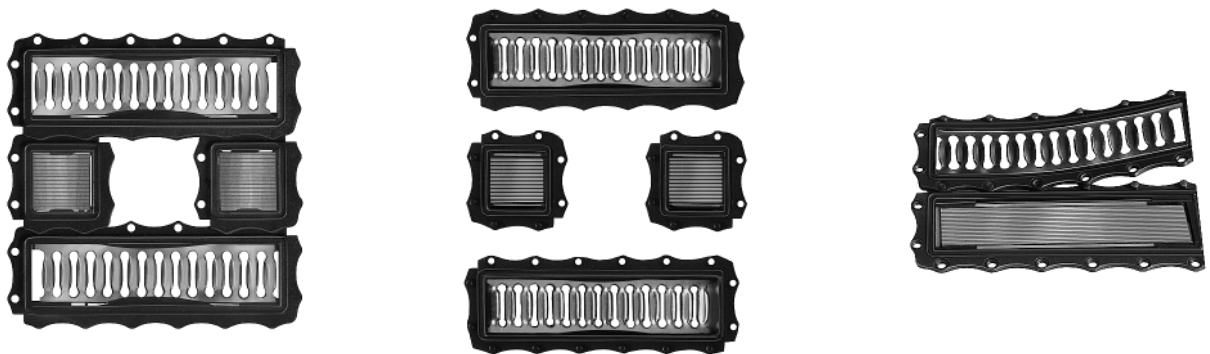


**Langzeitverhalten blanker verschraubter Stromschienenverbindungen  
mit beziehungsweise ohne das Kontaktelement MC®-SEALconTACT**



**Reduktion elektrischer Verluste, Verlängerung der Lebensdauer  
und Erhöhung der Anlagensicherheit durch Einsatz  
des Kontaktelementes MC®-SEALconTACT**

# Inhaltsverzeichnis

- 1. Problemstellung**
- 2. Bewertung und Beschreibung verschraubter Stromschienenverbindungen**
  - 2.1. Verbindungswiderstand  $R_v$** 
    - 2.1.1. Eigenwiderstand  $R_b$
    - 2.1.2. Engewiderstand  $R_e$
    - 2.1.3. Fremdschichtwiderstand  $R_f$
    - 2.1.4. Übergangswiderstand  $R_u$
  - 2.2. Schienenwiderstand  $R_{Sch}$**
  - 2.3. Gütefaktor  $k_u$** 
    - 2.3.1. Kleinstmöglicher Gütefaktor
  - 2.4. Einflussgrößen des Verbindungswiderstands  $R_v$  und des Gütefaktors  $k_u$** 
    - 2.4.1. Engewiderstand  $R_e$  und Fremdschichtwiderstand  $R_f$
    - 2.4.2. Fremdschichtbildung
    - 2.4.3. Fremdschichtbildung und Verbindungstemperatur
      - 2.4.3.1. Wärmequellen, innere und äussere Wärme
      - 2.4.3.2. Übertemperatur
- 3. Wirtschaftliche und ökologische Aspekte**
  - 3.1. Technische Zuverlässigkeit und Wartung verschraubter Stromschienenverbindungen**
  - 3.2. Stand der Technik verschraubter Stromschienenverbindungen**
  - 3.3. Verschraubte Stromschienenverbindungen mit dem Kontaktelement MC<sup>®</sup>-SEALconTACT**
    - 3.3.1. Funktionelle Eigenschaften des Kontaktelements MC<sup>®</sup>-SEALconTACT
      - 3.3.1.1. Kontaktmodul mit Drehfedersteglamelle
      - 3.3.1.2. Gerilltes Abstützmodul
      - 3.3.1.3. Dichtrahmen für Kontakt- und Abstützmodule
  - 3.4. Vergleich der Gütefaktoren verschraubter Stromschienenverbindungen mit bzw. ohne Kontaktelement MC<sup>®</sup>-SEALconTACT**
    - 3.4.1. Anfangsgütefaktor  $k_{u0}$
    - 3.4.2. Langzeitgütefaktor  $k_u(t)$ 
      - 3.4.2.1. Ohne Kontaktelement
      - 3.4.2.2. Mit Kontaktelement
  - 3.5. Einsparungspotential von Energiekosten an Stromschienenverbindungen mit dem Kontaktelement MC<sup>®</sup>-SEALconTACT bei Innenraumanwendung**
- 4. Zusammenfassung**
- 5. Verwendete Literatur**
- 6. Anhang 1**  
Versuche zum Langzeitgütefaktor  $k_u(t)$  von Stromschienenverbindungen mit MC<sup>®</sup>-SEALconTACT

