

Steffen Großmann, Stephan Schlegel
Professur Hochspannungs- und Hochstromtechnik

Ruhende stromführende Verbindungen für langfristig zuverlässige stationäre und mobile Betriebsmittel

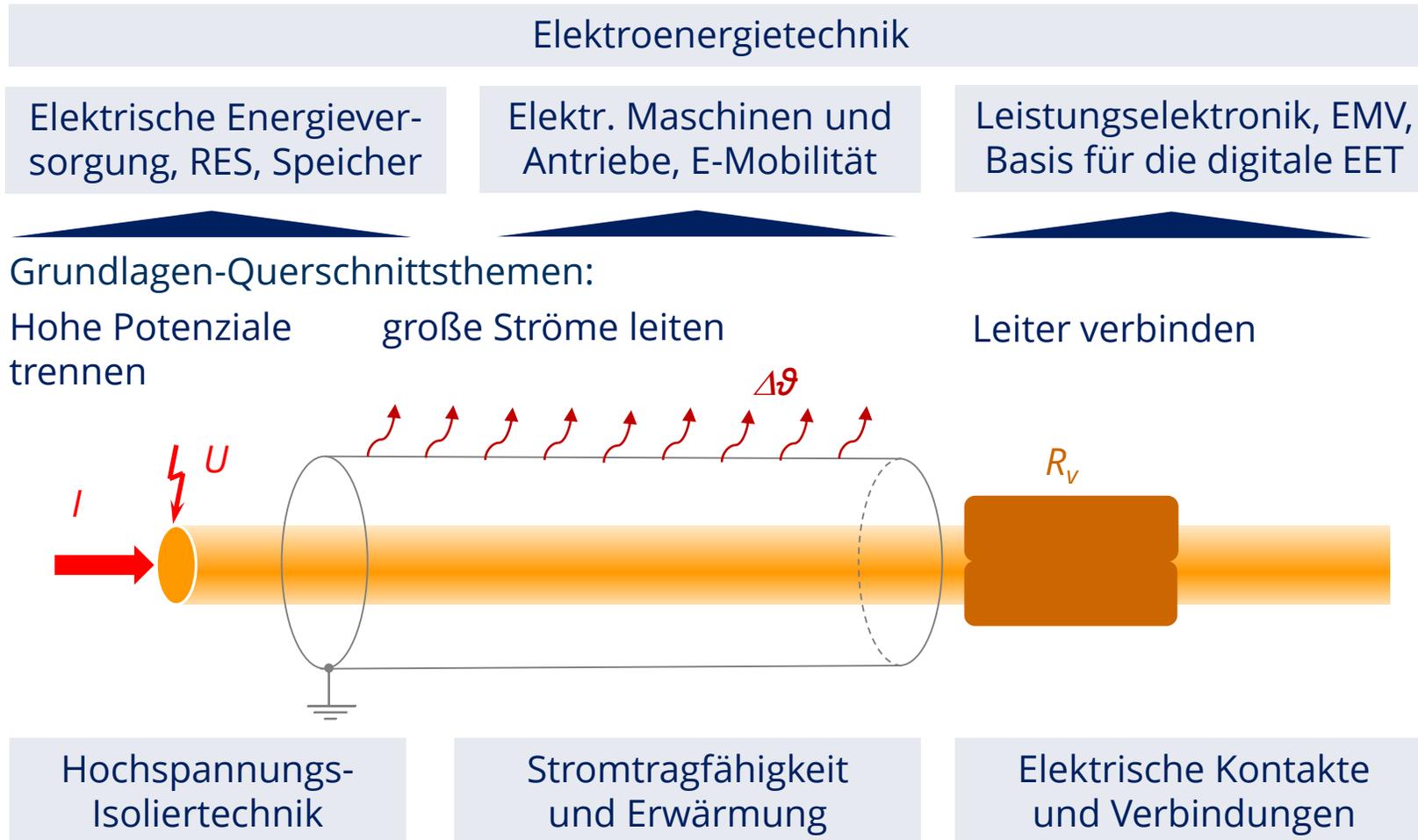
16. Symposium Energieinnovation, 12.-14.02.2020, TU Graz
Session D5, Komponenten, Freitag, 14.02.2020

Überblick

- Einführung und Motivation
- Stromführende Verbindungen in der Elektroenergietechnik
- Alterung und Langzeitverhalten
- Schlussfolgerungen

Hochspannungs- und Hochstromtechnik - Basis für Elektroenergietechnik

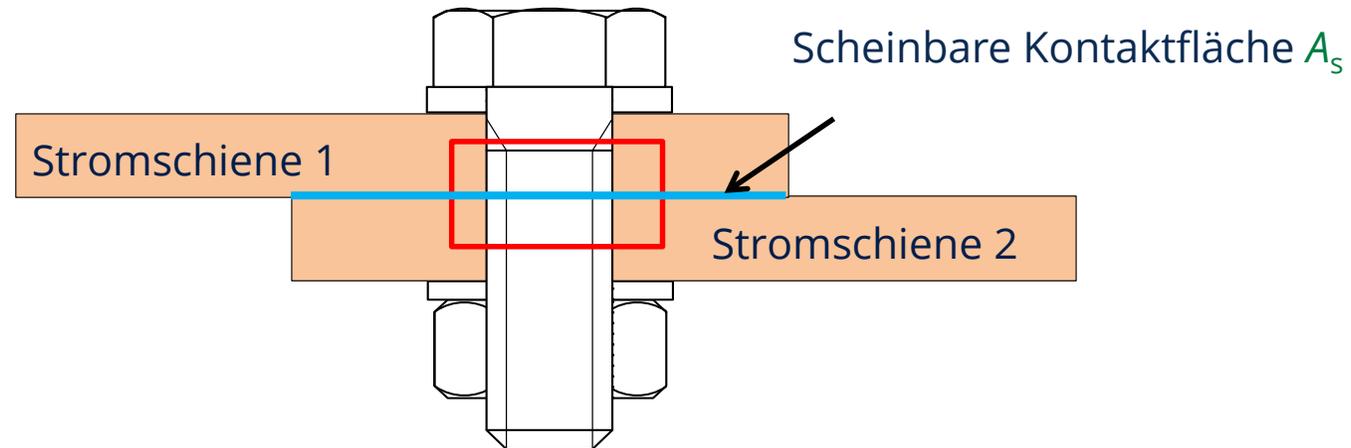
Lehre und Forschung Hochspannungs- und Hochstromtechnik TU Dresden



