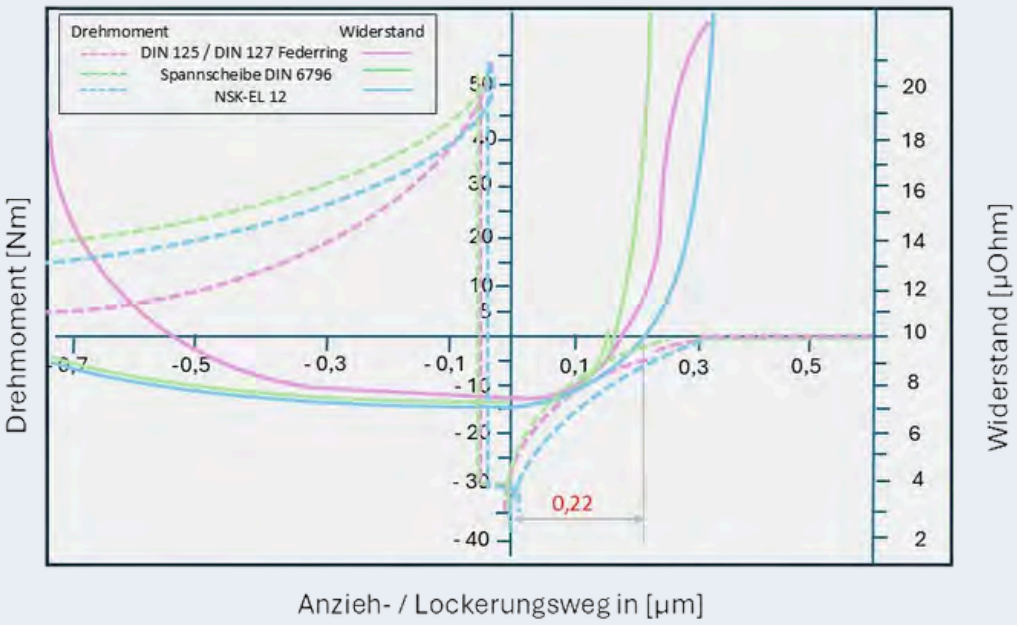
MER-Methode

Mechanical-Electrical Resilience



Bewertung elektrischer Schraubverbindungen mit einer objektiven, skalierbaren Messgröße

Autor: Dipl.-Ing., Dipl.-Wirt.-Ing. Thomas Volborth

Datum: 17.11.2025

Agenda

1. Ausgangslage

2. Warum ist ein neues Prüfverfahren erforderlich

3. Aufbau der MER-Methode

4. Ablauf der MER-Prüfung

5. Vorteile der MER-Methode

6. Resilienz als neue Sicherheitsgröße

7. Fazit zur Zukunft elektrischer Verbindungen

8. Kontakt und Download

Ausgangslage

Elektrische Schraubverbindungen gelten in der Elektrotechnik weiterhin als nur **unzureichend definierte Größe**. Für viele Leiterwerkstoffe fehlen belastbare mechanische Kennwerte, insbesondere zu **Kriech-, Setz- und Relaxationsvorgängen**, während Oberflächen- und Beschichtungszustände den Übergangswiderstand zeit- und temperaturabhängig verändern.

Die zentralen Größen **Vorspannkraft, Übergangswiderstand und Temperatur** treten nicht isoliert auf, sondern stehen in einer ständig verstärkenden oder schwächenden, gegenseitigen Wechselwirkung.

Das neue **zEMT-Modell** von teckentrup SLI beschreibt diese zeitabhängige, dynamische Kopplung:

In konventionellen Prüfverfahren wird diese Kopplung jedoch nur selten erfasst. Häufig werden entweder **nur mechanische oder nur elektrische Prüfungen** vollzogen oder diese unter Laborbedingungen durchgeführt, die realen Feldbedingungen nicht entsprechen.

Warum ist ein neues Prüfverfahren erforderlich?

Die MER-Methode wurde entwickelt, um diese Lücke zu schließen.

Ihr Anspruch ist klar: Mechanische und elektrische Zusammenhänge simultan, reproduzierbar und praxisnah messbar zu machen.

