**Richtige Wahl beim Material**

**Kabel und Steckverbindungen halten eine Menge aus – wenn man die richtigen Werkstoffe auswählt. Doch das ist eine Wissenschaft für sich, denn es gibt in der Verbindungstechnik unzählige Materialien und Kombinationen. Sie alle haben Vor- und Nachteile, je nach Einsatzzweck. Welche das sind, erläutert dieser Artikel.**

Ist ein Kabel mit PUR-Mantel besser als eines mit PVC? Ist ein Steckergehäuse aus Edelstahl besser als eines aus Zink-Druckguss oder Kunststoff? Eindeutig beantworten kann man die Frage immer nur im Einzelfall, denn jeder Werkstoff hat seine Vor- und Nachteile. Grundsätzlich gilt: Bei der Auswahl der richtigen Materialien für Verbindungslösungen gibt es keine simplen Regeln, entscheidend ist immer die Anwendung. Und: Jede Verbindungslösung ist immer nur so stark wie ihr schwächstes Glied – und das ist häufig ein ungeeigneter Werkstoff oder Zubehör, bei dem den Materialeigenschaften aufgrund des C-Teil Charakters nicht ausreichend Aufmerksamkeit geschenkt wurde.

Zwei Beispiele: Zum einen die Lebensmittel- und Getränkeindustrie, wo es beim Verarbeiten und Verpacken von verderblichen Nahrungsmitteln auf hundertprozentige Hygiene ankommt. Entsprechend sind hier Materialien gefragt, die leicht abwaschbar sind und die ihre Funktionalität nicht verlieren, wenn sie mit heißem Dampf und aggressiven Reinigungsmitteln traktiert werden. Zum anderen die Bahnindustrie, die Leitungen benötigt, die man bedenkenlos in Innenräumen von Waggons verlegen kann. Dort müssen sie allerdings strenge Normen zum Brandschutz einhalten. Die Anforderungen an beide Leitungen sind also vollkommen unterschiedlich, dementsprechend werden auch unterschiedliche Werkstoffe verwendet. Und diese Unterschiede setzen sich fort bei Steckern, Kabeldurchführungen, Dichtungen und weiterem Zubehör.

Worin diese Unterschiede bei Leitungen genau bestehen, sei an den wichtigsten Komponenten einer Leitung erläutert, innen beginnend mit dem Leiter und dem Isolator nach außen bis zum Mantel. Für den Leiter wird häufig blankes Kupfer verwendet, je nach Anwendung und Umwelteinflüssen sind jedoch verzinnte oder versilberte Leiter sinnvoll. Das Verzinnen verhindert das sogenannte Anlaufen des Kupfers, also Korrosion, und sichert damit eine dauerhaft hohe Leitfähigkeit. Den selben Vorteil bieten versilberte Litzen, sie kommen vor allem bei Hochtemperatur-Anwendungen zum Einsatz.

**Der Isolator: nicht nur gegen Kurzschluss**

Stromleiter brauchen einen elektrischen Isolator, der die Leiter umhüllt. Er ist bei Einzeladern Berührungsschutz und verhindert bei mehradrigen Leitungen, dass Strom von einem Leiter zum anderen fließt und es zu einem Kurzschluss kommt. Was passieren kann, wenn die Isolation versagt, hat der eine oder die andere vielleicht schon selbst erlebt. Zum Beispiel bei dem alten Bügeleisen oder Haartrockner, bei dem zum Aufräumen das Netzkabel tausende Male um den Griff gewickelt und immer mehr verdrillt wurde. Irgendwann bricht erst der Mantel, dann die Isolation – meist dort, wo das Kabel ins Gehäuse läuft. Dann schießt ein Blitz aus dem Kabel und mit einem lauten Knall geht das Licht im Haus aus, weil die Sicherung – hoffentlich – abgeschaltet hat. Man kann sich vorstellen, dass so etwas bei der Verwendung ungeeigneter Kabel im harten Industrieeinsatz nicht nur häufiger vorkommen könnte, auch die Folgen können dramatisch sein, etwa wenn eine Produktionsanlage für Stunden stillsteht.

