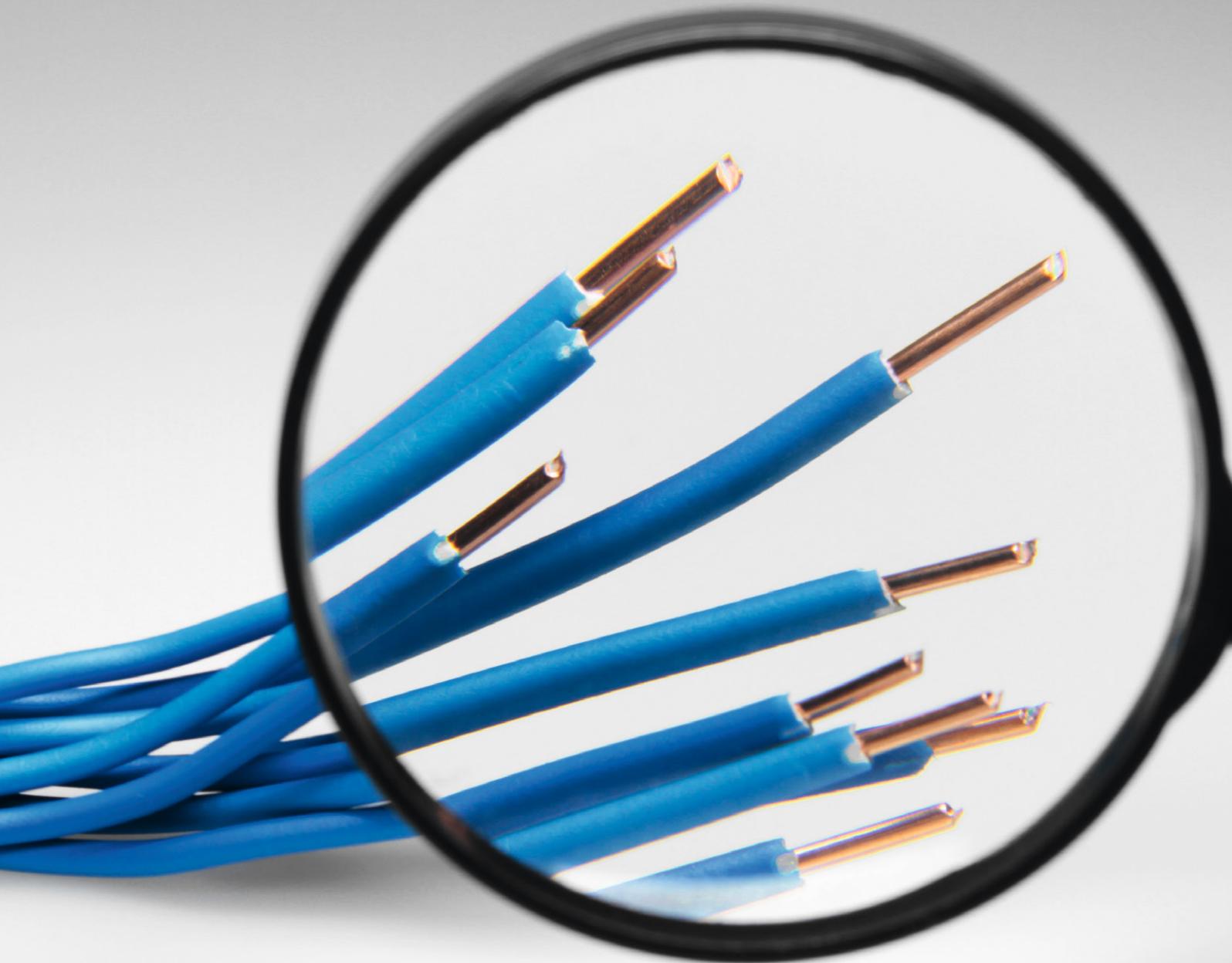




# Federklemmtechnik für

Langlebig, hochwertig und zeitsparend

Für die lösbare Verbindung elektrischer Leiter hat sich die Schraubklemmtechnik bis heute etabliert. Die Vorteile von Federklemmkontakten sind aber derart offensichtlich, dass sie sich zunehmend in der Praxis durchsetzen.





# elektrische Verbindungen

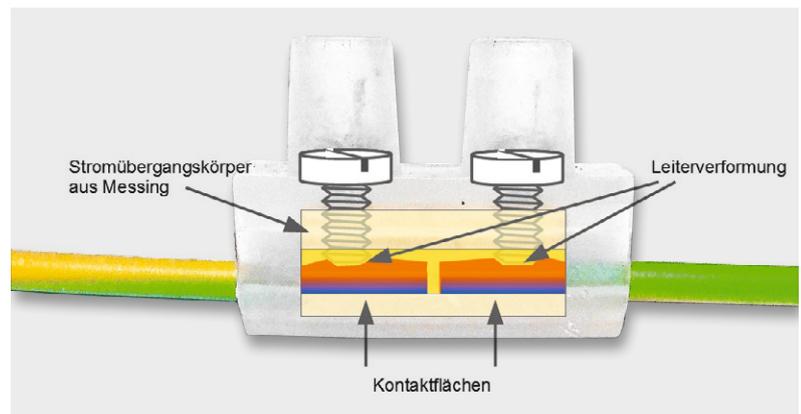
Mit freundlicher Unterstützung der Firma WAGO Kontakttechnik GmbH & Co. KG, Hansastraße 27, 32423 Minden/Germany, [www.wago.com](http://www.wago.com)

Wer hat noch nicht erlebt, dass der Schutzkontaktstecker an einem elektrisch stark belasteten Geräteanschlusskabel bis zum Verschmoren heiß wurde. Der Grund liegt stets in einem erhöhten Übergangskontaktwiderstand, an dem der Strom durch das Kabel gemäß dem ohmschen Gesetz Leistung abfallen lässt.

An einer klassischen Schraubklemmverbindung, wie sie die Lüsterklemme darstellt, lassen sich die grundlegenden Verhältnisse an der elektrischen Schraubklemmvorrichtung exemplarisch studieren (Bild 1). In einem Stromübergangskörper aus Messing oder einem ähnlich gut leitenden Metall werden die zu verbindenden Drähte – meist aus Kupfer – von beiden Seiten eingesteckt und mittels zweier Schrauben auf die Kontaktflächen gepresst. Hier sollte sich ein möglichst flächiger, gut leitender Kontakt ergeben.

Problematisch ist die Verformung des Kupferdrahts durch die anpressenden Schrauben. Die möglichen Anpresskräfte sind durch die Plastizität des Kupfers (die Unfähigkeit, eine andauernde Gegenkraft zu entwickeln) begrenzt. Zieht man die Schrauben zu stark

an, kommt es zu einem „Kaltfluss“ des Kupferdrahts. Darunter versteht man eine geringe plastische Verformung des Leiters durch den Schraubendruck auf die Kontaktstelle. Dadurch lässt der Kontaktdruck allmählich nach, der Übergangswiderstand nimmt zu und die Kontaktstelle erwärmt sich unzulässig. Ohne Gegenmaßnahmen sind dadurch Ausfälle durch Isolationsfehler oder Kurzschlüsse vorgezeichnet und das Risiko eines Schmorbrandes steigt. Dieser Vorgang beschleunigt sich, wenn sich die Schraubklemmverbindung durch starken und wechselnden Stromfluss immer wieder erwärmt bzw. abkühlt oder Vibrationen ausgesetzt ist. Das wünschenswerte Nachziehen der Klemmverbindung in regelmäßigen zeitlichen Abständen wird in der Praxis oft unterlassen und damit das Ausfallrisiko der elektrischen Verbindung gesteigert.