Kernidee ist die Kombination aus:
- drehmoment- und drehwinkelgesteuertem Schraubprozess
- Vierleitermessung des Übergangswiderstands
- Auswertung des mechanischen Lockerungswegs

Simultane Erfassung schafft Transparenz
Es wird erkennbar, wie sich Vorspannkraft, Kontaktdruck, elektrische Leitfähigkeit und der zeitliche Einfluss gegenseitig verändern – und wie resilient eine Kontaktverschraubung gegenüber realen Belastungen tatsächlich ist.

Dabei nutzt die **MER-Methode** ausschließlich handelsübliche Messmittel und erlaubt orts- und zeitunabhängige Prüfungen ohne Laborumgebung.

teckentrup SLI

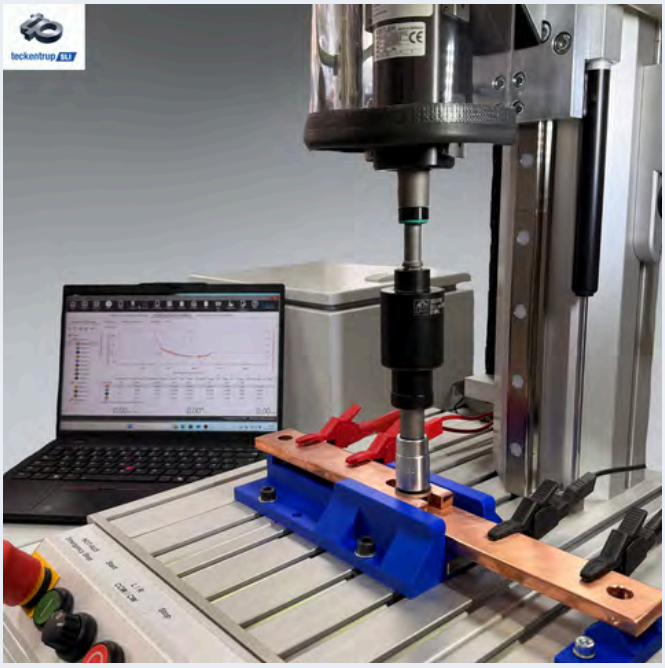
Aufbau der MER-Methode

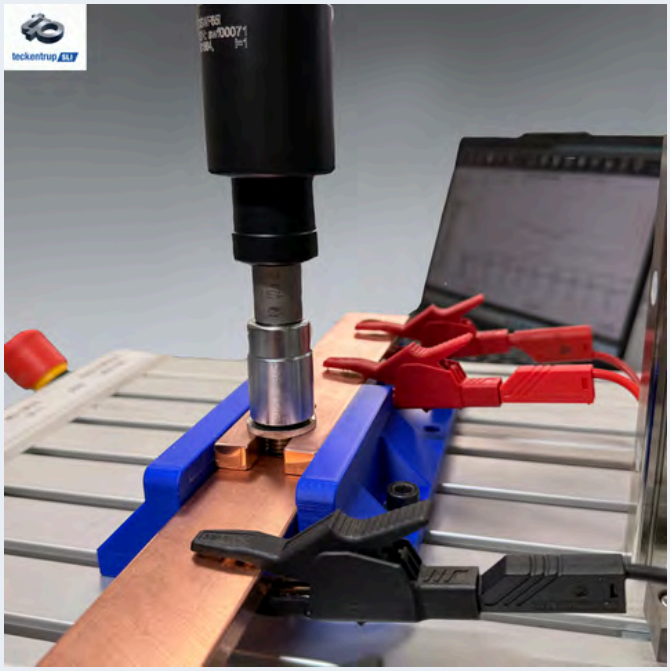
- Präzision mit Standardmesstechnik

Die Prüftechnik der MER-Methode besteht aus:

1. Digitalem Drehmoment-/Drehwinkelmessgerät
2. Vierleitermessgerät für µΩ-präzise Widerstandsmessung
3. Datenerfassungssystem für synchrone Messwertaufnahme
4. Modularer Prüfvorrichtung
5. Stromleitern (Cu, Al, Verbundmaterialien)
6. Verbindungselementen der realen Applikation

Dieser Aufbau ermöglicht eine realitätsgetreue Abbildung der elektrischen Verschraubung – exakt so, wie sie später im Feld verwendet wird.