Der Isolator muss allerdings nicht nur elektrisch isolieren, bei Leitungen zur Datenübertragung wie Ethernet bestimmt er auch die Qualität der Übertragung, genauer gesagt die Verluste, die das Signal auf seinem Weg erfährt. Denn das elektrische Signal tritt mit dem Kunststoff in Wechselwirkung und gibt Energie ab – der Kunststoff erwärmt sich minimal und das Signal wird schwächer, bis es so schwach ist, dass es zu Aussetzern kommt. Die entscheidende Größe ist die dielektrische Konstante des Kunststoffs, sie sollte möglichst niedrig sein. Polyethylen und Polypropylen sind Kunststoffe, die von Haus aus eine niedrige dielektrische Konstante haben. Diesen Wert kann man weiter verringern, indem man den Kunststoff mit Stickstoff aufschäumt, in dem Moment, wo er auf den Leiter extrudiert wird. Die Lapp-Tochter CEAM Cavi Speciali in Monselice in Italien nutzt für hochwertige Datenleitungen ein aufwändiges Verfahren, bei dem drei Schichten aus drei Extrudern gleichzeitig aufgebracht werden, die mittlere Schicht wird aufgeschäumt. Diese Leitungen erlauben hohe Datenraten über große Distanzen und sind zudem noch etwas dünner als herkömmliche Leitungen, weil die geschäumte Schicht bessere Isolationseigenschaften hat und daher dünner ausfallen kann.

**Brandschutz: Vorsicht vor Halogenen**

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei Leitungen ist das Brandverhalten. Wo die Gefahr von Bränden besteht, ist flammwidriges Isolationsmaterial nötig, um bestimmte Brandschutzklassen entsprechend der CPR (Europäische Bauprodukteverordnung) zu erfüllen. Der einfachste Weg zu gutem Flammschutz sind halogenhaltige Stoffe, die dem Kunststoff beigemischt werden, also Elemente der siebten Hauptgruppe des Periodensystems, häufig handelt es sich um bromierte Verbindungen. Diese Strategie für den Brandschutz ist sehr effizient, weil wenig Additive nötig sind und damit die mechanischen Eigenschaften wenig beeinträchtigt werden. Deshalb nutzen Automobilhersteller solche Leitungen gerne im Motorraum. Wo sich Menschen aufhalten, etwa in Bussen, haben Halogene aber den großen Nachteil, dass sie bei Brand giftige Rauchgase bilden, die sich mit dem Löschwasser der Feuerwehr zu ätzenden Dämpfen verbinden.

Eine Alternative sind HFFR-Kunststoffe (Halogen Free Flame Retardant), die toxisch unbedenklich sind, aber einen Füllgrad von teilweise über 60 Prozent brauchen und damit die mechanischen Eigenschaften des Kunststoffs erheblich beeinträchtigen können. Ein neuer Trend sind daher so genannte synergistische Systeme, Kombinationen aus zwei Stoffen, die gemeinsam einen besseren Flammschutz erbringen als jeder der beiden Ausgangsstoffe alleine. Infrage kommt zum Beispiel ein System aus dem halogenfreien Aluminiumtrihydrat und Silanverbindungen. Aluminiumtrihydrat reagiert bei Feuer zu Aluminiumoxid und Wasser, eine endotherme Reaktion, die dem Feuer Energie entzieht. Es bildet sich zudem eine Kruste aus verbranntem Material, das als Schutzschicht dient.

Beachten muss man noch, dass Flammschutzmittel hydrophil sind, sie haben also die unerwünschte Eigenschaft, Wasser anzuziehen. Dann kann es im ungünstigen Fall zu einem elektrischen Durchschlag kommen. Für Leitungen, die nicht mit Wasser in Kontakt kommen, ist das kein Problem, in manchen Branchen, zum Beispiel in der Lebensmittelindustrie jedoch, wo mit heißem Wasser gereinigt wird, braucht es andere Werkstoffe. Hier eignen sich Flammschutzmittel, die mit Silanverbindungen beschichtet sind. Sie machen den Kunststoff hydrophob, also wasserabweisend.

**Kabelmantel: gegen Wind und Wetter gewappnet**

Noch höhere Anforderungen als beim Isolator gelten beim Mantel, denn dieser ist unmittelbar den Umwelteinflüssen ausgesetzt: Abrieb, Chemikalien, Reinigungsmittel, UV-Licht, Temperatur und vieles mehr. So viel vorweg: Das eine Material, das alle Anforderungen abdeckt, gibt es nicht, der Werkstoff muss vielmehr genau auf den Anwendungszweck zugeschnitten werden. Schmieröl, Fette, Reinigungsmittel – je nach Anwendung müssen Leitungen gegen diese oder weitere Medien immun sein. Für den Maschinenbau gibt es heute bewährte Leitungen mit Mänteln aus Polyvinylchlorid oder Polyurethan (PUR). PUR ist das Arbeitspferd bei Mantelmaterialien. Seine chemischen Bindungen gehören zu den festesten die es gibt. Allerdings ist die Verarbeitung schwierig, sowohl bei der Herstellung des Kabels als auch bei der Konfektionierung, weil sich der Mantel schlecht schneiden lässt. Außerdem ist PUR brennbar und teuer. Ein Kompromiss, der die hohe Widerstandsfähigkeit von PUR mit der einfachen Verarbeitung von PVC vereint, sind zum Beispiel die Leitungstypen ÖLFLEX® 408P und ÖLFLEX® 409P, die über einen PUR-Außenmantel und eine zwickelfüllenden Funktionsschicht aus PVC verfügen.