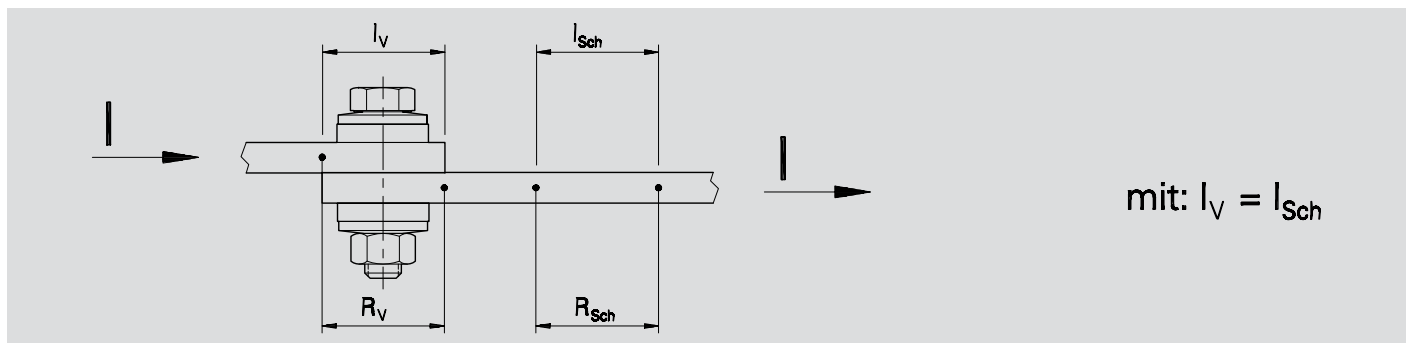
## 1. Problemstellung

Bei der Übertragung von Strömen im Grössenbereich von einigen 100A bis zu einigen 1000A, in Ausnahmefällen bis zu einigen 10'000A, z.B. in Metallschmelzanlagen, besteht im Bereich der Verbindungsstellen das Problem des zumeist zu hohen Verbindungswiderstands. Dieser wird von mehreren Grössen beeinflusst und nimmt im Laufe der Einsatzzeit durch Alterung zu, was eine Erhöhung der Wärmeverluste bedeutet, um so gross zu werden, dass unter verschiedensten Beeinflussungen, zu verschiedenster Lebensdauer, ein Totalausfall der Verbindung eintreten kann.

## 2. Bewertung und Beschreibung verschraubter Stromschienenverbindungen

### 2.1. Verbindungswiderstand $R_V$

Der Verbindungswiderstand  $R_V$  einer Stromschienenverbindung, *Abbildung 1*, setzt sich nach [1] aus mehreren Teilwiderständen entsprechend *Gleichung 1* zusammen.



**Abbildung 1**

Verbindungswiderstand  $R_V$  und Gütefaktor  $k_u$  verschraubter Stromschienen

$$R_V = R_b + R_e + R_f \quad (\text{Gleichung 1})$$

#### 2.1.1. Eigenwiderstand $R_b$

$R_b$  ist der Eigenwiderstand beider Stromschienen über der Überlappungslänge  $l_v$ , wenn man sich beide Stromschienen als metallisch homogen verbunden denkt. D.h. der Übergangswiderstand  $R_{\bar{u}}$  nach *Gleichung 2* identisch Null ist.

#### 2.1.2. Engewiderstand $R_e$

$R_e$  ist der Widerstand, der sich aufgrund der Einengung und Zusammenschnürung der Stromlinien auf die stromübertragungsfähigen Berührungsflächen der beiden Stromschienen, die gleichzeitig undefinierte Kontaktpunkte darstellen, entsteht.

#### 2.1.3. Fremdschichtwiderstand $R_f$

$R_f$  ist der Widerstand der Fremdschichten auf den Oberflächen der tragenden Berührungsflächen.

#### 2.1.4. Übergangswiderstand $R_{\bar{u}}$

$R_{\bar{u}}$  ist die Summe des Eng- und des Fremdschichtwiderstandes.

$$R_{\bar{u}} = R_e + R_f \quad (\text{Gleichung 2})$$

### 2.2. Schienenwiderstand $R_{Sch}$

$R_{Sch}$  ist der Widerstand eines Stromschienenabschnitts mit der Länge  $l_{Sch}$ , die gleich der Überlappungslänge  $l_v$  ist.

### 2.3. Gütefaktor $k_u$

Der Gütefaktor  $k_u$  ergibt sich nach *Gleichung 3* als das Verhältnis des Widerstands  $R_V$  der Verbindung über der Überlappungslänge  $l_v$  zum Widerstand  $R_{Sch}$  der Stromschiene gleicher Länge  $l_{Sch}$ .

$$k_u = \frac{R_V}{R_{Sch}} = \frac{U_V}{U_{Sch}} = \frac{P_V}{P_{Sch}} \quad (\text{Gleichung 3})$$

#### 2.3.1. Kleinstmöglicher Gütefaktor

Unter der Annahme eines vernachlässigbar kleinen Übergangswiderstands  $R_{\bar{u}}$ , d.h.  $R_{\bar{u}} = 0$  ergibt sich nach *Gleichung 4* der Verbindungswiderstand zu:

$$R_V = R_b \quad (\text{Gleichung 4})$$

Entsprechend nimmt damit der Gütefaktor  $k_u$  den theoretisch kleinstmöglichen Wert nach *Gleichung 5* an.