Ablauf der MER-Prüfung

- Schritt für Schritt zur Resilienz

Phase 1 – Vorbereitung
Die Verschraubung wird aufgebaut, Kontaktstellen werden definiert, und der Ausgangswiderstand im gelösten Zustand bestimmt.

Phase 2 – Anziehen
Während des gesamten Anziehvorgangs werden Drehmoment, Drehwinkel und Übergangswiderstand kontinuierlich gemessen.
Das Verhalten der Kontaktflächen beim Setzen wird sofort sichtbar.

Phase 3 – Zeitliche Pause (optional)
Thermische, zeitabhängige oder mechanische Relaxationseffekte können gezielt untersucht werden.
Diese Funktion ist besonders relevant für Energie- und Bahnindustrie sowie für E-Mobility-Systeme.

Phase 4 – Losdrehen
Während des kontrollierten Losdrehens wird erneut der Widerstandsverlauf erfasst.
Hieraus wird der Lockerungsweg ermittelt – eine zentrale Größe zur Bestimmung der elektrischen Resilienz.

teckentrup SLI

Ablauf der MER-Prüfung

- Schritt für Schritt zur Resilienz

Phase 5 – Auswertung

Die **MER-Kurve** verbindet mechanische Bewegung und elektrische Widerstandsänderung

Der resultierende **MER-Faktor** beschreibt die Resilienz der Verbindung in µm.