*Bild 1: In der klassischen Lüsterklemme wird ein Leiter durch Quetschung an der Klemmstelle durch Anziehen der Klemmschraube mehr oder weniger stark verformt. Ein langfristiges Fließen des Leitermaterials, meist Kupfer, verringert den Kontaktdruck und verschlechtert die Verbindungseigenschaften.*

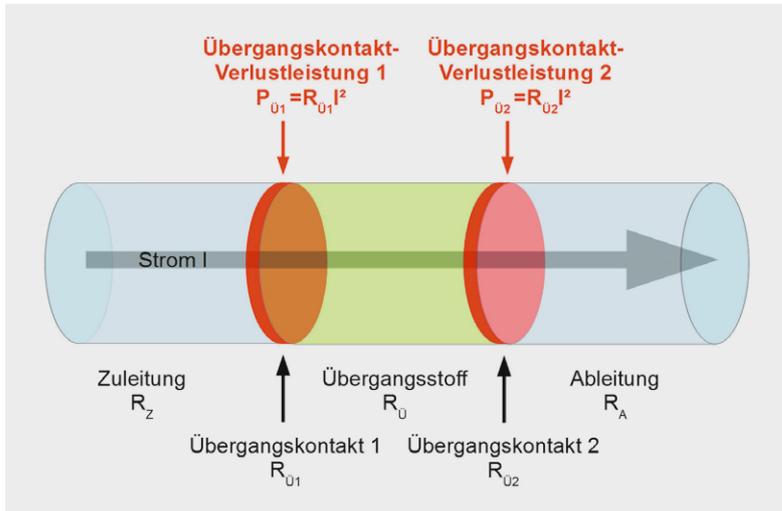


Bild 2: Mit guten langzeitstabilen, niedrigen Übergangswiderständen steht und fällt die Verbindungsqualität. Bei Schraubklemmverbindungen erfordert dies ein gelegentliches Nachziehen der Klemmschrauben. Andernfalls erhitzt sich die Klemme bei starken Strömen und kann einen Schmorbrand auslösen.

gert. Aggressive Atmosphären unterstützen durch zusätzlich auftretende Korrosionserscheinungen zwischen den an der Klemmverbindung beteiligten Metallen den zeitlichen Abbau der Kontaktqualität.

An einer abstrahierten Darstellung der Kontaktverhältnisse kann man die Vorgänge weiter studieren (Bild 2). Fasst man die Übergangswiderstände zwischen Zu- und Ableitung der Klemmverbindung an Schrauben und Anpressflächen zusammen, ergeben sich zwei Übergangskontaktwiderstände  $R_{\bar{u}}$ , an denen der durchfließende Strom  $I$  entsprechende Verlustleistungen erzeugt.

$$P_{\bar{u}} = R_{\bar{u}} \cdot I^2$$

Thermische Leistung, die an einem Übergangswiderstand entsteht

Diese Verlustleistung tritt zweimal auf, so dass bei einem Strom von 1 A und einem angenommenen Übergangskontaktwiderstand von 1  $\Omega$  eine thermische Leistung von 2 W die Temperatur des Stromübergangskörpers anhebt. Bei 5 A beträgt die erhitzende Leistung bereits 50 W, was schon zum Schmelzen der Kunststoffummantelung der Klemme genügen dürfte. Der Spannungsfall an den Übergangskontakten von 10 V genügt oftmals nicht, um am Verbraucher Fehlfunktionen oder Leistungsminde-rungen hervorzurufen, die vor dem Problem warnen würden.

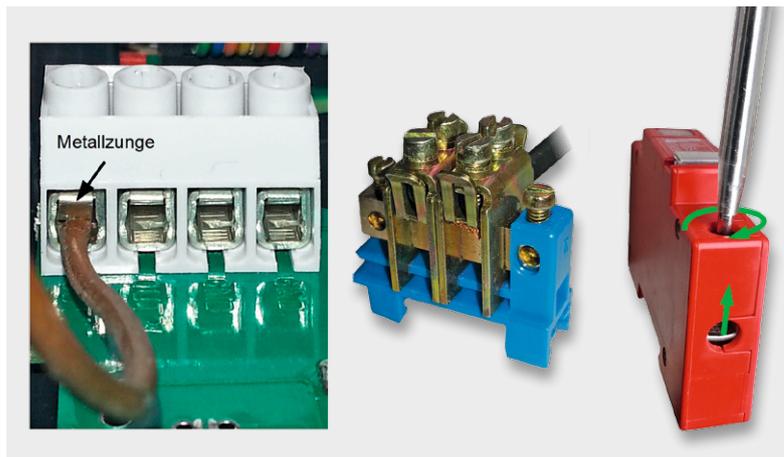


Bild 4: Drei Schraubklemmentypen: links mit Metallzunge zur Druckverteilung, Mitte mit Anpressbügel für hohe Ströme, rechts mit Fahrstuhlklammer

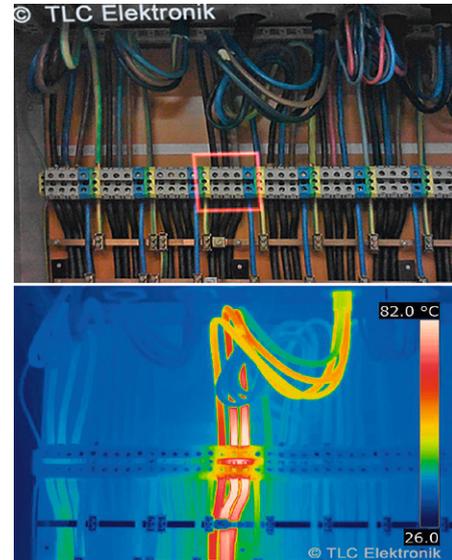


Bild 3: Mit thermografischen Aufnahmen werden die Temperaturverhältnisse durch Falschfarben sichtbar gemacht.

Ein ausgezeichnetes Mittel, um degradierte Schraubklemmverbindungen aufzuspüren, ist die Thermografie. Sie ist ein bildgebendes Verfahren zur Anzeige der Oberflächentemperatur von Objekten. Dabei wird die Intensität der Wärmestrahlung, die von einem Punkt ausgeht, als Maß für dessen Temperatur interpretiert. Dazu setzt die Thermografiekamera die für das menschliche Auge unsichtbare Wärmestrahlung (Infrarot) in sichtbare Strahlung (Falschfarben) um und ordnet den Falschfarben entsprechende Temperaturen zu.

Bild 3 zeigt unten die thermografische Aufnahme einer durch Stromfluss überhitzten Kabelverbindung in einem Schaltschrank: Bis zu 85  $^{\circ}\text{C}$  heiß sind die Leitungen im Bereich des Schraubklemmenblocks (rot markiert im Normalfoto oben), während sich die stark belasteten Leitungen selbst in ihrem weiteren Verlauf lediglich auf etwa 50  $^{\circ}\text{C}$  erwärmen.

Die geschilderten Probleme treten bei litzenförmigen Leitern verstärkt auf. Als Gegenmaßnahme kann man in den Stromübergangskörper eine Metallzunge einlegen, welche die von den Klemmschrauben erzeugten Anpresskräfte flächiger in die Kupferdrähte einleitet (Bild 4 links und Mitte). Wird der anpressende bewegliche Kontaktbügel („Fahrstuhl“) mit dem Drehen der Klemmschraube angehoben (Bild 4 rechts), spricht man von einer Fahrstuhlklammer. Der in Bild 4 gezeigte Klemmentyp ist für Massiv- und Litzendrähte geeignet. Die Verwendung von Aderendhülsen, wie nachfolgend beschrieben, ist nicht statthaft.

Auch der Einsatz von Aderendhülsen (Bild 5) verringert den Fließeffekt im Kupfer und erlaubt ein kräftigeres Anziehen der Klemmschraube, ohne dadurch einzelne Litzendrähte abzuscheren, wodurch die langfristige Verbindungsqualität verbessert wird. Deshalb sind Aderendhülsen für Leiter, die aus vielen Einzeldrähten bestehen (Litzen), vorgeschrieben [1]. Die Aderendhülsen sind exakt zum Leiterquerschnitt auszuwählen und mit einem dafür vorgesehenen Crimpwerkzeug abzugfest auf die abisolierten Litzen-



drähte zu pressen. Die einzelnen Arbeitsschritte, beginnend mit dem Abisoliervorgang auf richtige Länge und ohne Beschädigung der Litzen und der verbleibenden Isolierung, dem Aufschieben einer geeigneten Aderendhülse sowie dem Verpressen mit dem Crimpwerkzeug, erfordern handwerkliche Sorgfalt [1].

Das Verzinnen der Litzen vor dem Einführen in die Schraubklemmverbindung ist wegen des geschilderten langfristigen Fließvorgangs von Lötzinn und Kupfer an der Klemmstelle nicht mehr erlaubt, obwohl es noch häufig praktiziert wird [2]. Zur Lockerung der Verbindung kommt noch eine regelmäßige Verschlechterung der Kontakteigenschaften durch Oxidation des Zinns hinzu. Dies kann einen Störlichtbogen als Auslöser eines Brandschadens zur Folge haben.