$$k_u = 0,5 \quad (\text{Gleichung 5})$$

## 2.4. Einflussgrößen des Verbindungswiderstands $R_v$ und des Gütefaktors $k_u$

### 2.4.1. Engewiderstand $R_e$ und Fremdschichtwiderstand $R_f$

Wie aus *Gleichung 1* und *Gleichung 2* ersichtlich, ist der Verbindungswiderstand  $R_v$  am kleinsten, wenn der Übergangswiderstand  $R_{\text{Ü}}$  den Wert 0 annimmt. Daraus folgt, dass die Güte der Stromschienenverbindung um so besser ist,

- je grösser die stromübertragungsfähige Berührungsfläche und damit um so kleiner der Engewiderstand  $R_e$  wird
- je kleiner die nicht oder nur schlecht leitende Fremdschicht und desto kleiner damit der Fremdschichtwiderstand  $R_f$  wird.

### 2.4.2. Fremdschichtbildung

An den Kontaktstellen müssen beim Stromfluss die beteiligten Elektronen aus der einen Stromschiene austreten und in die andere Stromschiene eintreten. Hierbei sind die Mikrostruktur der Stromschienenoberflächen und die mehr oder weniger dicken Fremdschichten von grosser Bedeutung.

Der Übergangswiderstand  $R_{\text{Ü}}$  und damit auch der Verbindungswiderstand  $R_v$  erhöht sich im Laufe der Zeit durch Fremdschichtwachstum aufgrund chemischer Reaktionen, z.B. Oxidation oder Korrosion, zwischen dem Stromschienenwerkstoff und der umgebenden Atmosphäre beziehungsweise den darin enthaltenen Verunreinigungen und Schadgasen. Fremdschichtfreie Oberflächen sind nur im Hochvakuum erzielbar.

### 2.4.3. Fremdschichtbildung und Verbindungstemperatur

Durch die fortlaufende Fremdschichtbildung wird der Verbindungswiderstand  $R_v$ , die Wärmeverlustleistung und damit auch die Verbindungstemperatur erhöht, was wiederum den chemischen Vorgang der Fremdschichtbildung beschleunigt. Diese gegenseitige Beeinflussung von Fremdschichtbildung, Wärmeverlusten und Verbindungstemperatur kann bis zum totalen Ausfall der Stromschienenverbindung durch Überhitzung führen.

#### 2.4.3.1. Wärmequellen, innere und äussere Wärme

Quellen der Kontakterwärmung sind die innere und äussere Wärme. Die innere Wärme resultiert aus den Energieverlusten der Stromleitung, vorzugsweise bedingt durch den Enge- und Fremdschichtwiderstand. Die äussere Wärme ergibt sich durch die Umgebungssituation. Bei Innenraumanwendung, z.B. ungenügende Wärmeabfuhr durch Strahlung oder Konvektion oder aber zusätzlicher Wärmeeinstrahlung durch Aufstellung in der Nähe von Metallschmelzanlagen oder in chemischen Anlagen. Bei Freilufteinsatz durch die Sonneneinstrahlung.

#### 2.4.3.2. Übertemperatur

Nach Messungen von [2] liegt die Temperatur der stromübertragungsfähigen Berührungsflächen im Innern der Verbindung um einiges höher als die an der Stromschienenaussenseite, messbare.

Es ist möglich, dass an der äusseren Stromschienenseite keine Übertemperatur feststellbar ist, innen aber die Temperatur so hoch ist, dass durch die erhöhte thermische Belastung eine beschleunigte Alterung stattfindet.

## 3. Wirtschaftliche und ökologische Aspekte

### 3.1. Technische Zuverlässigkeit und Wartung verschraubter Stromschienenverbindungen

Zwischen der technischen Zuverlässigkeit und dem Wartungsaufwand einer Stromschienenverbindung besteht ein direkter Zusammenhang zum Gütefaktor  $k_u$ . Technisch zuverlässig und damit wartungsarm, in Sonderfällen sogar wartungsfrei, ist eine Stromschienenverbindung dann, wenn die Alterung während einer wirtschaftlichen Lebensdauer von 20 bis 40 Jahren bei Freiluft- und Innenraumanwendung nicht so weit voranschreitet, dass eine Selbstzerstörung der Stromschienenverbindung durch Überhitzung eintritt.

Für einen Grossteil verschraubter Stromschienenverbindungen kann die Wirtschaftlichkeit weiter verbessert werden, indem über den genannten Zeitraum die Energieverluste in Form der Kontakterwärmung gesenkt werden. Bei identischer elektrischer Belastung setzt dies eine Verbesserung des Gütefaktors  $k_u$  voraus, was mit Hilfe des Kontaktelementes MC®-SEALconTACT erzielt werden kann.

Positiv wirkt sich darüberhinaus die Verlängerung der Einsatzzeit beziehungsweise die Verminderung der Wartungsintervalle und dem damit verbundenen Anstieg der Anlagensicherheit und Anlagenverfügbarkeit aus. Diese Vorteile sind unmittelbar gekoppelt an funktionelle Eigenschaften des Kontaktelementes MC®-SEALconTACT.