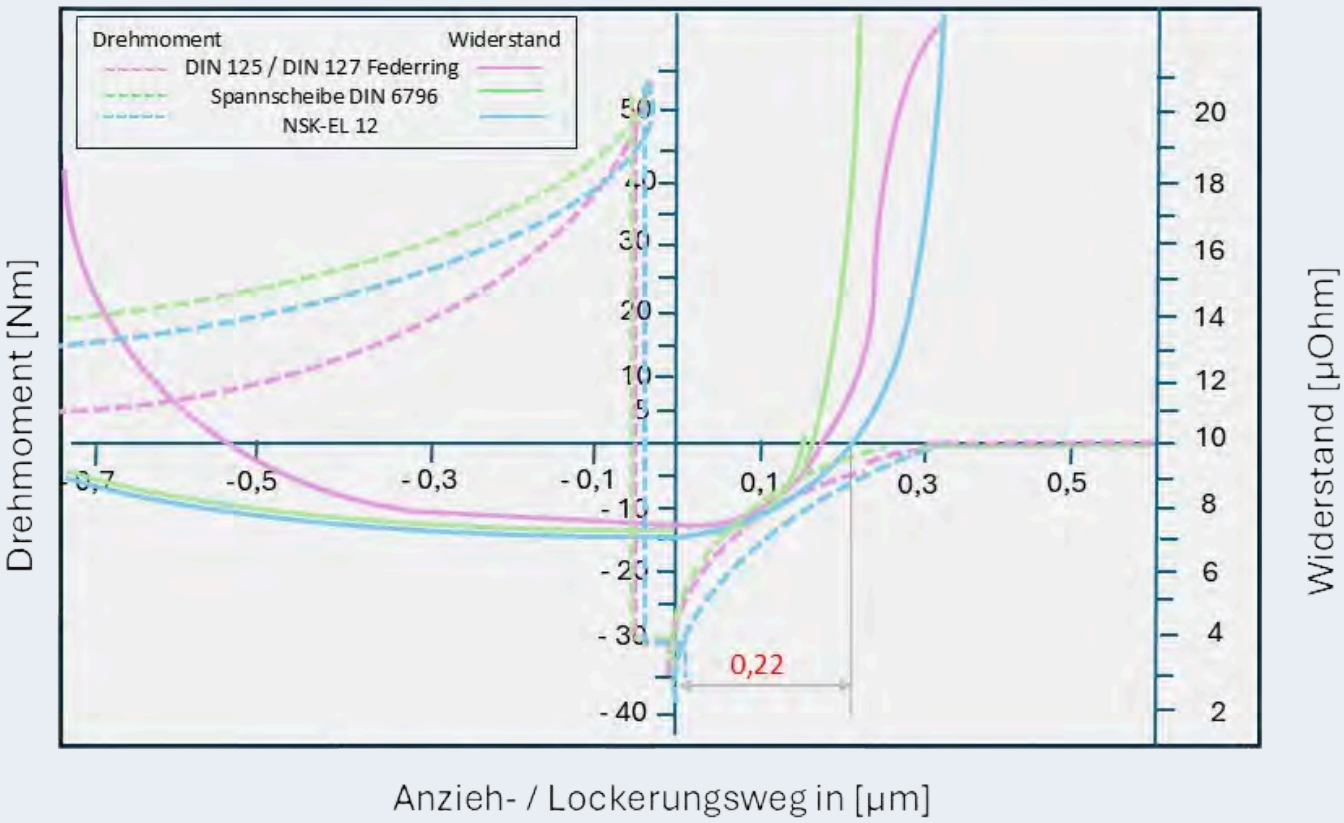
- Ermittlung MER-Wert

Der **MER** ist ein definierter Messwert.

Beispiel:

- Zwei Kupferscheinen 40 x 10 mm
- M12-Schraubenverbindung in A4-NIRO
- Festlegung max. Übergangswiderstand = 10µΩ

Verbindung	MER-Betrag bei 10 µΩ (mm)
Federring DIN 127 / U-Scheibe DIN 125	0,15
Spannscheibe DIN 6796 / U-Scheibe DIN 9021	0,18
NSK-EL	0,22



teckentrup SLI

Vorteile der MER-Methode

Unabhängigkeit von Materialkennwerten
Die Methode misst das reale Verhalten – unabhängig von theoretischen Materialdaten.

Universell einsetzbar
Ob Cu, Al, verzinnt, versilbert, geschliffen oder oxidiert – die Methode bewertet jede Kombination vergleichbar.

Verbindung von Theorie und Praxis
Simulationen können endlich durch reale Versuchsdaten kalibriert werden.

Realbedingungen messbar
MER ermöglicht Untersuchungen zu Temperaturzyklen, Alterung, Vibration, Montagefehlern und Kontaktdegradation.

Reproduzierbar, robust, praxisnah
Die Methode ist ideal für Entwicklung, Qualitätssicherung, Auditierung und langfristige Zuverlässigkeitsbewertung.

Resilienz als neue Sicherheitsgröße

Auf Basis der **MER-Daten** wurde mit S_{ER} **(Safety Electrical Resilience)** eine neue Kenngröße entwickelt:

$$S_{ER} = \frac{\text{MER-Betrag [µm]}}{\text{fz Setzbetrag [µm]}}$$

S_{ER} macht die Fähigkeit einer elektrischen Schraubenverbindung messbar, mechanische und elektrische Veränderungen zu kompensieren.

Kernaussagen:
- Ganzheitliche Kenngröße für mechanisch-elektrische Stabilität
- Vergleichbar über unterschiedliche Kontaktgeometrien
- Potenzial für zukünftige Normierung **(VDI, VDE, DKE, DIN)**
- Erstmals quantitative Bewertung der Betriebssicherheit möglich

Fazit

- Die Zukunft elektrischer Verbindungen ist messbar

Die **MER-Methode** schafft Transparenz bei zeitabhängigen elektro-mechanischen-thermischen Zusammenhänge und schließt dort die Lücke. Sie verbindet mechanische und elektrische Messtechnik zu einem einzigen, **aussagekräftigen Resilienzkennwert** – praxisnah, reproduzierbar und unabhängig von Materialdaten und anderen Variablen.

Damit wird deutlich:
Die **MER-Methode** ist nicht nur ein Prüfverfahren – sie kann ein neue Vergleichsgröße für die Auslegung, Validierung und Bewertung elektrischer Kontaktverschraubungen sein.
MER– Mechanical-Electrical Resilience by teckentrup SLI:
Die Brücke zwischen Berechnung, Simulation und Realität.

Kontakt und Download

Dieses Whitepaper ist Teil der Forschungsarbeit von teckentrup SLI – Screw Locking Innovations

Themenfelder:
- Nachgiebigkeitsberechnung nach **VDI 2230**
- **FV 4 Phasenmodell**
- Mechanisch-elektrische Resilienzbewertung **(MER-Methode)**

Mehr Erfahren? Einfach den QR-Code scannen!

teckentrup SLI
info@teckentrup-sli.de
www.teckentrup-sli.de
+49 (0)2391 / 9993930