Liegen Leitungen im Freien, wo sie der Sonne ausgesetzt sind, werden die Karten beziehungsweise die Materialien neu gemischt. Dann muss der Mantel UV-Stabilisatoren enthalten. Bei Solarleitungen (zum Beispiel ÖLFLEX® SOLAR) wird dazu Ruß zugesetzt, der das Sonnenlicht blockt, daher die meist schwarze Farbe dieser Leitungen. Der Königsweg für Leitungen im Freien ist die Strahlenvernetzung. Dabei wird das Kabel mit Elektronenstrahlen beschossen. Die Kunststoffmoleküle absorbieren die Energie der Elektronen und vernetzen sich, das Material wird so wesentlich widerstandsfähiger. Dadurch können die Kabel extreme Temperaturschwankungen zwischen minus 40 Grad Celsius und 120 Grad Celsius aushalten, ebenso wie besonders hohe mechanische Belastungen. Die mechanische Widerstandsfähigkeit ist auch der Grund, weshalb Vernetzung auch bei Leitungen für die Bahnindustrie, etwa ÖLFLEX® TRAIN, zum Einsatz kommt. Vernetzen lassen sich verschiedene Kunststoffe, darunter Polyethylen (PE), Polyolefin Elastomere (POE), Ethlyen-Vinyl-Acetat (EVA) oder Ethylen-Ethyl-Acrylat (EEA). In der Regel werden zur Vernetzung Additive zugegeben – meist mit rund einem Prozent Füllgrad –, damit sich die Molekülketten noch besser miteinander verbinden, außerdem senken sie den Energieaufwand fürs Vernetzen.

Während unvernetztes Material irgendwann erweicht, gibt es bei vernetztem Kunststoff keinen Schmelzpunkt. Erhitzt man ihn, oxidiert er und wird spröde, weshalb es nötig ist, Antioxidantien und Stabilisatoren beizumischen. Bei sehr tiefen Temperaturen bietet die Vernetzung keinen Vorteil, hier wird das Material irgendwann immer spröde. Umso wichtiger ist es, dass man ein Basispolymer auswählt, das für tiefe Temperaturen geeignet ist. Infrage kommen Polyolefin-Elastomere (POE), Linear Low Density Polyethylen (LLDPE), bestimmte Typen von Ethylen-Vinyl-Acetat-Copolymer (EVA) oder thermoplastische Elastomere (TPE). Bei höheren Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften eignen sich High Density Polyethylen (HDPE) oder Polypropylen (PP, für mehr Festigkeit) sowie Polyolefin-Elastomere (für bessere Dehnbarkeit).

Oft setzen aber nicht nur Temperaturen oder Medien der Verkabelung zu, sondern größere Lebewesen, zum Beispiel Nagetiere. Gegen diese sind alle diese Mixturen machtlos. Deshalb werden Erdkabel mit Geschmacksstoffen wie Vanillin versetzt, um sie für die Nager weniger attraktiv zu machen, oder speziell mechanisch armiert. Neben Stahlarmierungen gibt es auch Materialien, die beim Hineinbeißen splittern und den hungrigen Tieren den Appetit verderben. Was speziell die erheblichen Schäden angeht, die von Mardern verursacht werden, so können hier vermutlich Materialien helfen, die keine Gerüche annehmen. Meist geht es dabei nämlich um Revierkämpfe der Tiere. Marder markieren mit ihrem Kot, Urin und Schweiß aus Drüsen in den Pfoten ihr Revier, und Rivalen versuchen diese Markierungen zu zerstören. Ein Kabel das nicht markiert werden kann, weil es keine Gerüche annimmt, könnte demnach nicht zum Ziel werden.

**Leitungen für die Lebensmittelindustrie: Kampf den Keimen**

Von Interesse für die Lebensmittelindustrie ist die Beständigkeit gegen biologische Einflüsse wie Mikroben oder Pilze. In Käsereien dauert es mitunter nur Monate, bis die Bakterien, die den Käse reifen lassen, ein herkömmliches Kabel zersetzen und es zu Kurzschlüssen kommt. Dagegen gibt es Mantelmaterialien aus Spezial-TPE wie bei den ROBUST-Leitungen von Lapp, auf denen Mikroben kaum Halt finden und die sich leicht reinigen lassen. Das Geheimnis des speziellen thermoplastischen Elastomers von Lapp ist die glatte Oberfläche dank einer ausgeklügelten Mischung von Additiven, die mikroskopische Lücken im Material füllen und die auch bei heftiger Reinigung mit dem Dampfstrahler in der Kunststoffmatrix gebunden bleiben. Die Kombination aus festen Stoffen mit flexiblen Polymerketten dazwischen verleiht dem Gemisch gummiähnliche Eigenschaften, dabei ist die Verarbeitung so einfach wie bei Thermoplast. Manche Anbieter bieten für Anwendungen in der Lebensmittelindustrie PUR-Leitungen an, die mechanisch sehr beständig sind. Allerdings ist PUR hydrophil, zieht also Wasser an, Spezial-TPE ist dagegen hydrophob.