Neben den unmittelbaren wirtschaftlichen Aspekten an verschraubten Stromschienenverbindungen, ist aus ökologischer Sicht nicht zu übersehen, dass bei der Vielzahl solcher Verbindungen, z.B. nur in Westeuropa in Milliardenhöhe, beachtliche Energieverluste vorhanden sind, die einen erheblichen Mehrverbrauch an wertvollen fossilen Energieträgern nötig machen.

Unmittelbar damit verbunden ist der erhöhte Ausstoss an Schadgasen, die ihrerseits zur Umweltzerstörung und globalen Temperaturerhöhung beitragen. Auch hier hilft der Einsatz des Kontaktelementes MC®-SEALconTACT dieses Schadenpotential stark zu reduzieren.

### 3.2. Stand der Technik verschraubter Stromschienenverbindungen

Grössere ebene Kontaktflächen, wie sie überlappende Stromschienen darstellen, gewährleisten keinen sicheren Stromübergang. Es sind nur relativ wenige regellos über der Verbindungsfläche verteilte stromübertragungsfähige Berührungsflächen vorhanden. Diese werden im Laufe der Einsatzzeit infolge des Fremdschichtwachstums so verkleinert oder sogar vollständig beseitigt, sodass ein Ausfall der Stromschienenverbindung durch Überhitzung eintritt. Diese katastrophalen Schäden lassen sich nur durch periodische, zeit- und kostenaufwendige Revisionen der Stromschienenverbindungen vermeiden.

### 3.3. Verschraubte Stromschienenverbindungen mit dem Kontaktelement MC®-SEALconTACT

#### 3.3.1. Funktionelle Eigenschaften des Kontaktelements MC®-SEALconTACT

##### 3.3.1.1. Kontaktmodul mit Drehfedersteglamelle

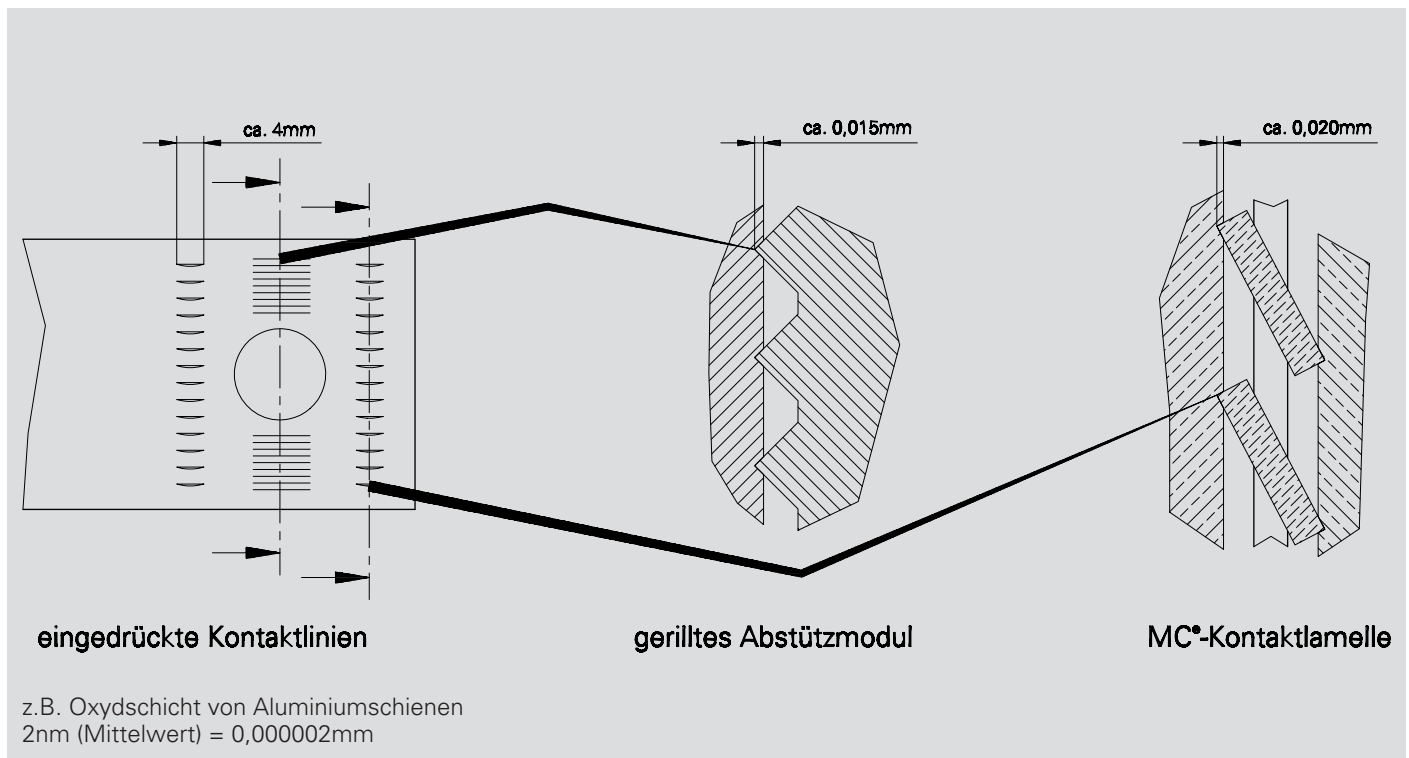
Das Kontaktmodul des Kontaktelementes MC®-SEALconTACT mit integrierter Drehfedersteglamelle ermöglicht eine Kontaktgabe über eine Vielzahl von definierten stromübertragungsfähigen Berührungsflächen.