Grundlagen elektrischer Kontakte und Verbindungen

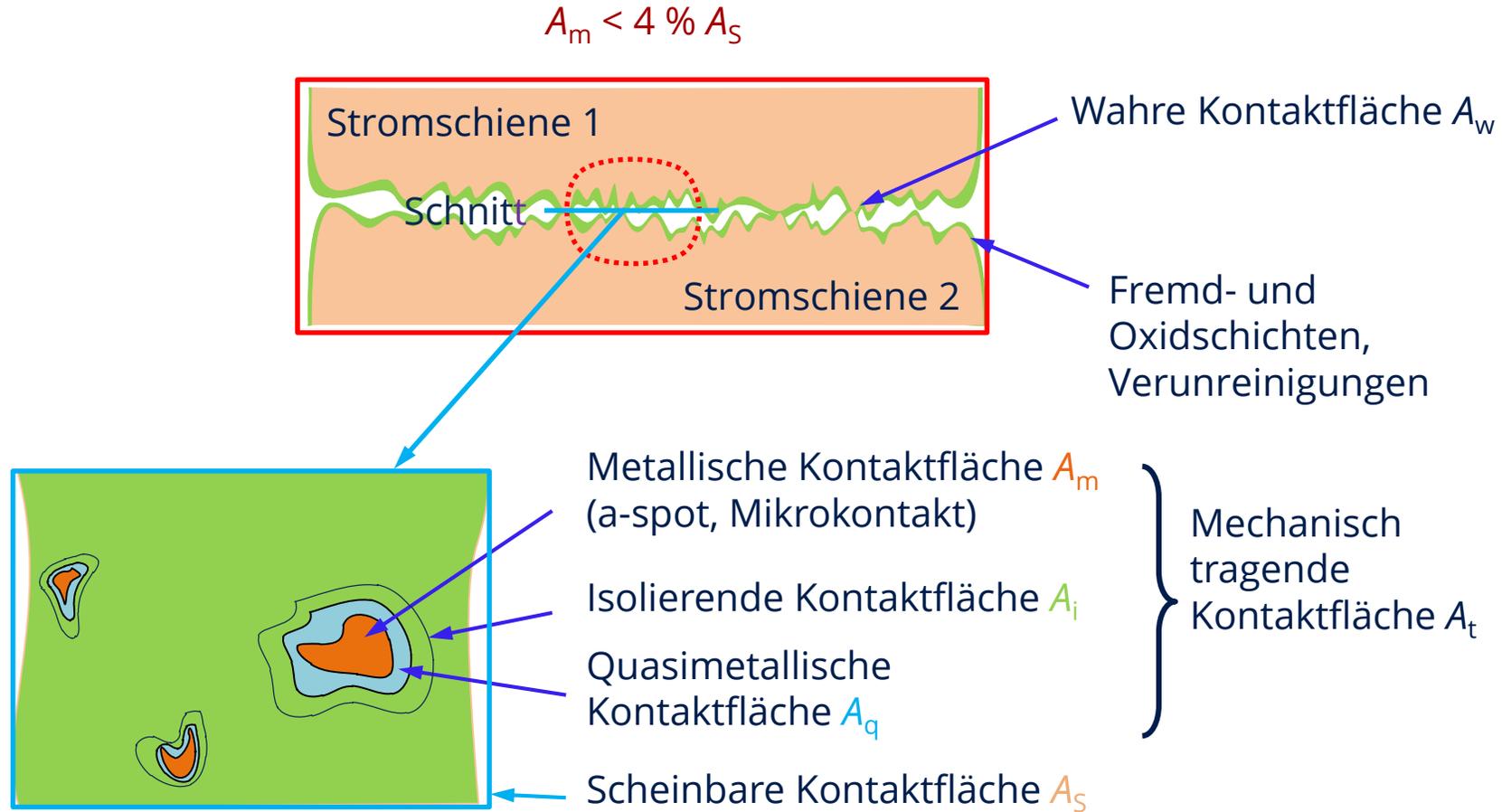
Kontaktfläche - Flächenkontakt

Beispiel: Schraubenverbindung mit Stromschienen



Grundlagen elektrischer Kontakte und Verbindungen

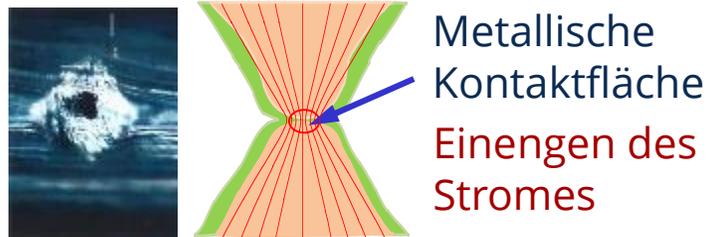
Kontaktflächen - Flächenkontakt



Grundlagen elektrischer Kontakte und Verbindungen

Kontaktflächen - Flächenkontakt

Mikrokontakt im Detail:



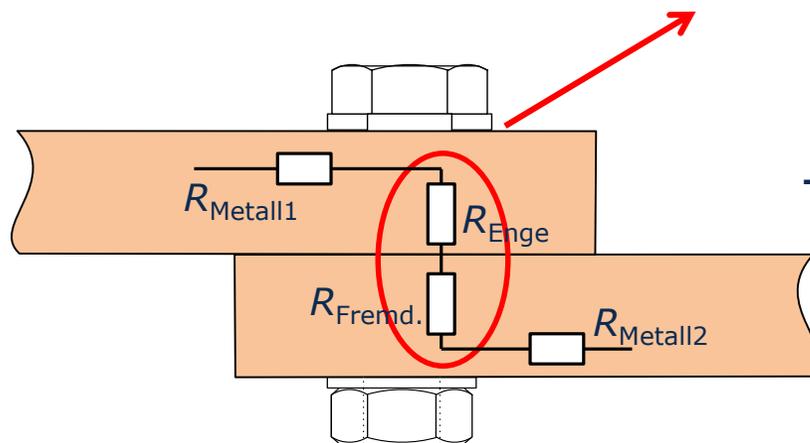
Einengung:

$$A \downarrow \rightarrow R \uparrow$$

$P_{\text{Verbindung}}$:

$$\sim I^2 \cdot R_V \rightarrow \mathcal{Q}_V \uparrow$$

Zusätzlicher Widerstand am Mikrokontakt

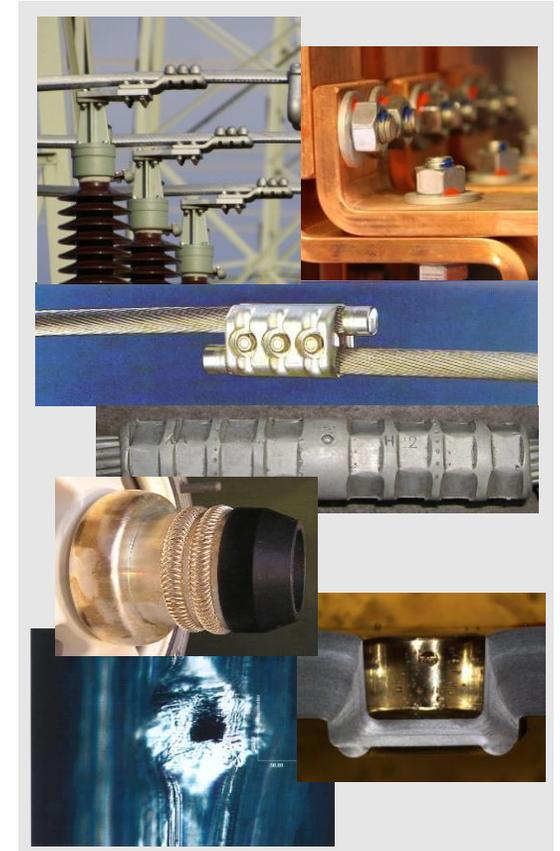
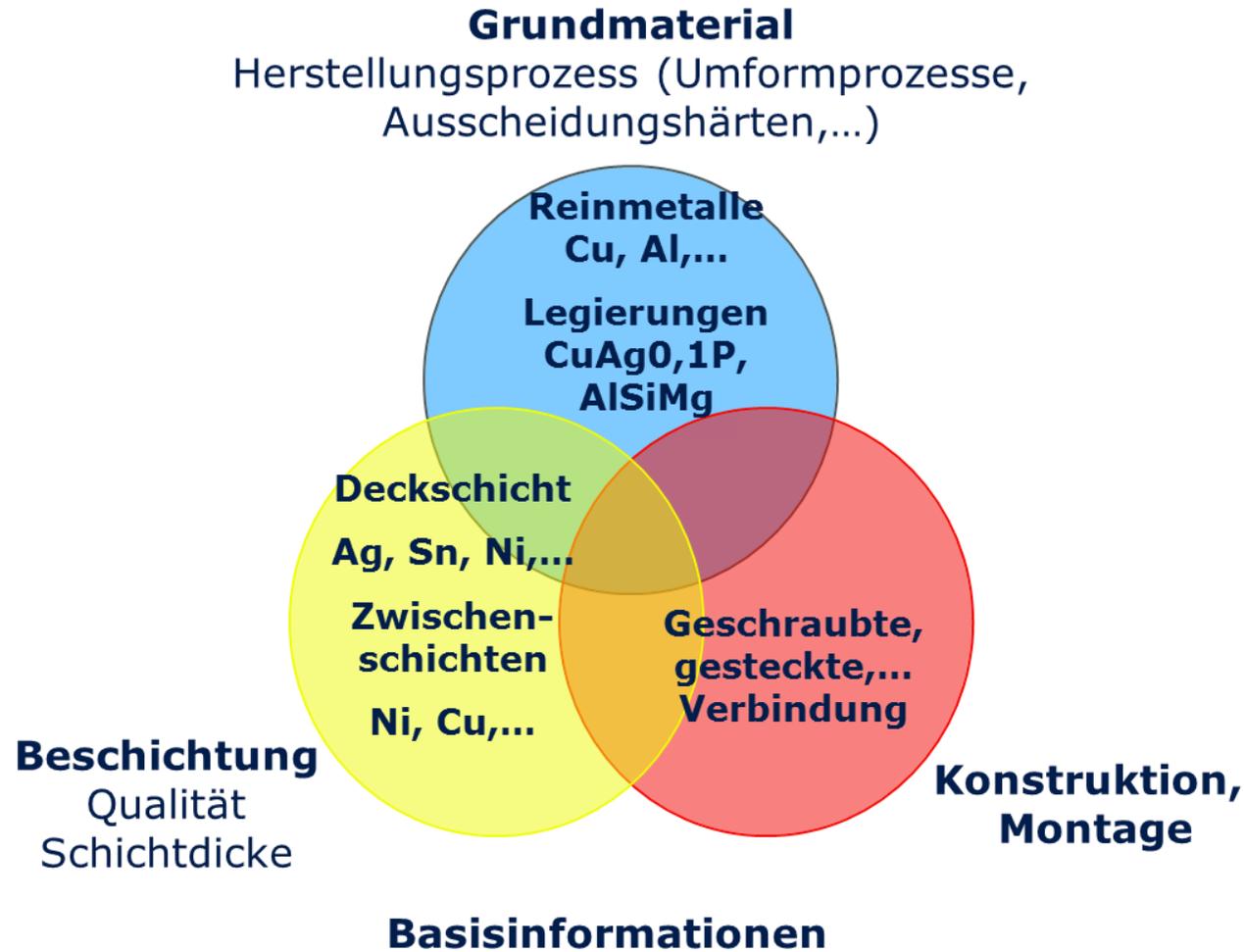