Der Hauptnachteil einer elektrischen Schraubklemmverbindung liegt zweifellos in der plastischen Nachgiebigkeit des Kupferleiters. Sie hat eine irreversible Leiterquerschnittsverengung an der Wirkungsstelle des Klemmdrucks und dessen Abnahme zur Folge. Beides wirkt erhöhend auf den Verbindungswiderstand und lässt die darin freigesetzte thermische Verlustenergie ansteigen. Zwar kann man durch das gelegentliche Nachziehen der Klemmschrauben den Kontaktdruck wieder erhöhen, was aber in der Praxis oft unterbleibt. Es müsste also ein definierter Kontaktdruck vorliegen, der die mangelnde Elastizität des Kupferleiters kompensiert. Dazu ist nur eine mechanische Feder in der Lage.

**Federdruck.** In der Technik versteht man unter einer Feder ein Bauteil, das unter Belastung nachgibt und nach seiner Entlastung seine ursprüngliche Gestalt wieder annimmt. Diese Rückstelleigenschaft wird als Elastizität bezeichnet. Federn gibt es in einer riesigen Formen- und Materialvielfalt. Eine grundsätzliche Unterscheidungsmöglichkeit bietet der Einsatzzweck als Zug- oder Druckfeder.

Bei einer Schraubenfeder (Bild 6) bewirkt eine axiale Krafteinleitung (Federkraft) eine proportionale Längenänderung  $\Delta L$  gemäß dem Hooke'schen Gesetz.

$$F_1 = D(L_1 - L_0) = D \cdot \Delta L$$

mit

$F_1$ : Federkraft in Newton (N)

$L_0$ : Länge der unbelasteten Feder in mm

$L_1$ : Länge der belasteten Feder

$\Delta L$ : von der Federkraft hervorgerufene Längenänderung in mm

$D$ : Federkonstante in  $\frac{N}{mm}$

Anmerkung: Das Hooke'sche Gesetz gilt nur bis zur Elastizitätsgrenze. Danach ist der Zusammenhang zwischen Auslenkung und Kraft nicht mehr linear proportional und die Feder kehrt nicht mehr vollständig in ihre Ausgangslage zurück. Es verbleibt eine plastische Verformung.

Ist die Feder bereits in ihrer Ausgangslage durch eine Kraft  $F_0$  auf die Länge  $L_0$  verkürzt, bezeichnet man sie als vorgespannt. Die weitere Verkürzung um  $\Delta L$  wird durch den Kraftzuwachs  $\Delta F = F_1 - F_0$  bewirkt. Die Proportionalitätskonstante  $D$  wird auch als Federkonstante oder Federhärte bezeichnet. Sie hängt von den physikalischen Eigenschaften des federnden Mediums und seinen geometrischen Abmessungen ab.

$$D = \frac{G \cdot d_0^4}{8 \cdot d_f^3 \cdot n} \quad \text{Federkonstante in } \frac{N}{mm} \text{ (Newton pro Millimeter)}$$

mit

$G$ : Schubmodul in  $\frac{N}{mm^2}$

(für Federstahl laut DIN EN 13906-1:2002 ist  $G = 81.500 \frac{N}{mm^2}$ )

$d_0$ : Drahtdurchmesser in mm

$d_f$ : mittlerer Federdurchmesser in mm

$n$ : Anzahl der federnden Windungen



Bild 5: Für das Aufpressen von Aderendhülsen benötigt man eine passende Zange, um einen abzugfesten Sitz der gepressten Hülse zu garantieren.

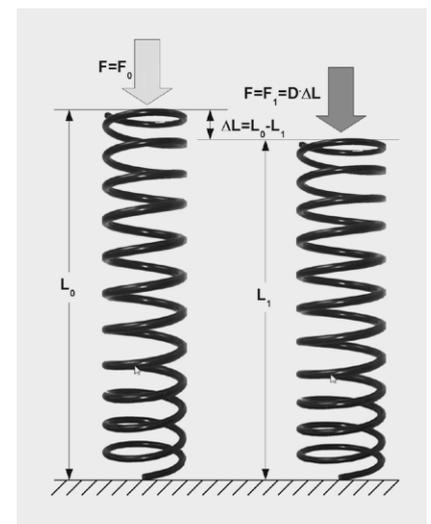


Bild 6: Eine Feder verkürzt sich im elastischen Bereich proportional zur auf sie einwirkenden Kraft.

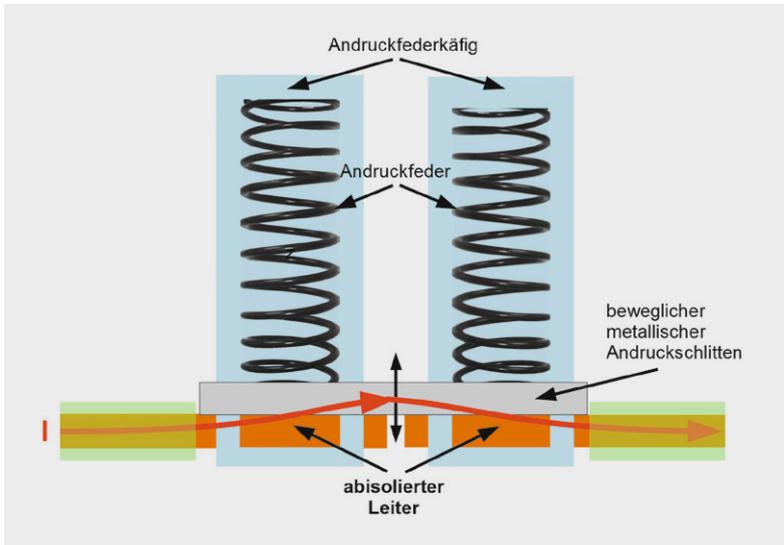


Bild 7: Funktionsprinzip einer Schraubenfederklemme

**Federklemmen.** Bild 7 zeigt das Prinzip einer Federklemme, bei der Schraubenfedern einen beweglichen metallischen Verbindungsschlitten auf die absolierten Leiterenden drücken und dieser den Strom von einem Leiterende zum anderen transportiert. Die Vorteile gegenüber einer Schraubklemmverbindung liegt in dem stets angemessenen Kontaktdruck, der das Fließen der Kupferleiter (Kaltfluss) minimiert. Ein verbleibendes Setzen, durch welche Einflüsse auch immer hervorgerufen (Vibrationen, Erhitzen ...), wird durch das Nachrücken des Verbindungsschlittens unter dem Federdruck kompensiert. Der Kontaktdruck bleibt also erhalten.

Mit dem Aufkommen moderner Chrom-Nickel-Federstähle ließen sich „Käfigzugfedern“ herstellen, die ohne zusätzliche Federelemente den Anforderungen gerecht werden und konstruktiv sehr kompakte Anordnungen aneinander gereihter Klemmen möglich machen. Den Durchbruch für diesen als CAGE CLAMP® bezeichneten Klemmentyp (Bild 8) für ein-, mehr- und feindrähtige Kupferleiter (Patent-Nr. 270 6482) erzielte die Firma WAGO Kontakttechnik GmbH & Co. KG aus dem westfälischen Minden auf der Hannover Messe 1977. Die Vorstellung ihres Reihenklemprogramms mit Käfigzugfedern kann als die Geburtsstunde eines weltweit neuen Industriestandards in der elektrischen Anschluss- und Verbindungstechnik bezeichnet werden.

Aber auch ein jahrzehntelang in Hunderten von Millionen Stückzahlen bewährtes Prinzip wie der Käfigzugfederanschluss des CAGE-CLAMP®-Klemmentyps lässt sich im Hinblick auf Kompaktheit und Vielseitigkeit verbessern. Etwa durch den 1996 auf den Markt gekommenen Anschluss CAGE CLAMP® Compact, eine platzsparende Variante des Originals als Grundlage für besonders kleine Reihenklempen für Leiterquerschnitte bis 4 mm<sup>2</sup> (Bild 9). 2003 folgte dann der Anschluss CAGE CLAMP® S (Bild 10) für alle Kupferleiter, wie es das Original erlaubt, aber mit dem Zusatznutzen des direkten Steckens absolierter eindrätiger Leiter und feindrätiger Leiter mit Aderendhülse.