Die Drehfedersteglamelle ist durch ihre Formgebung und Wirkungsweise in der Lage Fremdschichten zu durchbrechen, was ein Kontaktieren blanker, ungereinigter und damit auch vorbehandelter Stromschienen ermöglicht.

Im Bereich der stromübertragungsfähigen Berührungsflächen, wie sie jeder Drehfedersteg sicherstellt, ist eine erneute Fremdschichtbildung nicht möglich. Infolge der hohen Andruckkraft des Drehfedersteges ist die Verbindung mit der zu kontaktierenden Fläche so homogen, dass ein Fremdschichtwachstum sicher ausgeschlossen ist.

##### 3.3.1.2. Gerilltes Abstützmodul

Die Hauptfunktion des Abstützmoduls ist die Kontaktlamelle in eine optimale Einfederhöhe einzustellen. Durch die Rillung des Moduls entsteht weiter ein ähnlicher Effekt wie bei der Kontaktlamelle, nämlich, dass die Fremdschichten durch die Stege durchbrochen werden und sich die Stege in die Schiene eingraben und sich damit in der Schiene eine homogene Kontaktierung beider Flächen bildet.



**Abbildung 2**

Durchbrechen der Fremdschicht durch das gerillte Abstützmodul und durch die MC®-Kontaktlamelle

##### 3.3.1.3. Dichtrahmen für Kontakt- und Abstützmodule

Das Kontaktmodul sowie die Abstützmodule des Kontaktelementes MC®-SEALconTACT sind durch einen Dichtrahmen hermetisch gegen die umgebende Atmosphäre, d.h. Feuchtigkeit und Schadgase, abgeschlossen, sodass ein Fremdschichtwachstum vermieden wird. Ohne Fremdschichtwachstum bleibt der Gütefaktor  $k_u$  und damit die Verbindungsgüte sowie die daraus resultierenden Energieverluste über lange Zeit niedrig und konstant.

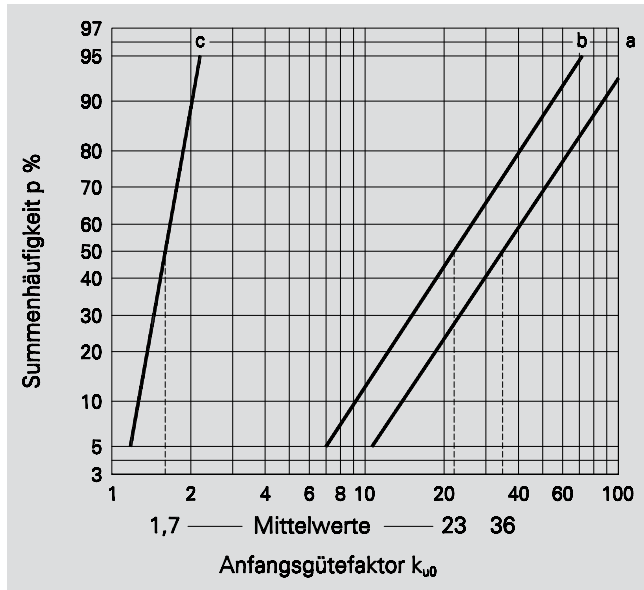
### 3.4. Vergleich der Gütefaktoren verschraubter Stromschieneverbindungen mit bzw. ohne Kontaktelement MC®-SEALconTACT

#### 3.4.1. Anfangsgütefaktor $k_{u0}$

Untersuchungen von [2] belegen, dass der Langzeitgütefaktor  $k_u(t)$ , dargestellt in **Abbildung 5** in grossem Masse vom Anfangsgütefaktor  $k_{u0}$  abhängt. Verbindungen mit hohen Anfangsgütefaktoren werden nach kurzer Zeit instabil. Z.B. kann eine Verbindung mit einem Anfangsgütefaktor von  $k_{u0} = 6$  schon nach Monaten total ausfallen.

**Abbildung 3** zeigt die Zusammenhänge für die aufgeführten verschiedenen Oberflächenvorbearbeitungen von Stromschieneverbindungen ohne MC®-SEALconTACT.