$$R_K = R_E + R_F$$

$$\rightarrow R_V = R_{\text{Metall1}} + R_K + R_{\text{Metall2}}$$

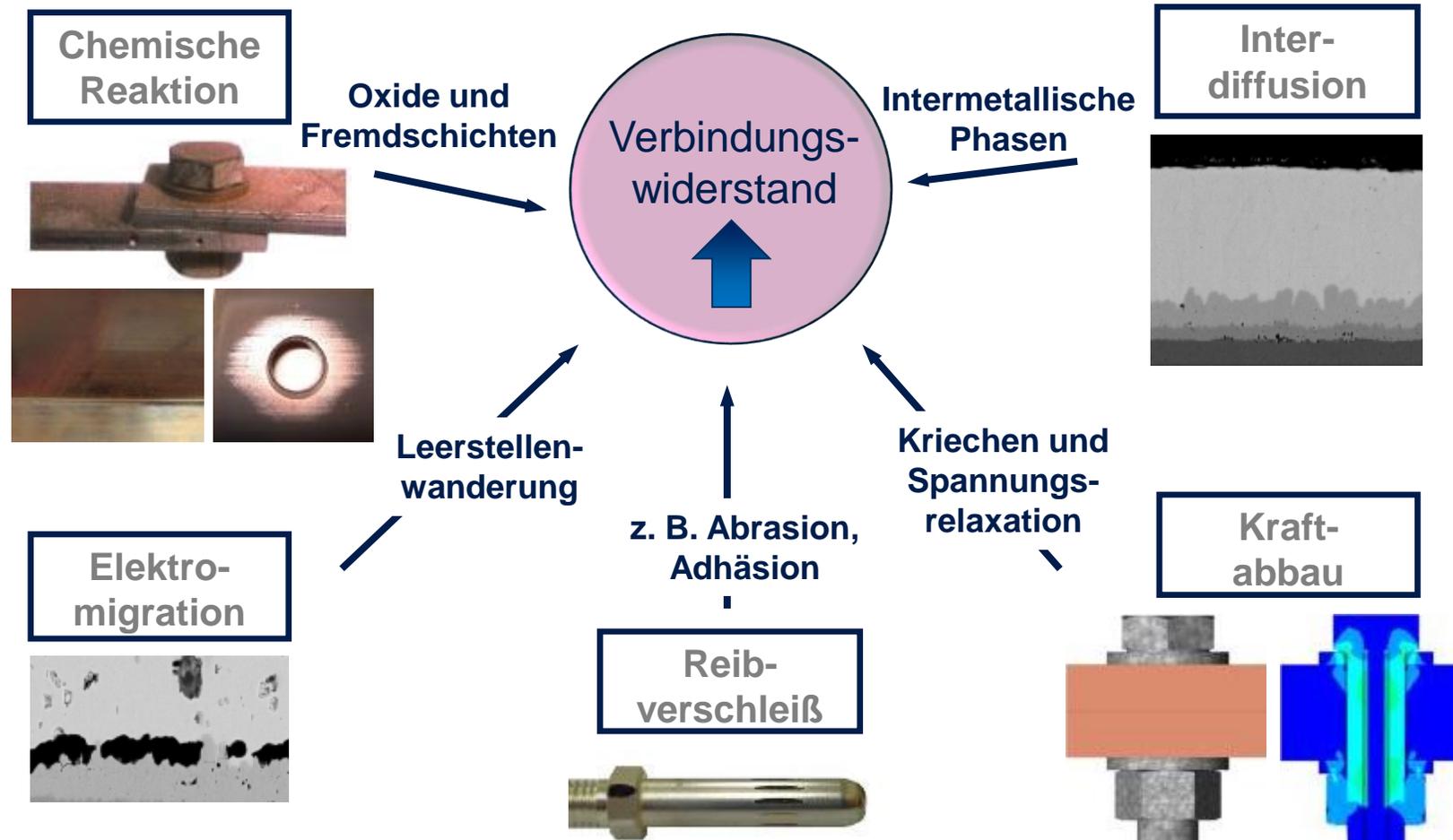
Gute Verbindung: R_K möglichst klein

Stromführende Verbindungen - Einflussgrößen



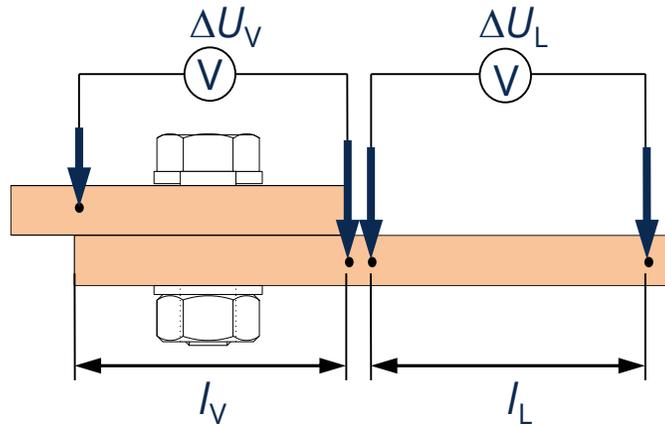
Beanspruchung, Alterung und Langzeitverhalten