**Vorteile der Federklemmtechnik.** Heute gibt es eine riesige Vielfalt an Klemmenprodukten für einen Querschnittsbereich der zu verbindenden Leiter von 0,08 mm<sup>2</sup> bis 95 mm<sup>2</sup>, die auf der Käfigfeder (WAGO CAGE CLAMP®) beruhen. Sie haben sich durch alle wichtigen Zulassungen als weltweiter Industriestandard durchgesetzt.

Die Vorteile im Einzelnen:

- **Zeit- und kostensparend durch schnelle Montage und Wartungsfreiheit.** Durch die deutlich verkürzte Verdrahtungszeiten spart die CAGE-CLAMP®-Technologie Lohnkosten. Dies ist möglich, weil die Leiter keine Vorbehandlung erfordern, d. h. ohne Aufcrimpen von Aderendhülsen oder Stiftkabelschuhen (Materialeinsparung!) genutzt

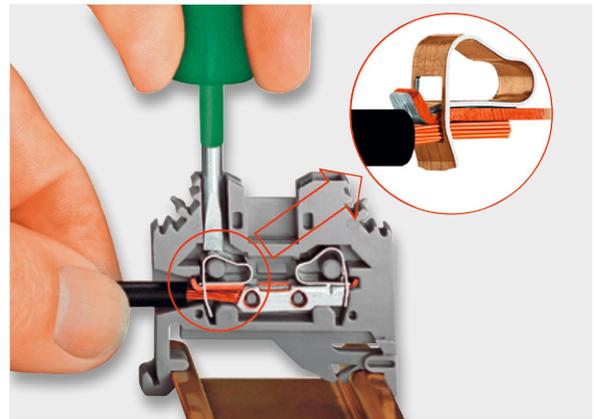


Bild 8: Durch den Druck auf die Käfigfeder mit einem Betätigungswerkzeug lässt sich der Leiter kraftfrei in die Verbindungsklemme einführen.

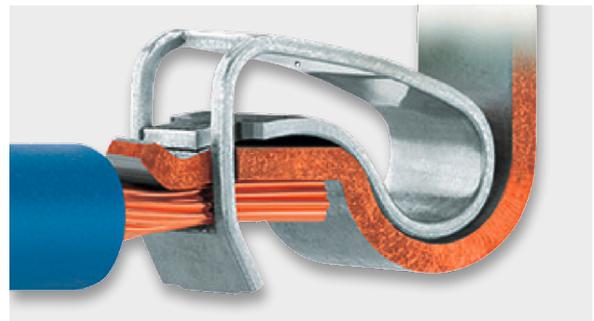


Bild 9: Die Stromschiene (kupferfarben) leitet den Strom weiter.

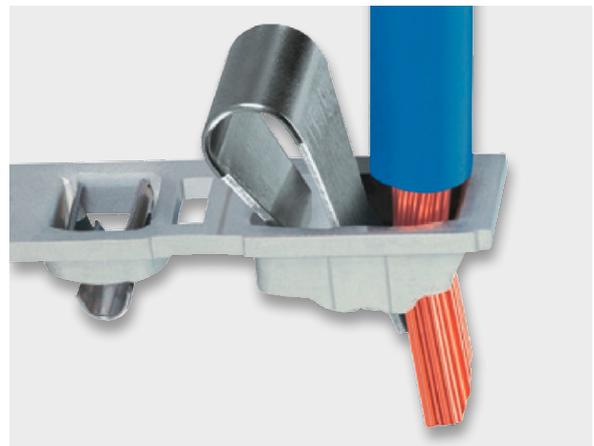


Bild 10: CAGE CLAMP S ist eine kompakte Variante der Käfigklemme, welche alle Leiterarten zuverlässig klemmt. Starre Leiter können sogar direkt gesteckt werden – das spart Zeit.

werden können. MTM-Analysen haben ergeben, dass bei der Verdrahtung von 1000 Klemmstellen die Zeitersparnis der klassischen CAGE CLAMP im Vergleich zu Klemmen mit Schraubanschluss mit Aderendhülse bei über 2 Stunden liegt. Das bedeutet 80 % Zeitersparnis für den Installateur. Die Frontverdrahtung bietet dafür ideale Voraussetzungen. In Werksnormen namhafter Anwender wird ausdrücklich darauf hingewiesen. Die schnellere Inbetriebnahme und der Wegfall von Wartungsaufwand führen zu weiteren Kosteneinsparungen.

- Platzsparend
- Universelle Einsetzbarkeit
- Sichere, eindeutige Handhabung
- Beschädigungsfreie Leiterklemmung durch querschnittsgerechte Klemmkraft



- **Rüttelsicher.** Die bestandene Rüttelprüfung gemäß IEC/EN 60068-2-6 hat die Rüttelsicherheit von CAGE-CLAMP®-Verbindungen belegt. Dabei wurde in drei Achsen ein Frequenzband bis 2000 Hz bei unterschiedlichen Beschleunigungen bis 20g (g: Erdbeschleunigung = 9,81 m/s<sup>2</sup>) und unterschiedlichen Amplituden bis 20 mm gleitend durchlaufen. Der bewegliche Anteil des Klemmfederkontakts in **Bild 11** wird naturgemäß von den Vibrationen am stärksten beansprucht und muss so ausgelegt sein, dass es nicht zu einem Bruch kommt.

Besonders hohe Anforderungen stellen die Prüfverfahren der Bahn für elektrische Anlagen in Fahrzeugen des schienengebundenen Verkehrs (IEC/EN 61373) oder die Prüfstellen für Schiffszulassungen, wie z. B. Germanischer Lloyd (GL), Lloyd's Register (LR) und Det Norske Veritas (DNV). Auch diese Prüfungen wurden bestanden.

- **Schocksicher.** Bei der Schockprüfung nach IEC/EN 60068-2-27 oder für Bahnanwendungen nach IEC/EN 61373 werden die Prüflinge anstelle permanenter Vibrationen einzelnen, schockartigen Belastungen ausgesetzt. Belastungen bis 100g in den drei Raumrichtungen x-y-z wurden ohne Beanstandungen hingenommen.
- **Wartungsfreiheit.** Sie resultiert aus der guten Langzeitkonstanz der elektrischen und mechanischen Eigenschaften der Klemmverbindung – genauer gesagt: der Klemmstelle. Dabei dient die Spannungsfallprüfung zur Beurteilung der Güte einer Klemmstelle unter Beanspruchungen wie Vibrationen, Temperaturwechsel und korrosiven Einflüssen, um die Gasdichtigkeit der Kontaktstelle nachzuweisen. Sowohl bei labortechnischen Untersuchungen internationaler Zulassungsstellen als auch im weltweiten Praxiseinsatz hat die CAGE-CLAMP®-Technologie ihre Langzeitkonstanz unter Beweis gestellt. Die daraus resultierende Wartungsfreiheit reduziert den kostenintensiven Serviceaufwand und steigert damit Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit und letztendlich die Rentabilität von Anlagen und Geräten. Eine ganz wesentliche Voraussetzung für eine hervorragende, dauerhafte Kontaktqualität ist die Vermeidung von Oxidationen durch gasdichte Klemmflächen. Dazu wird der angeschlossene Leiter von der Klemmfeder aus säure- und seewasserbeständigem CrNi-Federstahl in der definierten Kontaktzone gegen die Stromschiene (Elektrolyt-Kupfer mit bleifreier Reinzinn-Oberflächenbeschichtung) gepresst. Dabei wird der Leiter mit hohem, spezifischem Kontaktdruck in die weiche Reinzinnschicht eingebettet und somit unempfindlich gegen korrosive Unterwanderung.