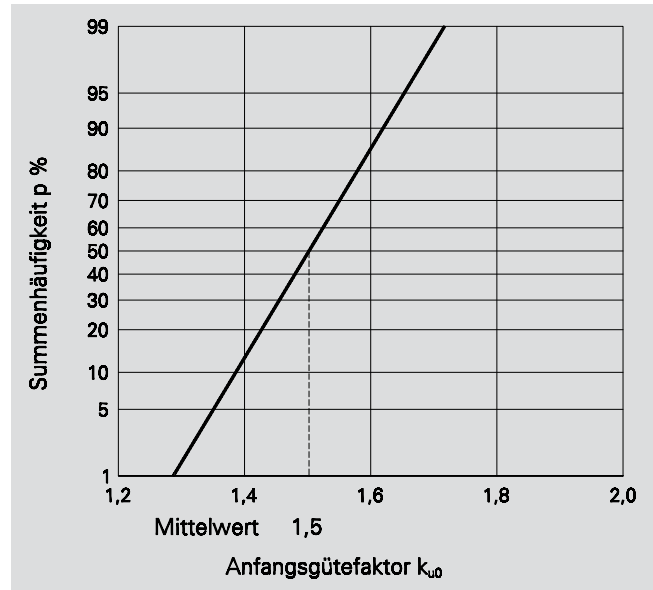
**Abbildung 4** zeigt ein nahezu gleicher Anfangsgütefaktor von  $k_{u0} = 1,5$  von Stromschiene mit SEALconTACT's bei Materialpaarungen CU-Cu, Al-Al und Cu-Al, gereinigten und ungereinigten Schienen und Einsatz in Innenraum, Freiluft und Regenwasser gelagert.



**Abbildung 3**

Experimentell ermittelte Anfangsgütefaktoren  $k_{u0}$  von Verbindungen ohne MC®-SEALconTACT's.

- Kurve a: ungereinigt
- Kurve b: optimal gereinigt und danach mit verschmutzter Hand berührt
- Kurve c: optimal gereinigt



**Abbildung 4**

Experimentell ermittelte Anfangsgütefaktoren  $k_{u0}$  von Verbindungen mit MC®-SEALconTACT's.

- von gereinigten und ungereinigten Schienen
- Cu-Cu, Al-Al, Cu-Al
- Indoor, Freiluft und in Regenwasser gelagert

#### 3.4.2. Langzeitgütefaktor $k_u(t)$

Dargestellt in **Abbildung 5**

##### 3.4.2.1. Ohne Kontaktelement

Die Werte dieses Kurvenbereichs sind experimentell von [2] ermittelt und gelten für Innenraumanwendung. Die Bandbreite dieses Bereichs wird von zwei unterschiedlichen Einflussfaktoren bestimmt:

- unterschiedliche Anfangsgütefaktoren,  $k_{u0}$
- unterschiedliche Temperaturkombinationen

Sollen die Verlustkosten auf ein Minimum bzw. einen ökonomisch noch vertretbaren Wert begrenzt werden, so ist die Verbindung spätestens bei einem Gütefaktor von  $k_u \geq 3,5$  zu revidieren, um nicht in den Bereich des mit grösserer Geschwindigkeit, exponentiell ansteigender Gütefaktoren und damit in Richtung Totalausfall der Verbindung zu gelangen.

##### • Ermittlung des Gütefaktors in Energieanlagen durch Messung

Der Gütefaktor kann durch eine einfache Messung des Verbindungswiderstands, mit einem für diese Messung speziell entwickelten Mikroohmmeter, direkt in der Anlage ermittelt werden.

##### 3.4.2.2. Mit Kontaktelement

Dieser Kurvenbereich gilt für Innenraum- und Freiluftanwendung. Dem prognostizierten Langzeitverhalten liegen umfangreiche zeitraffende Umweltsimulationen, Anhang 1, sowie die durch langjährigen Einsatz belegten funktionellen Eigenschaften der MC®-Drehfedersteglamellen zugrunde. Für Freiluftanwendungen kommt dabei dem Dichtrahmen der Kontakt und Abstützmodule eine besondere Bedeutung zu.