Alterungsmechanismen



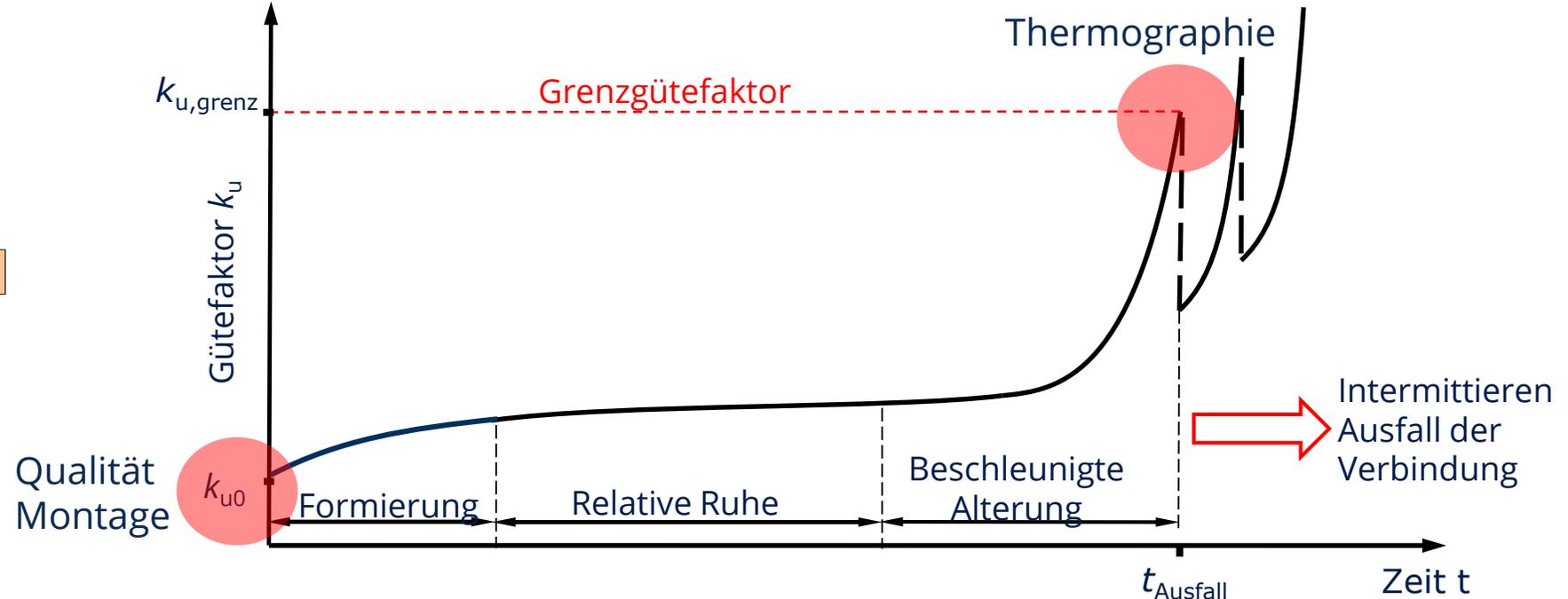
Langzeitverhalten von stromführenden Verbindungen

Gütefaktor



$$k_u = \frac{\Delta U_V}{\Delta U_L} = \frac{R_V}{R_L} = \frac{P_V}{P_L}$$

Verlauf des Gütefaktors k_u (schematisch)



k_{u0} - Anfangsgütefaktor direkt nach der Montage ($t = 0$)

$k_{u,grenz}$ - kritischer (grenz-) Gütefaktor ($t = t_{Ausfall}$)

Bewertung:

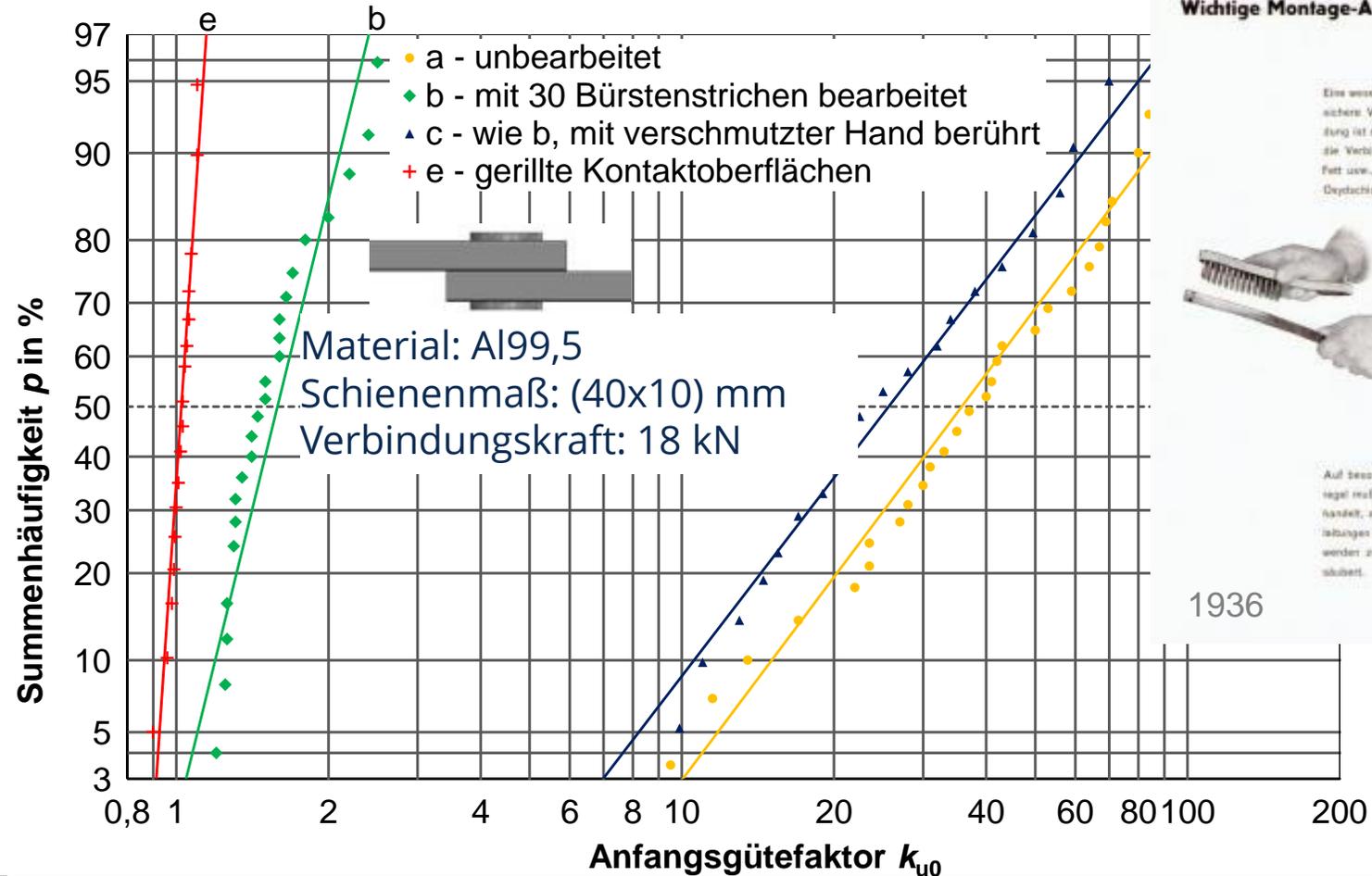
$k_u < 1$ - sehr gute Verbindung, hohe Zuverlässigkeit