Der Kontaktdruck PK berechnet sich als Quotient aus Anpresskraft FK und Kontaktfläche AK. Er liegt bei CAGE-CLAMP®-Verbindungen in der gleichen Größenordnung wie bei Schraubklemmen und garantiert eine gasdichte und deshalb oxidationsfreie Kontaktfläche im Kraftereinleitungsbereich der Käfigzugfeder (**Pfeilspitzen in Bild 12**).

$$P_K = \frac{F_K}{A_K} \quad \text{Kontaktdruck in } \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

mit

F<sub>K</sub>: Federkraft in Newton [N]

A<sub>K</sub>: Andruckfläche (Kontaktfläche) in mm<sup>2</sup>

**Langzeitverhalten des Kontaktfederdrucks.** Die langfristige Konstanz eines unter Federdruck stehenden Kontakts hängt von der Haltbarkeit der Feder ab. Sie kann als haltbar bezeichnet werden, wenn sie auch über längere Zeiträume nicht an Kraft verliert, sich unter der Belastung mit einer konstanten oder oszillierenden Kraft nicht allmählich verformt oder gar bricht, wodurch ihre Funktion vollständig aufgehoben wäre. Dazu darf die innere mechanische Spannung im Federmaterial die zulässige Stärke des Werkstoffes nicht überschreiten, womit ein elastisches Federverhalten vorliegt. Ist dies gegeben, kehrt die Feder nach der Entlastung zur früheren Gestalt (Form) zurück. Verbleibt

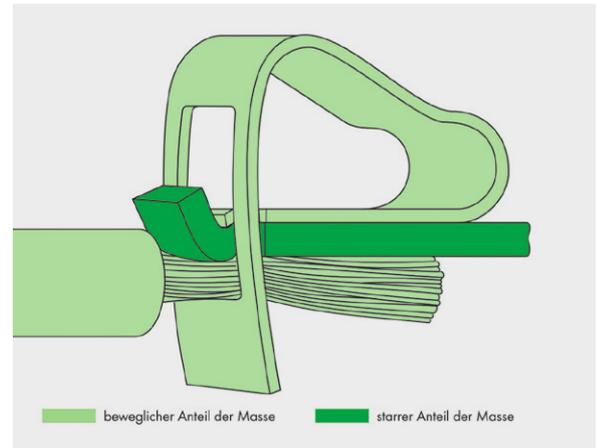


Bild 11: Vibrationsermüdungsbrüche lassen sich durch Sorgfalt bei der Konstruktion vermeiden.

eine irreversible Verformung, wurde die Feder über den elastischen Bereich hinaus bis in die plastische Zone hinein belastet. Der Spannungswert, bei dem das Metall beginnt, sich plastisch durchzubiegen, ist die Streckgrenze des Werkstoffes. Die ultimative Zug- oder Druckfestigkeit kennzeichnet die Spannung, bei welcher das Metall bricht.

Zwei weitere Eigenschaften des Federwerkstoffes werden als Kriechen/Entspannung und Ermüdung bezeichnet. Kriechen bezeichnet eine sehr langsame plastische Verformung, die bei konstanter Spannung unterhalb der Streckgrenze des Werkstoffes stattfindet. Entspannung (Relaxation) hingegen ist der Verlust an Federkraft bei konstanter Verformung (**Bild 13**). Beide Phänomene treten im elastischen Bereich der Feder auf und werden beim Annähern an die Streckgrenze, mit steigender Temperatur und zunehmender Belastungsdauer intensiver.

Von dynamischer Natur ist das Phänomen der Materialermüdung, die bei pulsierender Federbelastung ebenfalls im linearen Bereich auftritt. Dabei entstehen Mikroermüdungsrisse, die mit jedem Lastimpuls zunehmen. Wenn die Spannung im verbleibenden Werkstoff die ultimative Streckgrenze erreicht, bricht die Feder. Das Ermüdungsrisiko hängt unter anderem sehr von dem Spannungsnennwert in der Feder, der Amplitude der Pulsierung und der ultimativen Streckgrenze des Werkstoffes ab [3].

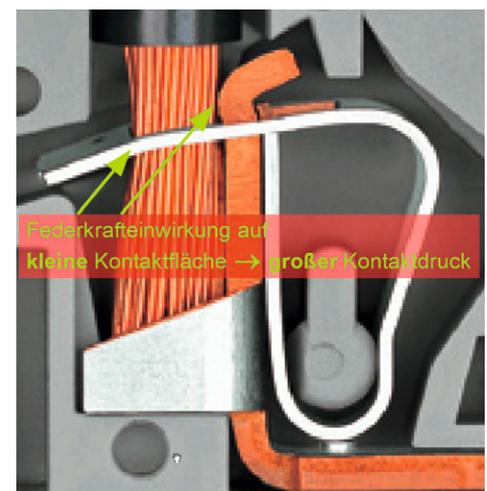


Bild 12: Hohe Anpressdrücke im Bereich der kleinen Anpressflächen erzeugen gasdichte Kontakte.

Bei Kontaktfedern, die im Laufe ihres Lebens nur wenige Male verformt werden, spielt die dynamische Materialermüdung kaum eine Rolle, wohl aber die statische Relaxation, die sich durch entsprechende Wärmebehandlung der fertigen Feder minimieren lässt. Dann ist auch nach vielen Jahren der Federkraftschwund vernachlässigbar klein.

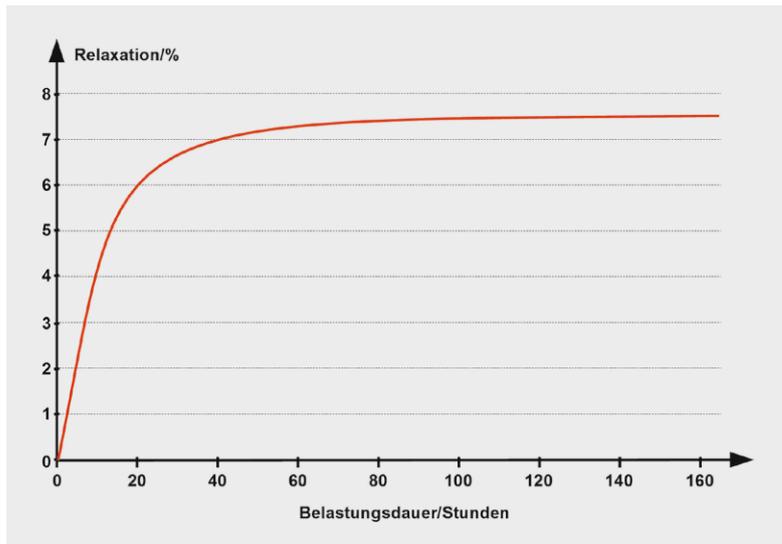


Bild 13: Nach einer gewissen Zeit unter Last verliert die Feder praktisch keine Kraft mehr.



Bild 14: Ein Leiter pro Klemmstelle sichert die optimale Kontaktqualität.

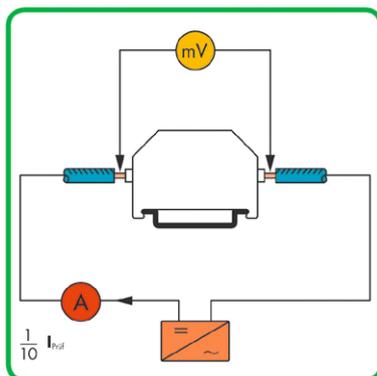
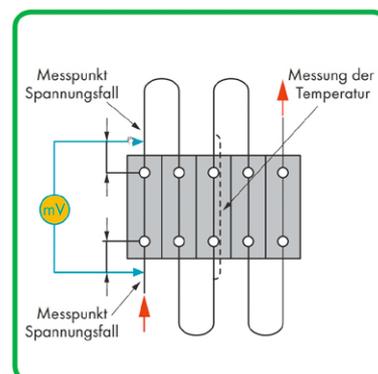


Bild 16: Die Kontaktenerwärmung ist ein Maß für die Belastbarkeit der Klemme.

Bild 15: Je besser (niederohmiger) der Kontaktwiderstand, umso geringer der Spannungsfall.



**Ein Leiter pro Klemmstelle.** In einer Reihe von VDE-Bestimmungen wird vorgeschrieben bzw. empfohlen, nur einen Leiter pro Klemmstelle anzuschließen, soz. B. in DIN VDE 0611, Teil 4, 02.91, Abschnitt 3.1.9. Dies ist bei der gezeigten Verbindungstechnik durch Reihenfederklemmen automatisch gegeben (Bild 14).

Die technischen und wirtschaftlichen Vorteile im Einzelnen:

- Jeder Leiter wird unabhängig von anderen ohne Werkzeug geklemmt.
- Jede beliebige Leiterquerschnittskombination je Potential ist möglich.
- Bei Umverdrahtungen wird nur der zu lösende Leiter aus der Klemmstelle entfernt, alle anderen Leiter bleiben sicher geklemmt.
- Der Leiter wird in der definierten Kontaktzone beschädigungsfrei gegen die Stromschiene gedrückt.
- Die Klemmkraft passt sich automatisch dem Leiterquerschnitt an.
- Eventuelle Leiterverformungen werden ausgeglichen, ein Selbstlockern sicher verhindert.

