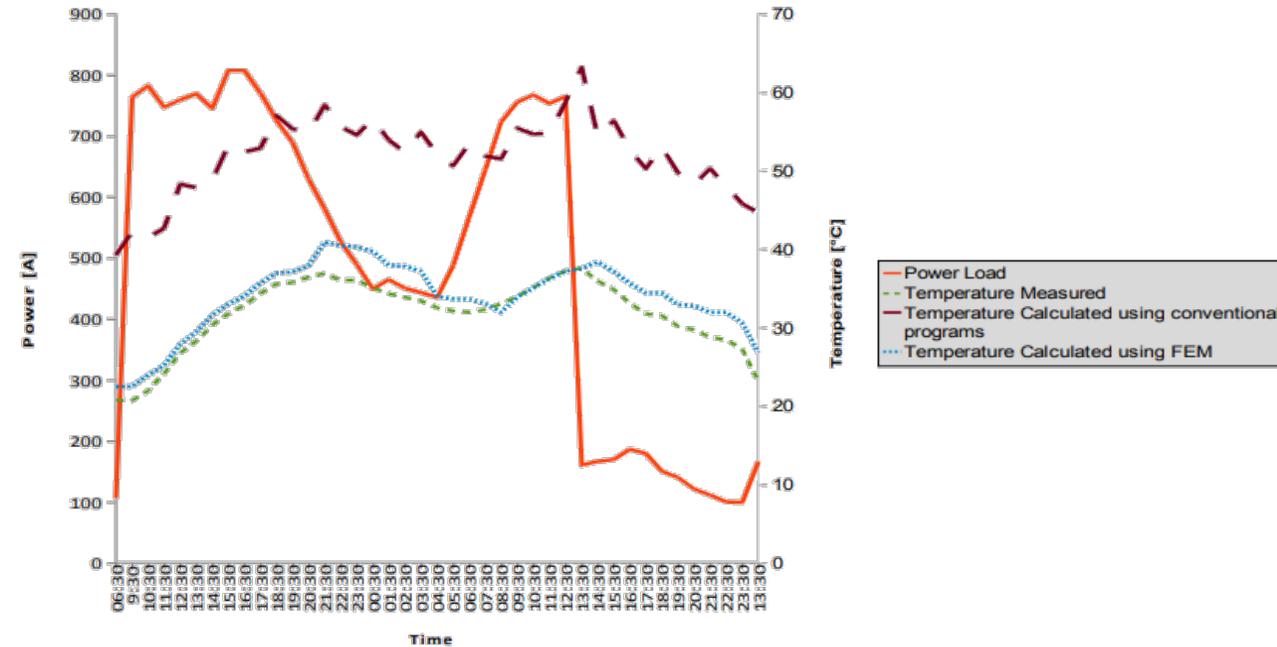
Betrieb mit höherer Belastung bei Kabeln

Bestehende Kabelnetze

- Wärmeleitfähigkeit des Erdbodens
 - Fallbeispiel: Überschätzung der Temperatur durch konventionelle Berechnungen von ~ 18 K bei einer Außentemperatur von 0°C
- Dynamische Belastung
- Nachrüstung von Temperatursensoren

Neue Kabelnetze

- Distributed Temperatur Sensing (DTS)
 - Temperatur ± 1 K, Ortsauflösung ca. 1 m Gesamtlänge bis zu 30 km,
 - Fallbeispiel: 200 A entsprechend 40 % Reserve
- Wärmeleitfähiges Bettungsmaterial
- Polypropylen-Isolierung 110°C
- Milliken-Conductor (Teilisolierung) bis +25 %