$k_u = 1 \dots 1,5$ - Leistungsgleichheit, akzeptabel.

$k_u \gg 1$ - Verbindung wird zum Hotspot

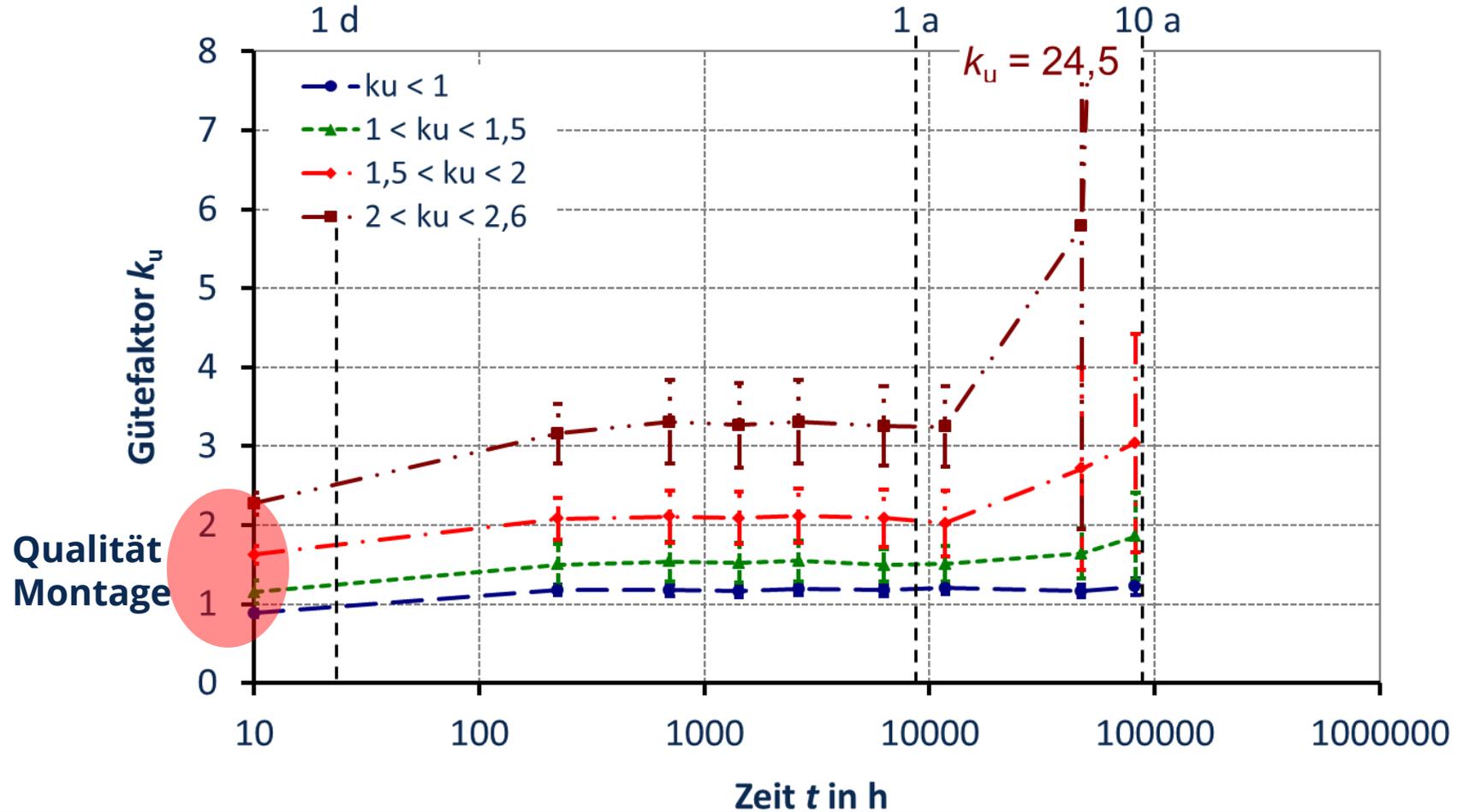
Oberflächenbehandlung von Al-Schraubenverbindungen