**Beurteilung der Kontaktqualität einer Federklemme.** Mit zwei Prüfmethode kann die Qualität einer Klemmstelle am besten beurteilt werden, mit der Spannungsfallmessung und der Erwärmungsprüfung.

Die Spannungsfallmessung dient zur Beurteilung der Qualität der eigentlichen Klemmstelle unter Beanspruchungen wie Erschütterung, Temperaturwechsel und Industrieatmosphären. Dazu wird ein definierter Strom über die Klemmverbindung geleitet und der Spannungsfall zwischen dem Eingang der einen Klemmstelle und dem Ausgang der anderen gemessen (Bild 15). Je geringer dieser ist, umso hochwertiger, weil niederohmiger ist der Übergangswiderstand. Das wirkt sich natürlich positiv auf die an ihm freigesetzten Verlustleistungen aus. Verursacht z. B. ein Messstrom von 1 A einen Spannungsfall von 1 mV an einem Klemmverbindungswiderstand, muss dieser gemäß dem ohmschen Gesetz einen Widerstand von  $1 \text{ mV}/1 \text{ A} = 1 \text{ m}\Omega$  haben. Die dabei frei werdende Verlustleistung von 1 mW ist in ihren Auswirkungen auf den Klemmverbindungswiderstand infolge Temperaturerhöhung vernachlässigbar.

Bei der Erwärmungsprüfung wird die Klemmstelle unter Einschluss des Isolierstoffgehäuses bei Nennstrom, bei Überstrom und für den Kurzschlussfall untersucht. Bild 16 zeigt den Prüfaufbau, der aus einem Block von 5 in Reihe geschalteten Klemmverbindungen besteht. Der Prüfstrom muss hoch genug sein, um eine signifikante Erwärmung der Klemmen hervorzurufen, die natürlich bei der mittleren Klemme besonders ausgeprägt ist, weshalb hier die Temperaturmessung erfolgt.

Einen Beweis für die Qualität einer Kontaktfederklemme liefert Bild 17. Er ist insofern etwas praxisfern, weil Sicherungen im Stromkreis die gezeigte Erwärmung des Leiters verhindern würden. Dennoch wird eindrucksvoll belegt, wie eine CAGE-CLAMP®-Reihenklemme ( $4 \text{ mm}^2$ ) selbst dann unbeschädigt bleibt, wenn bei einer Steigerung des Stroms ohne zeitliches Limit die Anschlussdrähte bereits glühen.



**Federklemmen für die Elektroinstallation.** Für den schnellen Anschluss von eindrächtigen Leitern in Verbindungsdosen (Abzweigdosen) sind auf der PUSH-WIRE®-Technik beruhende Klemmen optimiert. Zum Anschließen des Leiters wird seine Knicksteifigkeit genutzt, um die Kontaktkraft der Klemmfeder durch einfaches Einschleiben des Leiters zu überwinden (PUSH WIRE®). Dies ist die schnellste Art, abisolierte eindrähtige Leiter automatisch sicher zu klemmen. Das Lösen des Leiters erfolgt durch gleichzeitiges Drehen und Ziehen am Leiter. Andere Bauformen von PUSH-WIRE®-Klemmen erlauben das Öffnen der Klemmstelle zum Anschluss von Leitern mit geringer Knicksteifigkeit durch einen Schraubendreher oder einen Betätigungsdrücker, mit dessen Hilfe die Klemmfeder vor Einführen des Leiters geöffnet wird. Umgekehrt kann der angeschlossene Leiter durch Entlasten der Feder problemlos wieder gelöst werden.

Am Beispiel der WAGO-Klemmenserie 273 werden die Vorteile des Ersatzes von Schraubklemmen durch Federkontaktklemmen in der Gebäudeinstallation schnell offensichtlich. Bild 18 zeigt das einfache Vorgehen zum Herstellen und Lösen der Federklemmenverbindung von 0,75-mm<sup>2</sup>- bis 1,5-mm<sup>2</sup>-Kupfer-Massivleitern für einen Nennstrom von 18 A bei einer Nennspannung von 400 V in einer Abzweigdose. Abisolieren und in die Klemme einstecken – fertig. Das spart Zeit, erlaubt eine höhere Verkabelungsdichte und steigert die Übersichtlichkeit.

Die weiterentwickelte Variante 2273 spart Platz, ist für das gemischte Klemmen von Massivleitern im Querschnittsbereich 0,5 mm<sup>2</sup> bis 2,5 mm<sup>2</sup> (Bild 19), kann einen erhöhten Nennstrom von 24 A bei Nennspannung 450 V führen, gestattet die optische Kontrolle der korrekten Leiterposition in der Klemme (Bild 20) und fasst in ihrer Bedruckung die für den Anwender wichtigsten Kennwerte zusammen (Bild 21).

**Lösbarkeit der Verbindung.** Bei den vorstehend beschriebenen Federklemmen lässt sich durch gleichzeitiges Drehen und Ziehen am Leiter dieser wieder lösen. Das beansprucht natürlich Leiter und Klemme und kann deshalb nicht beliebig oft wiederholt werden, ohne dass die Klemmkontaktqualität darunter leidet. Ist eine häufige Umverdrahtung gewünscht, empfiehlt sich eine Klemmentype, die dies durch eine vom Anwender zu öffnende und schließbare (bistabile) Kontaktmechanik erlaubt. Die neueste Entwicklung WAGO Compact 221 (Bild 22) vereint in dieser Hinsicht neben den Vorteilen der Serie 222 eine Reihe weiterer. Als Novum verfügt die Serie 221 über eine kompaktere Bauform, optimierte Hebelkräfte sowie das transparente Gehäuse. Mit dieser neuen Klemmenfamilie ermöglicht WAGO® Elektroinstallateuren eine schnellere, einfachere und sichere Installation unterschiedlichster Leiterarten: ein-, fein- oder mehrdrähtig. Im Vergleich zum Vorgängermodell (Serie 222) benötigt die Verbindungsklemme dank deutlich reduzierter Abmessungen 40 % weniger Platz. Mit einem zulässigen Nennstrom von 32 A und einer Nennspannung von 450 V eignet sich die Serie 221 für den Einsatz in 230-V-/400-V-Netzen (Bild 23).

Das transparente Gehäuse bietet jetzt die Möglichkeit, nicht weit genug eingesteckte sowie nicht in der korrekten Länge abisolierte Leiter eindeutig zu identifizieren. Gleichzeitig sorgen geschlossene Leitungstrichter für eine eindeutige Führung der Leiter zur Klemmstelle. Zwei gut zugängliche Prüföffnungen, eine in Leiteranschlussrichtung sowie

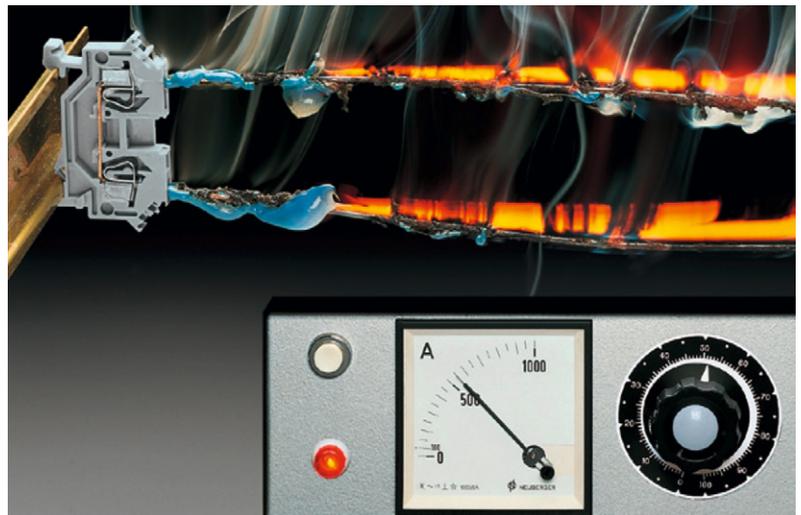


Bild 17: Obwohl der Stromfluss über die Klemme die angeschlossenen Kabel bereits glühen lässt, nimmt die Klemme selbst keinen Schaden.