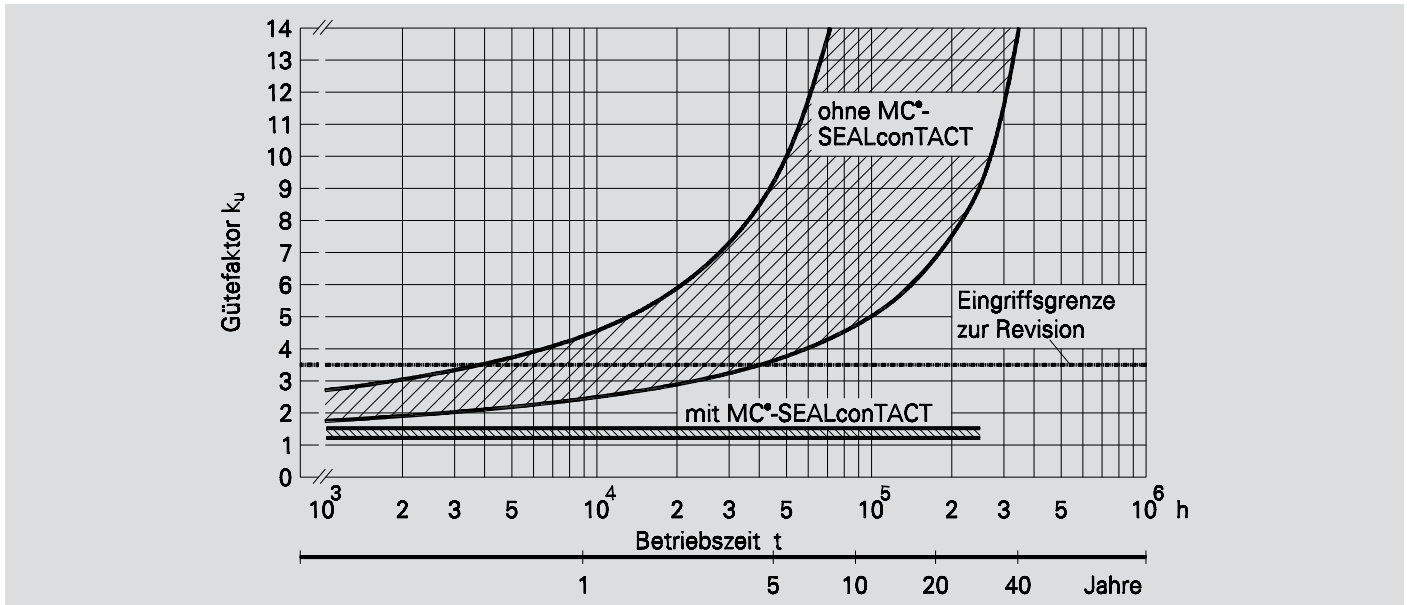


Abbildung 5  
Langzeitgütefaktor  $k_u(t)$

### 3.5. Einsparungspotential von Energiekosten an Stromschienenverbindungen mit dem Kontaktelement MC®-SEALconTACT bei Innenraumanwendung

In **Abbildung 6** sind vergleichend die Kosten der Wärmeverluste dargestellt, die durch den Übergangswiderstand  $R_u$  verursacht werden. Nicht berücksichtigt sind die Wärmeverluste in der Stromschiene, die durch den Eigenwiderstand  $R_0$  entstehen. Der Berechnung liegt eine im Bereich der Energieverteilung häufig vorkommende Stromschienenverbindung zugrunde.

#### Wärmeverlustkosten einer Stromschienenverbindung

Schienenmaterial:	Aluminium, blank
Dimension:	40mm x 10mm
Strombelastung:	600A, konstant
Anfangsgütefaktor, $k_{u0}$ :	1,5
Langzeitgütefaktoren, $k_u(t)$ :	Mittelwerte aus <b>Abbildung 5</b>
Betriebszeit:	bis 10 Jahre
Energiekosten:	€ 0.08 / kWh

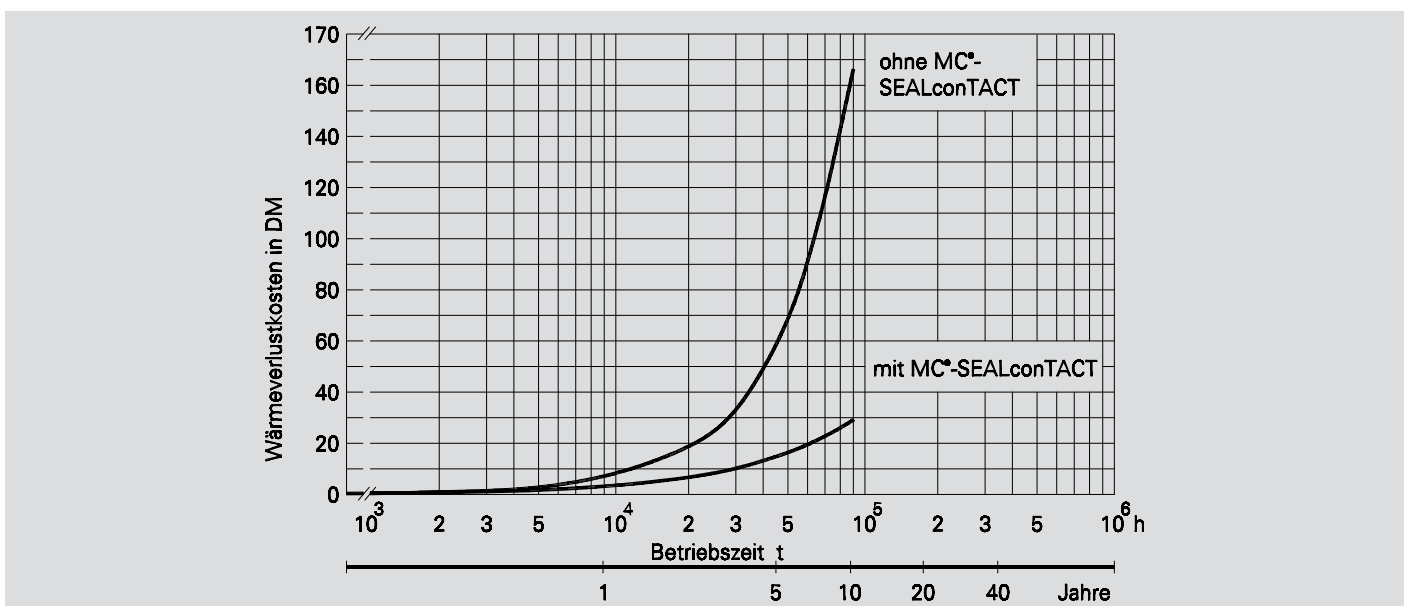


Abbildung 6  
Energieeinsparungspotential durch Einsatz des Kontaktelements MC®-SEALconTACT