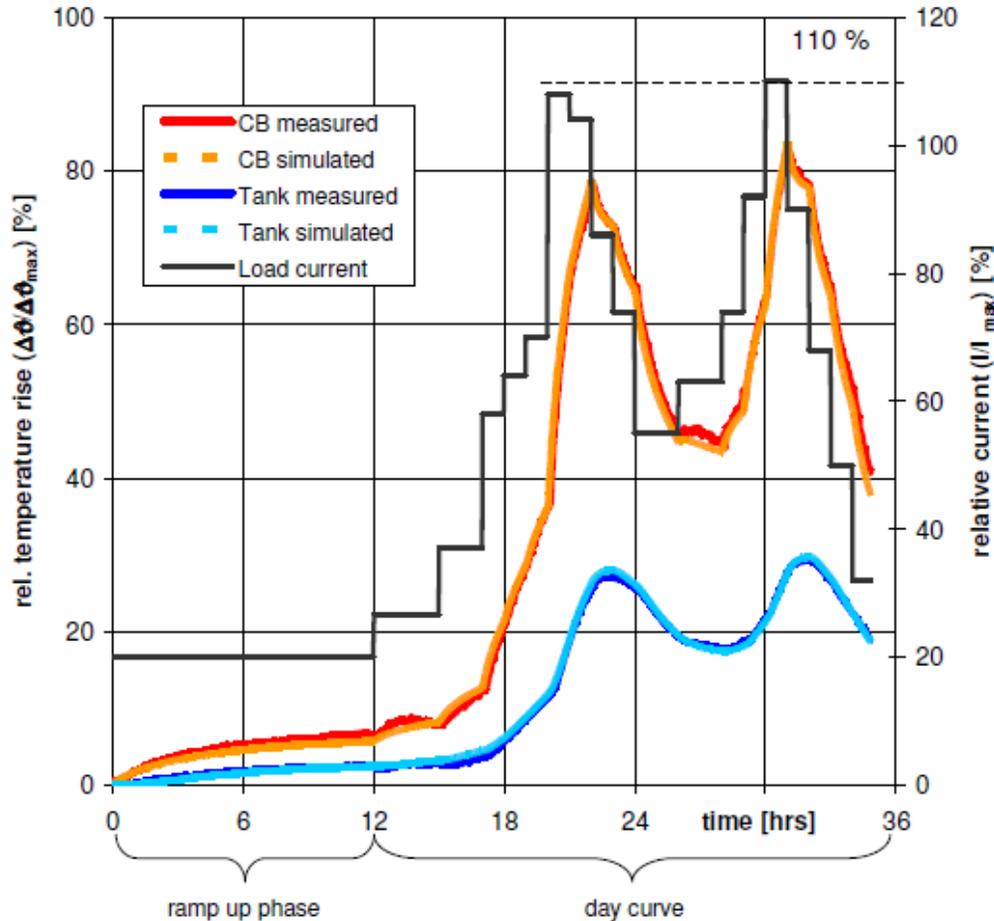


[D. Wald "Correlation between calculated transmission capacity and actual one"]

Monitoring und Diagnose

- Schwierig: Sehr beständiges Dielektrikum VPE trifft auf schlechte Zugänglichkeit
- Selten: Verlustfaktor, da nur integraler Wert
- Dielektrische Festigkeit: Teilentladung, auch on-line

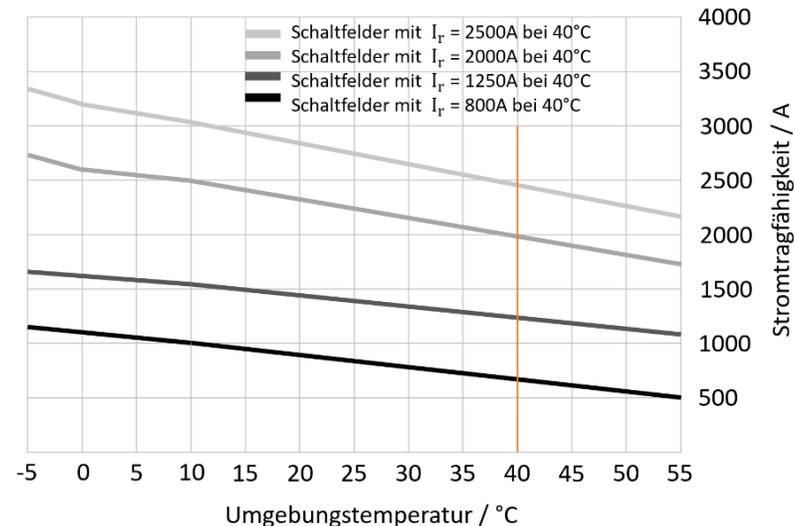
Herausforderung Gasisolierte Schaltanlagen