#### Handhabung Serie 273



##### 1. Abisolieren

Eindrächtigen Leiter  
10 - 13 mm abisolieren.

##### 2. Anschließen

Abisolierten eindrächtigen  
Leiter bis zum Anschlag  
hineinstecken.

##### 3. Lösen

Leiter festhalten,  
Klemme unter Hin-  
und Herdrehen vom  
Leiter ziehen.

Bild 18: So ist die Verklemmung von Leitern einfach und langzeitstabil.



Bild 19: Je nach Durchmesser öffnet der biegesteife Kupferleiter die Federklemme mehr oder weniger und erzeugt damit einen proportionalen Anpressdruck auf die Strombrücke.

eine auf der gegenüberliegenden Seite, schaffen selbst im eingebauten Zustand komfortable Prüfbedingungen. Zudem ist das Öffnen der Betätigungshebel nun mit merklich geringerem Kraftaufwand möglich.

Die Verbindungsklemmen stehen als 2-, 3- und 5-Leiter-Klemmen zur Verfügung (Serie 221) und sind in der Lage, Leiterquerschnitte von 0,14 mm<sup>2</sup> bis 4 mm<sup>2</sup> feindrätig und 0,2 mm<sup>2</sup> bis 4 mm<sup>2</sup> ein- und mehrdrätig ohne Adernendhülse sicher zu klemmen. Damit ergeben sich vielfältigste Einsatzmöglichkeiten – gerade auch dort, wo verschiedene Leiterarten und -querschnitte aufeinander treffen. Typische Anwendungen in der Gebäudetechnik sind das Anschließen von Leuchten, Jalousiemotoren, Tür- und Torsteuerungen. In der Industrie eignet sich die Verbindungsklemme ideal für die Verdrahtung unter anderem von Motoren und Pumpen. Dank der Dauergebrauchstemperatur von 105 °C ist die Serie 221 für Umgebungstemperaturen bis zu 60 °C geeignet und damit auch in Anwendungen wie in Beleuchtungssystemen einsetzbar. Aktuell wird die bisherige Serie 222 wegen ihres langjährig erworbenen guten Rufs beim Installateur immer noch intensiv verwendet. Für die Verdrahtung von Sprechanlagen oder auch Klingeldraht eignet sich vor allem die Serie 243.

Zur Bedienerfreundlichkeit tragen die seitlichen Griffmulden im Gehäuse bei, die es dem Anwender erleichtern, die Klemme während der Installation gut festzuhalten. Die Kontaktierung basiert auf der bewährten CAGE-CLAMP®-Technologie, so dass keinerlei Werkzeuge benötigt werden, um eine dauerhaft sichere Kontaktierung herzustellen. Der klare Aufdruck der technischen Daten auf dem Produkt zeigt dem Installateur alle wichtigen Informationen auf einen Blick und gibt zum Beispiel die erforderliche Abisolierlänge für die Leiter vor. Die Betätigungshebel bieten eine potentielle Beschriftungsfläche.

Für den Anschluss von Leuchten, wo im Allgemeinen Massivleiter der Installation und feindrätige Leiter der Leuchte miteinander verbunden werden, sind die WAGO-Leuchtenklemmen der Serie 224 bestens geeignet. In Bild 24 erkennt man an dem auf der Oberseite der Klemme eingepprägten Bild, auf welcher Seite der Installationsleiter und der Lampenleiter einzuführen sind. Bild 25 zeigt den kompletten Anschluss einer Deckenlampe.

Die Serie umfasst die Leuchtenklemme (für den einfachen Leuchtenanschluss), die 2-Leiter-Leuchtenklemme (für den einfachen Leuchtenanschluss mit Durchschleifen der Installationsseite) und die Service-Klemme (für die einfache Verbindung aller Leiterkombinationen). Aufgrund der Zulassung als selbstständiges Betriebsmittel nach EN 60998 (Verbindungs material für Niederspannungs-Stromkreise für Haushalt und ähnliche Zwecke, Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Teil 2-2: Besondere Anforderungen für Verbindungsmaterial als selbstständige Betriebsmittel mit schraubenlosen Klemmstellen) können die Leuchtenklemmen der Serie 224 für nahezu alle elektrischen Verbindun-

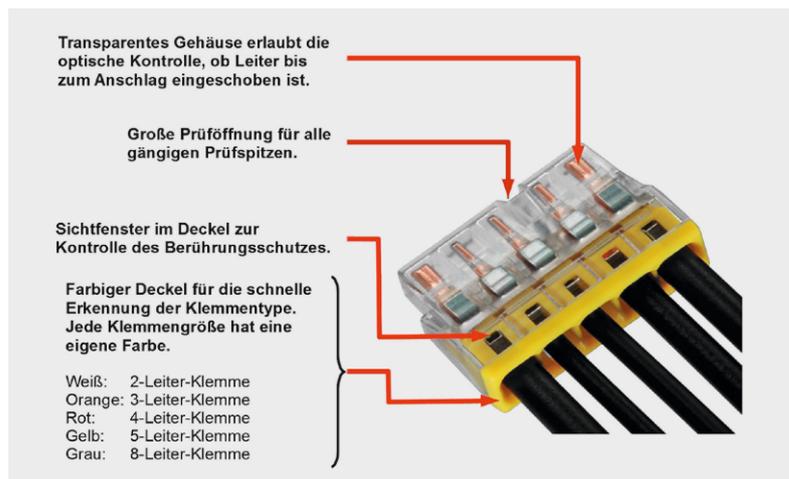


Bild 20: Das transparente Gehäuse erlaubt Einblicke in die Kontaktmechanik.

gen zwischen eindrätigen und feindrätigen Leitern für Haushalt und ähnliche Zwecke im Gebäude eingesetzt werden, z. B. für Jalousien-, Rollladen- oder Markisenmotoren, Fenster- oder Badezimmerlüfter,

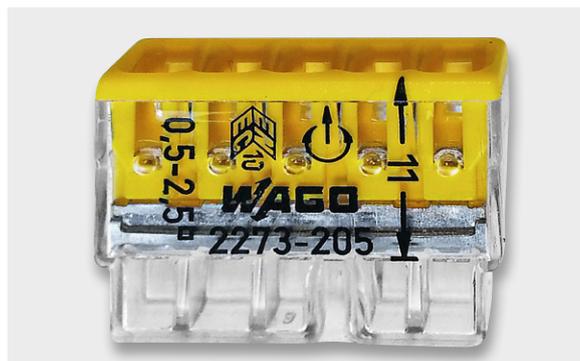


Bild 21: Die Bedruckung sagt alles Wichtige in Kurzform.

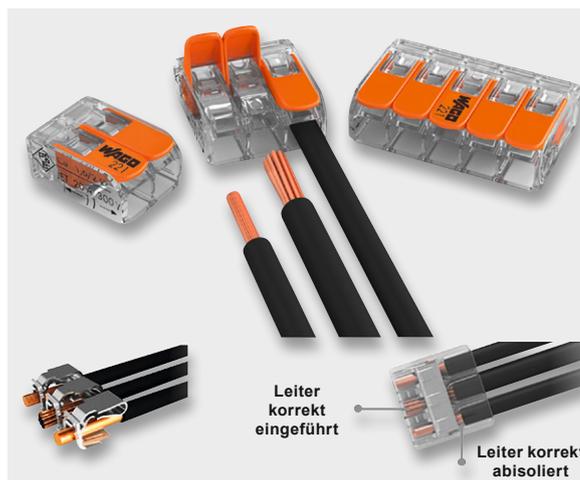


Bild 22: Bistabile Klemmen erlauben das kraftfreie Einführen und Entfernen von Massivleitern und Litzen.

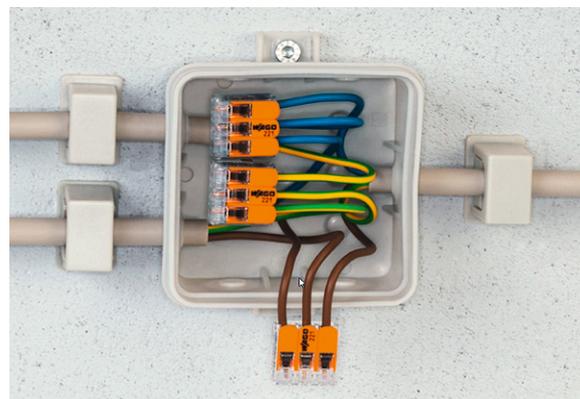


Bild 23: Hier gibt es keine lockeren Drähte wie bei einer Schraubklemme, auch nach Jahren nicht.