Einfluss der Vorbehandlung/Beseitigung von Oxidschichten Al_2O_3 auf den Anfangsgütefaktor k_{u0}



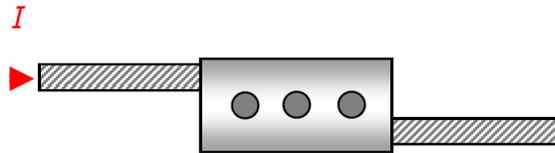
Langzeitverhalten von Al-Schraubenverbindungen

Einfluss der Montagequalität (Anfangsgütefaktor k_{u0}) auf die Lebensdauer einer Verbindung



Langzeitverhalten bei hoher Strombelastung

Freileitungsseil Al/St 185/30 mit Verbindungsklemme (Schalenstromklemme)



Anfangsgütefaktoren k_{u0} nach der Montage:

min 0,76

mittel 0,94

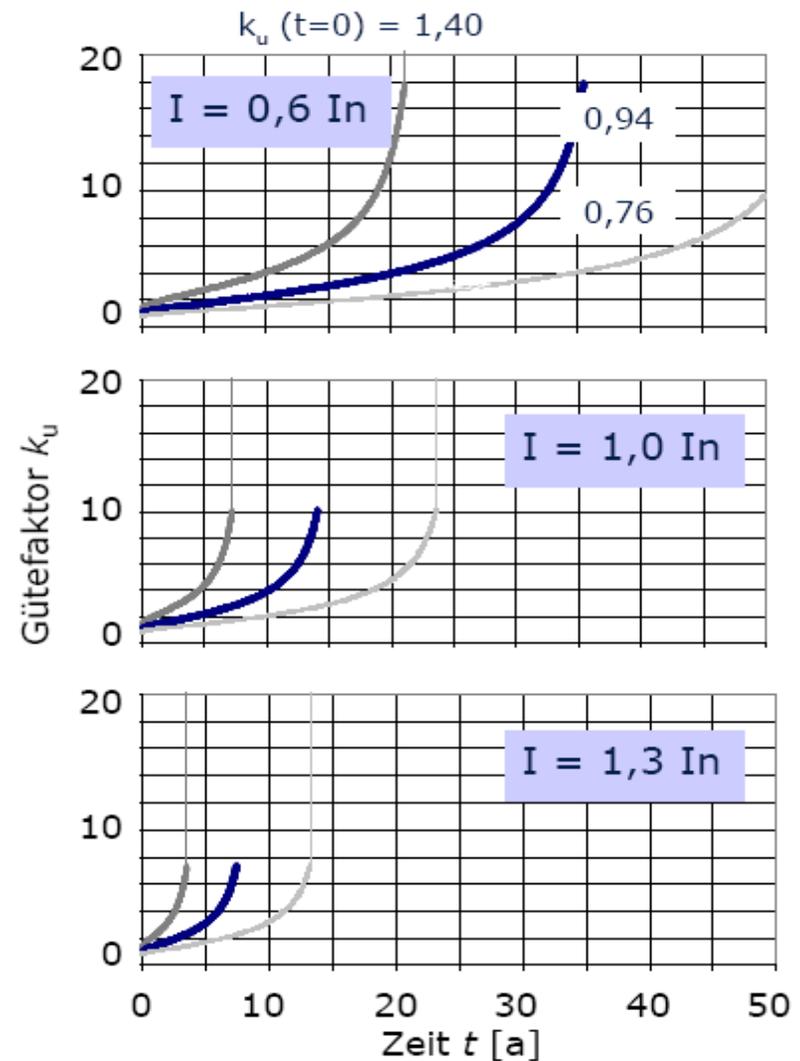
max 1,40

Strombelastung I:

$I = 0,6 I_n$ (entspricht weitgehend der bisher üblichen Praxis)