## 4. Zusammenfassung

Gegenüberstellung verschraubter Stromschienenverbindungen mit bzw. ohne das Kontaktelement MC®-SEALconTACT:

Stromschienenverbindungen ohne MC®-SEALconTACT's	Stromschienenverbindungen mit MC®-SEALconTACT's
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeitaufwendige Reinigung der Schienen an oft schlecht zugänglichen Stellen notwendig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reinigung der Schienen nicht notwendig</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimale Reinigung wird in der Praxis selten erreicht, d.h. schlechte Anfangsgütefaktoren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gute Anfangsgütefaktoren, Schienenmaterial und umgebungsunabhängig</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oberflächenveredelung bei fast allen Anwendungen notwendig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oberflächenveredelung nicht notwendig</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bereits nach Monaten steigender Gütefaktor und damit Zunahme der Energieverluste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wirtschaftlichkeit der Anlage: Niedriger Gütefaktor über lange Zeit (stabiles Langzeitverhalten), d.h. minimale Energieverluste</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Risiko des Anlagenausfalls oder periodischer Service an den Schienenverschraubungen notwendig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Anlagensicherheit. Kein Service an den Schienenverschraubungen notwendig</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verkürzte Lebensdauer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deutliche Verlängerung der Lebensdauer</li> </ul>

Besonders werden die Vorteile der Stromschienenverbindungen mit MC®-SEALconTACT deutlich sichtbar, wenn die Atmosphäre mit chemisch aggressiven Stoffen, insbesondere in Verbindung mit einer normalen Feuchte, bei Freiluftapplikationen oder in chemischen Anlagen, angereichert ist.

## 5. Verwendete Literatur

- |  |  |
|--|--|
| [1] A. Erk/M. Schmelzle<br>Grundlagen der Schaltgerätetechnik<br>Springer-Verlag/Berlin/Heidelberg/New York 1974 | [2] H. Böhme<br>Mittelspannungstechnik<br>Verlag Technik/Berlin/München 1992 |
|--|--|

## 6. Anhang 1

### Versuche zum Langzeitgütefaktor $k_u(t)$ von Stromschienenverbindungen mit MC®-SEALconTACT

Die Dichtheit und die elektrische Güte wurden bisher durch folgende Versuche zeitraffend bzw. unter besonderen Bedingungen untersucht:

- IEC 68-2-2 bzw. DIN IEC 68 Teil 2-2  
Basic environmental testing procedures Part 2, Test B: Dry heat
- IEC 68-2-3 bzw. DIN IEC 68 Teil 2-3  
Electrical engineering, Basic environmental testing procedures, Test: Damp heat, steady state
- DIN VDE 0212 Teil 52  
Armaturen für Freileitungen und Schaltanlagen Lastwechselversuche
- Temperaturwechsel in Luft, Innenraum  
Temperaturbereich: - 20° bis +110°C  
Aufheizzeit: t = 65 min.  
Abkühlzeit: t = 130 min.  
Dauer: t = 10 Tage
- Test Dichtvermögen in Abhängigkeit der Temperatur und des Flächendrucks  
Normalatmosphäre, Innenraum  
bei t = 80°C Dauer t = 72h  
t = 100°C t = 72h  
t = 120°C t = 72h
- Test Dichtvermögen bei extrem rauen Oberflächen der blanken Stromschienen  
Normalatmosphäre, Innenraum Stromschienen mit Oberflächenrauheit N8 bis N10
- IEC 68-2-52 bzw. DIN IEC 68 Teil 2-52  
Salznebeltest  
Dauer t = 30 Tage
- **Langzeitversuche in Innenraum, Freiluft und in Regenwasser gelagert.**  
*Bei Versuchen mit blanken, ungereinigten Cu- und Al-Schienen als auch der kritischen Materialkombination Al/Cu, ist nach bisheriger Versuchsdauer von 24'000h keine Verschlechterung des Verbindungswiderstandes bzw. des Gütefaktors gegenüber dem Neuzustand zu erkennen. Der allgemeine Wissensstand der zeitabhängigen Änderung der Kontaktgüte von Hochstromkontakten und insbesondere der von denen mit integrierten MC®-Kontaktlamellen, lässt die Extrapolation auf Einsatzzeiten von über 200'000h (entspr. 20 Jahren) ohne die Überschreitung gültiger Grenzwerte zu. Die Versuche werden weitergeführt, um die im Diagramm Langzeitgütefaktor dargestellten Werte, denen umfangreiche zeitraffende Versuche zugrunde liegen, belegen zu können.*