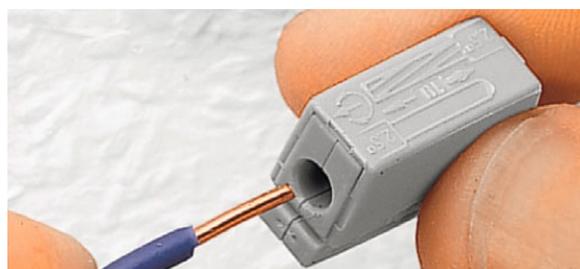


Bild 24: Leuchtenklemmen verbinden den Massivleiter der Installation mit dem Litzenleiter der Leuchte, ohne dass dieser vorher mit einer Adernendhülse versehen werden müsste. Durch Daumendruck auf die Federtaste der Klemme lässt sich der Leuchtenanschluss kraftfrei herstellen und wieder lösen.



Heizkesselsteuerungen, Festanschluss von elektrischen Geräten mit flexiblen Anschlussleitungen, Umwälzpumpen etc.

Zur Verdrahtung von Elektronikplatinen dienen einlötbare Klemmen. Bild 26 zeigt beispielhaft die Federleiste WAGO picoMAX eCOM. Sie ist durch einen Betätigungsdrücker entriegelbar und verfügt über eine Prüföffnung für 1-mm-Prüfstifte.

**Klemmen für die Niederspannungs- und Steuerungstechnik.** Die Vielfalt der Klemmen und ihrer Ausführungsformen für die Verdrahtung von Schaltschränken und Steuerungen ist riesig und sprengt den Rahmen dieses Übersichtsartikels. Beispielhaft sei nur die WAGO-Baureihe Top Job S genannt, die eine Vielzahl auf einer Hutschiene aneinander reihbarer Reihenklemmen umfasst (Bild 27).

Die ständig fortschreitende Miniaturisierung elektronischer Funktionen ermöglicht es zunehmend, diese in die Klemmenprodukte zu integrieren. So gibt es für komplexeste Steuerungsaufgaben in IP-basierten industriellen Systemen nahezu alle denkbaren Funktionsmodule zum Anreihen auf der Hutschiene: Controller für KNX IP, BACnet MS/TP, Schaltnetzteile, Feldbuskoppler, Linux-Controller ...

Für den Einsatz unter extremen Umgebungsbedingungen wurde das WAGO-I/O-SYSTEM 750 XTR entwickelt (Bild 28). Es bietet extreme Vibrations- und Schockfestigkeit, einen Arbeitstemperaturbereich von -40 bis +70 °C, höchste Stoßspannungs- und EMV-Störfestigkeit und ist damit erste Wahl in Anwendungen, die absolute Zuverlässigkeit erfordern. Dazu zählen Schiffbau und On-/Offshore-Industrie, Windkraft-, Photovoltaik- und Biogasanlagen, Ortsnetzstationen und Energieverteilung, Petrochemie, Wasser- und Abwasserindustrie, Sondermaschinenbau ... **ELV**



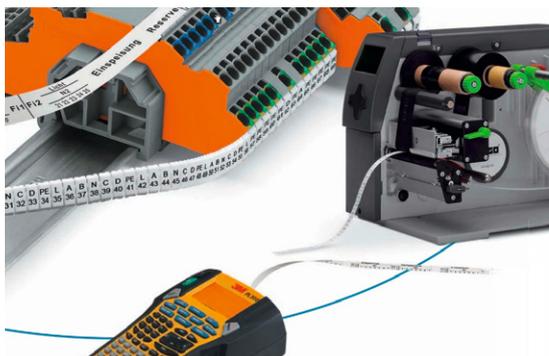
## Literatur:

- [1] „Qualitätshandbuch für industrielles Crimpen“, [www.molex.com/pdm\\_docs/ats/TM-640160065DE.pdf](http://www.molex.com/pdm_docs/ats/TM-640160065DE.pdf)
- [2] Vergleiche DIN VDE 0100-520; VDE 0100-520:2013-06: Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 5: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel; Kapitel 52: Kabel- und Leitungsanlagen
- [3] „Lebensdauer und Ermüdung einer Feder“, [www.lesjoforsab.com/technische-federn/haltbarkeit.asp](http://www.lesjoforsab.com/technische-federn/haltbarkeit.asp)

Federklemmtechnik – Grundlagen, Bauformen und Anwendungen in der elektrischen Verbindungstechnik (Bibliothek der Technik), Manfred Witzsch, Klaus Vollrath, Andreas Strauch, Wolfgang Patzelt

<http://shop.bibliothek-der-technik.de/shop/Technik/Elektrotechnik-Elektronik-Kommunikationstechnik/Federklemmtechnik.html>

Bild 27: Aneinanderreihbare Mehrebenenklemmen der TopJob-S-Serie erlauben äußerst platzsparende komplexe Verdrahtungen. Durch intelligente Farbgebungen und Beschriftungen ist die Übersichtlichkeit dennoch optimal.



Alle Produktinfos zu WAGO®-Klemmen finden Sie im ELV-Web-Shop unter: [www.elv.de/wago-klemmen.html](http://www.elv.de/wago-klemmen.html)

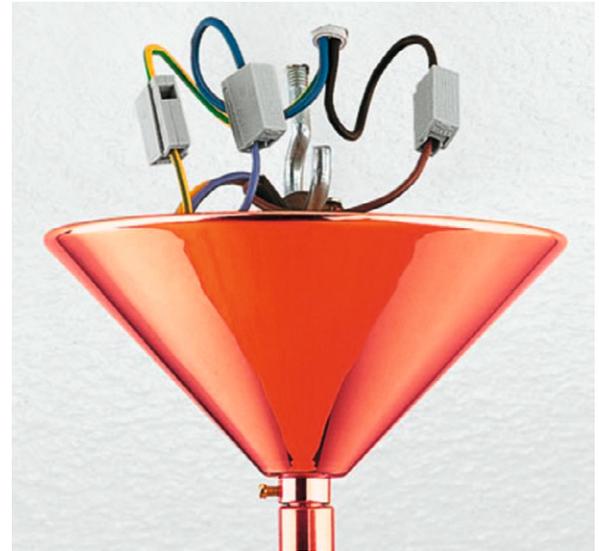


Bild 25: Die Serie 224 wurde speziell für den Anschluss von Leuchten entwickelt.

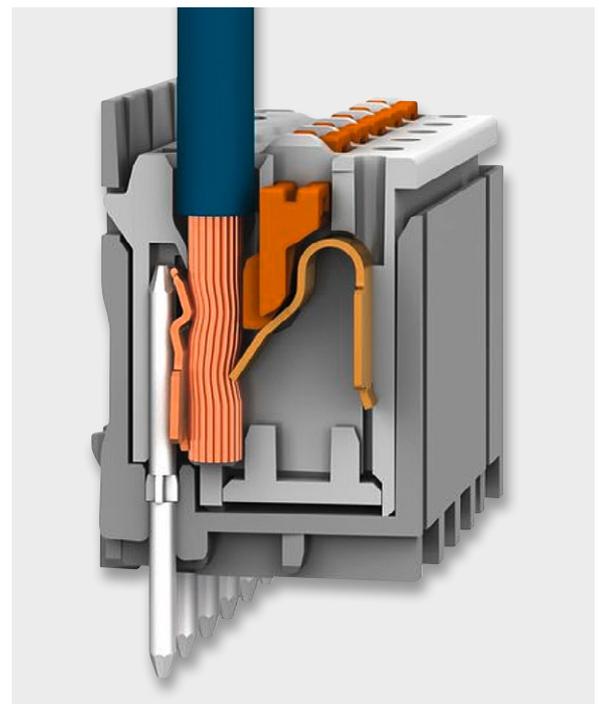


Bild 26: Mit Klemmen vom Typ picoMAX lassen sich gedruckte Schaltungen mit Leitern aller Art kraftfrei kontaktieren.



Bild 28: WAGO-I/O-SYSTEM 750 XTR ist für Mess-, Steuer- und Regelaufgaben aller Art in rauen Umgebungen konzipiert.