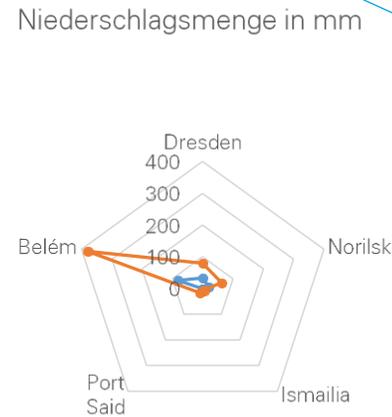
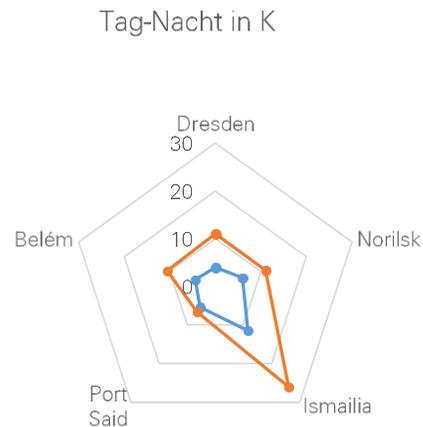
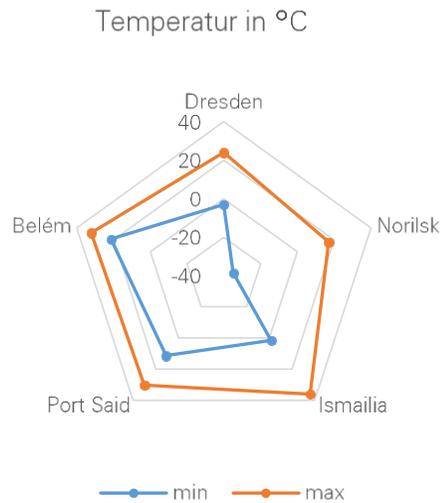
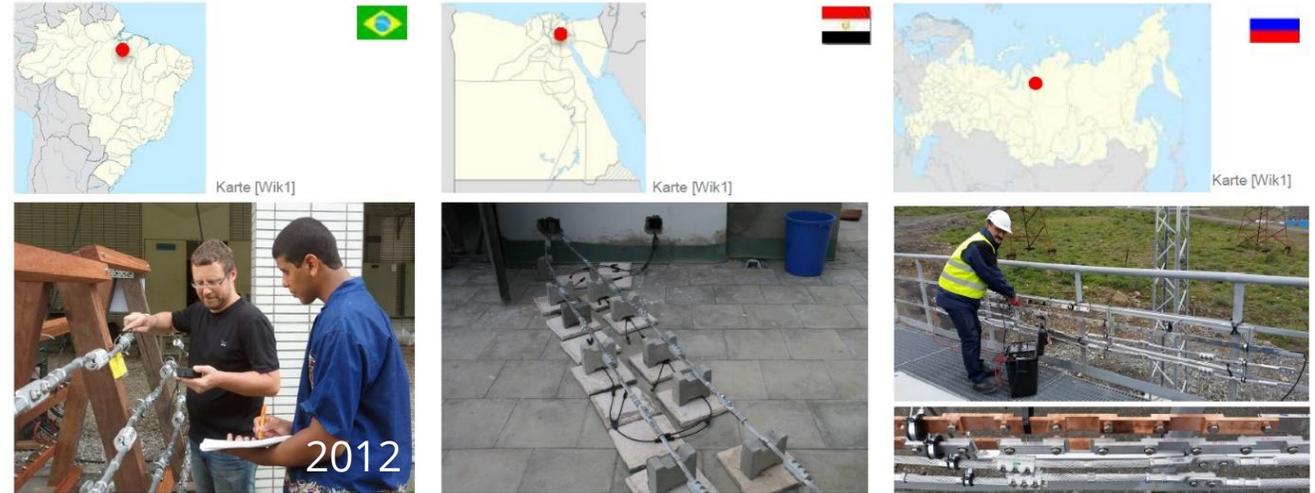
$I = 1,0 I_n$ (entspricht dem Bemessungsstrom)

$I = 1,3 I_n$ (entspricht einer Überlastung der Verbindung)



Langzeitverhalten unter extremen Klimabedingungen - Experimente

Experimente bei unterschiedlichen Temperaturen und Niederschlägen in Auslagerungsorten mit gemäßigtem, subpolarem, subtropisch trockenem, gemäßigt mediterranem und tropischem Klima.



Langzeitverhalten unter extremen Klimabedingungen – erste Ergebnisse

Stromschienen-Schraubenverbindungen, strombelastet, $A_s = 40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$

tropischer Regenwald, Amazonasgebiet

verschiedene Regionen

Cu-Cu

Al-Al

Cu gal Ag

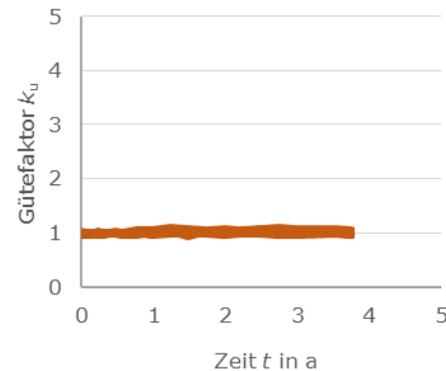
$t = 0$



$t = 3a$



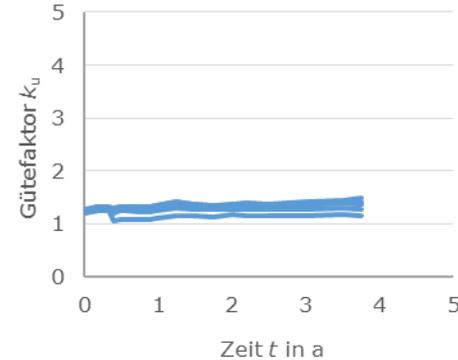
Cu, strombelastet
Anzahl der Proben: 7



$t = 3a$



Al 99,5, strombelastet
Anzahl der Proben: 6



$t = 0$

$t = 2a$



Botan.
Garten

Wüste

Regen-
wald

Erscheinungsbild:

optische Veränderungen bei Cu und Ag, nicht bei Al

Gütefaktor k_u :

bei diesen Verbindungen (gleiche Materialien) keine signifikanten Veränderungen, anders bei Bimetallverbindungen (hier nicht dargestellt).

Schlussfolgerungen

- Große systemische Ziele funktionieren nur mit zuverlässigen Komponenten.
- Regenerative Energien, neue Mobilitätskonzepte und Digitalisierung stellen neue Herausforderungen an viele Komponenten der Elektroenergietechnik.
- Stromführende Verbindungen sind ein Beispiel für notwendige, solide und interdisziplinäre Grundlagenforschung mit Fokus auf praktische Fragen. Langjährige Erfahrungen an der TU Dresden können dazu einen Beitrag leisten.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

steffen.grossmann@tu-dresden.de
0351-46333428

Hochspannungslabor der Technischen Universität Dresden

Prof. Dr.-Ing. Steffen Großmann



- 1972-1976 Studium Elektrotechnik TU Dresden (Dipl.-Ing.)
- 1976-1990 Ingenieur im Starkstrom-Anlagenbau Dresden
 - Projektierung Pumpspeicherwerk Markersbach, Umspannwerke, Industrieanlagen
 - Forschung und Entwicklung fabrikfertige Mittelspannungs-Schaltanlagen
- 1988 Promotion TU Dresden zum Dr.-Ing.
- 1990-2003 RIBE Elektroarmaturen Radebeul
 - Produktentwicklung und -vertrieb
- Seit 2003 Professur Hochspannungs- und Hochstromtechnik an der TU Dresden