- Relative Erwärmung des Leistungsschalters einer MS-GIS über 24 h mit 110 % Spitzenauslastung, $< 105^{\circ}\text{C}$ [U. Kaltenborn; X.Dong: "Dynamic Thermal Simulation of Gas Insulated Switchgear"]
- Komplexität, vielfältige Bauteile und Funktionen

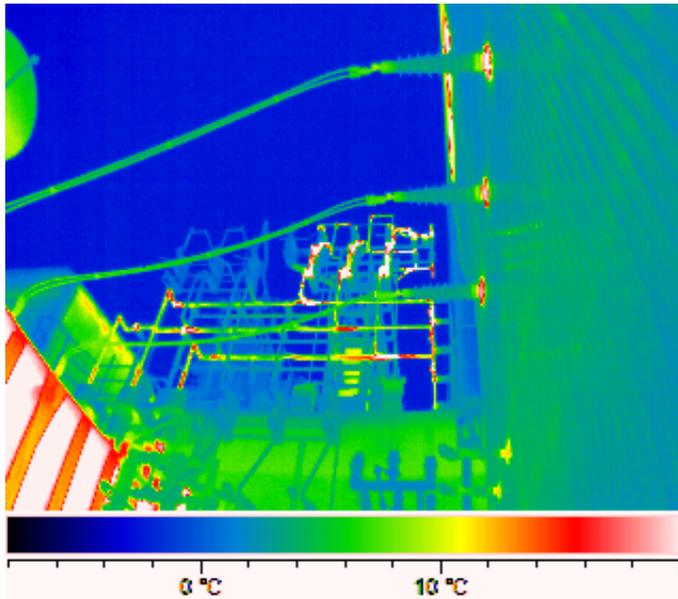
Leider keine Norm, welche die Ausnutzung von Zeitkonstanten ermöglicht!

- Heute möglich: Geringere Umgebungstemperatur



[Technischer Katalog „ABB ZX 2 Gasisolierte MS-Schaltanlagen"]

Monitoring und Diagnose bei Schaltanlagen



- **Infrarot-Thermographie für Hot Spots**

- Schaltkontakte an Leistungsschaltern und Trennern, Verbindungen von Sammelschienen und Kabelanschlüsse
- Fehlerhafte Verbindungen, überlastete Komponenten, schlechte Kontakte oder andere Defekte
- Berührungslos, auch mit Drohne
- Relativer Vergleich der drei Phasen
- Online-Messung möglich

- **Mikroohmmessung**

- Fragliche Genauigkeit: Qualität der Messgeräte, Vorbereitung der Hilfsverbindungen, Umgebungstemperatur
- Regelmäßige Messung für Trends



Asset Management bei hoher Auslastung

Kurzfristige Perspektive:

- Betrieb ermöglichen (OPEX),
- IR Thermographie,
- evt. kurzfristige Instandhaltung
- → Ausfallrisikoindex

Langfristige Perspektive:

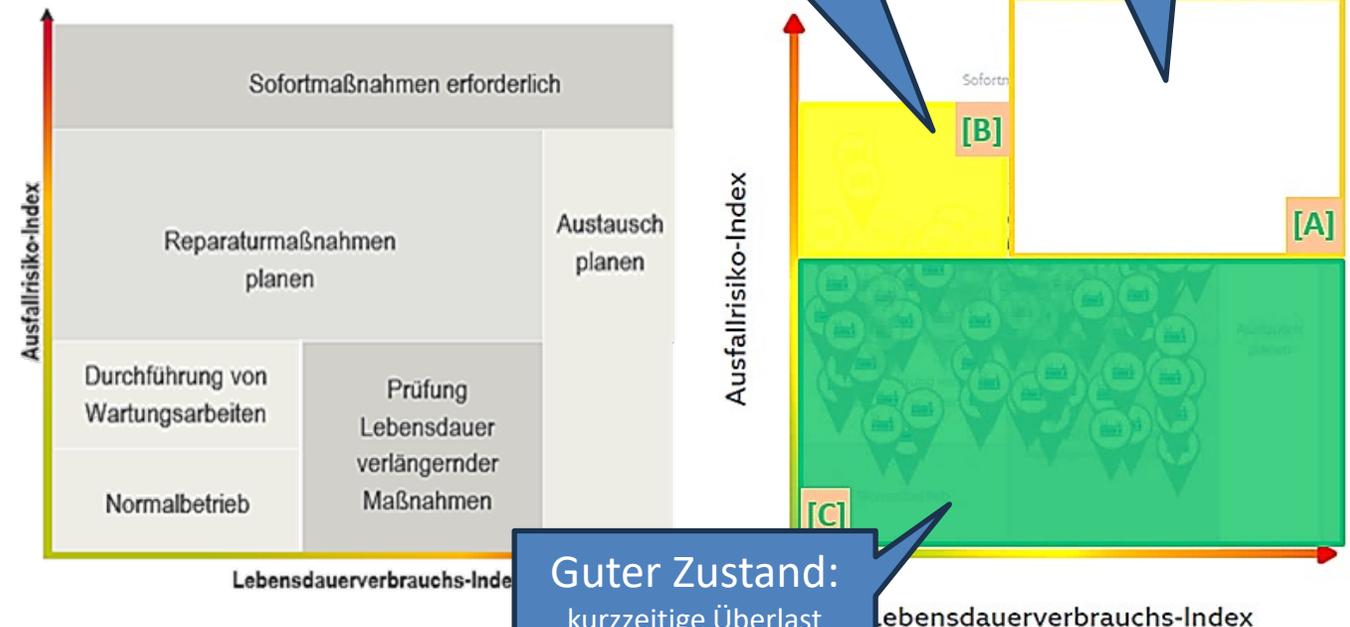
- Lebensdauerverbrauch (CAPEX),
- Ölanalyse,
- langfristiger Erneuerungsbedarf
- → Lebensdauerverbrauchsindex

- 88 Trafos der Rheinischen Netzgesellschaft
- Durchschnittlich 44,5 a alt
- 20-40 MVA
- 110 / 20 kV

Mittelfristige Maßnahmen:

geringe U_d ,
Undichtigkeiten

Dringend Mängel beheben: Hotspots in Durchführungen, therm. Fehler im Aktivteil



Und die rechtlichen Fragen?

- Ziel des rechtlich sicheren Netzbetriebs: Nicht schuldhaft handeln
 - Auskunftspflichten durch Höherauslastung einhalten (z.B. em Beeinflussung)
 - Netz nach anerkannten Regeln der Technik betreiben

§ 49 Abs. 2 des EnWG fordert: *[Bei Errichtung und Betrieb von Energieanlagen] „sind ... die allgemein anerkannten Regeln der Technik zu beachten. Die Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik wird vermutet, wenn ... die technischen Regeln des Verbandes der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. [...] eingehalten worden sind.“*

- Wesen jeder Innovation besteht darin, die „anerkannten Regeln der Technik“ zu erweitern oder zu verlassen → Kann innovationshemmend wirken!
- Andererseits: Verpflichtung zur bedarfsgerechten Optimierung seiner Stromnetze
§ 11 Abs. 1 EnWG

Lösungen

Interne genaue
Dokumentation
(Änderungen,
Sicherheit)

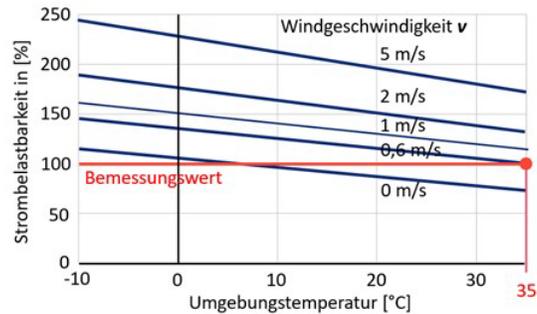
Anpassung der
Normen

Vorgaben der
Politik

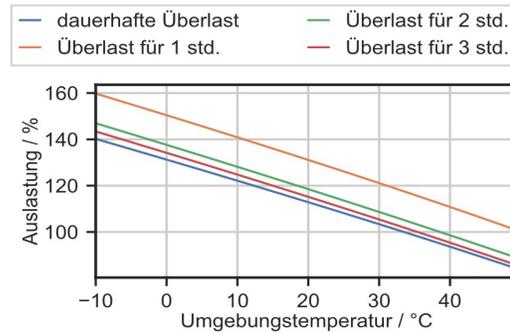
Versicherungsschutz
und
Haftungsbegrenzung

Können die Betriebsmittel höher ausgelastet werden?

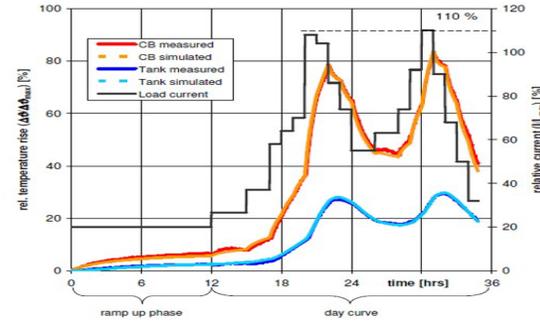
Freileitungen + 58 %



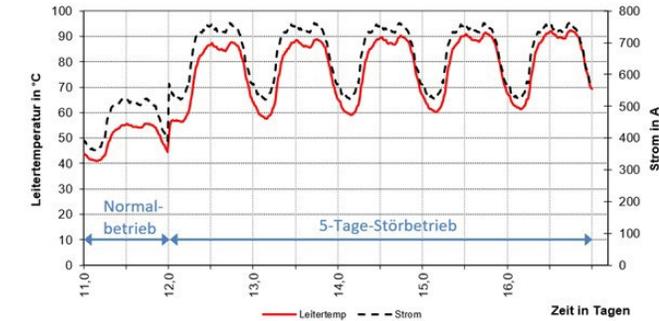
Trafos + 30 / 50 %



Schaltanlagen + 15 %



Kabel + 60 %



Dynamische, temperaturbasierte Belastbarkeit statt statischer Stromwerte

- Jedes Betriebsmittel hat statische und / oder dynamische Reserven
- Sehr unterschiedliche Reserven → Übertragungskette → „Hot Spot Table“
- Genaues Verständnis von Erwärmung, Alterung, Ausfallrisiken und Ausfallfolgen nötig
- Modelle prognostizieren Belastbarkeit und ergänzen fehlende Messwerte
- Monitoring sichert höhere Strombelastbarkeit ab (zeit- und orts aufgelöstes)
- Diagnose, Monitoring und Asset Management müssen an höhere Auslastung angepasst werden

Herausforderungen

- Verbesserte Modelle, Normen besonders für Schaltanlagen
- Erfahrungen für Kontakte und Verbinder
- Dynamische Anpassung in Netzleitsystemen
- Innovationshemmnis EnWG: § 49 „Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik“ führt zur Zurückhaltung bei neuen technischen Ansätzen

Technische Grundlagen lange bekannt

→ Mut zum Einsatz!