**Rostfreie Verbindungen: Edelstahl als Material der Wahl**

Vom Kabel zur Verschraubung und zum Steckverbinder, vom Kunststoff zum Metall – dort scheint der Fall klar: Edelstahl ist das Material der Wahl, wenn Steckergehäuse oder Kabel- und Schlauchdurchführungen Chemikalien oder Reinigungsmitteln widerstehen sollen. Gerade in der Lebensmittelindustrie führt oft kein Weg an Edelstahl vorbei. Er rostet nicht und es gibt keine Beschichtung, die irgendwann abblättern könnte. Ganz so einfach ist die Sache aber doch nicht, denn Edelstahl ist nicht gleich Edelstahl. Gängiger V2A-Edelstahl ist relativ günstig, dafür aber doch nicht so robust was die chemische Beständigkeit angeht. So können in chloridhaltigen Medien Flecken auf dem Metall entstehen. Gerade die Lebensmittelindustrie setzt gerne hypochlorige Säure ein, die sich zu Salzsäure zersetzt und organische Substanzen abtötet. V2A-Edelstahl ist dafür ungeeignet. Für solche Fälle gibt es mit V4A eine widerstandsfähigere Legierung, die unter anderem auch für teure Schweizer Armbanduhren verwendet wird. Sie ist extrem hart und widersteht Schlägen oder der Reinigung mit harten Bürsten.

Wie immer im Leben hat jeder Vorteil auch einen Nachteil. Weil Edelstahl härter ist als Messing oder Stahl, ist er aufwändiger zu bearbeiten. Das gilt besonders für V4A, wegen der Legierungselemente Chrom, Nickel und Molybdän. Bei unbehandelter Oberfläche ist V4A rauer, die Reibung ist höher. Schrauben, die über ihr Gewinde große Kräfte halten müssen, würden deshalb stecken bleiben. Lapp unterzieht seine Produkte aus V4A-Edelstahl, zum Beispiel die EHEDG-zertifizierte Kabelverschraubung SKINTOP® HYGIENIC deshalb einer speziellen Oberflächenbehandlung, die die Reibung verringert und somit problemloses Anziehen und Lösen der Kabeleinführung ermöglicht.

Nicht überall ist Edelstahl einsetzbar. Beispiel Rechtecksteckverbinder. Edelstahl kommt für diese Steckergehäuse nicht infrage, weil sich das Metall wegen seiner Härte nicht sinnvoll bearbeiten lässt, es müsste vielmehr aus dem vollen Block gefräst werden, was kein Kunde bezahlen wollte. Einen anderen Weg ist deshalb Lapp mit dem EPIC® ULTRA gegangen: Das Gehäuse des Rechtecksteckers besteht aus vernickeltem Zink-Druckguss. Dieses Material ist korrosionsbeständig, etwa im Salznebel auf Ölbohrplattformen oder eben auch in der Lebensmittelindustrie. Für Bolzen und Bügel empfiehlt Lapp allerdings doch Edelstahl, hier wäre die Beschichtung durch häufiges Öffnen und Schließen für die Modultrennung zum Beispiel bei Reinigungsarbeiten zu schnell abgerieben. Angegossene Bolzen sind hier auch nicht von Vorteil, denn durch die geringere Stabilität des Materials – ob Alu-Druckguss oder Kunststoff - sinken auf Dauer die Schließkräfte und damit die Dichtigkeit.

Bügel und Bolzen schaffen für die Lebensmittelindustrie allerdings ein Dilemma. Diese Bauteile widersprechen den Prinzipien des Hygienic Design, denn in den Ecken und Kanten könnten sich Spritzer aus der Verarbeitung von Lebensmitteln festsetzen. Andere Verriegelungsmethoden sind allerdings nicht sicher genug oder nicht mit dem Standard kompatibel. Lapp empfiehlt deshalb, solche Steckverbinder nicht in der Produktzone zu verwenden, sondern nur in Bereichen, die nicht unmittelbar mit Lebensmitteln in Kontakt kommen.

Manche Anwender weichen auf Kunststoffgehäuse aus, die zum Teil auch widerstandsfähig sind gegen Säuren und Laugen. Kunststoffgehäuse bergen aber das Risiko geringerer Formstabilität unter mechanischen oder Umwelteinflüssen. Auch dadurch können leicht Undichtigkeiten entstehen, was gerade in der Getränke- und Lebensmittelindustrie ein Sicherheitsrisiko darstellt. Betriebsunfälle ebenso wie hohe Folgekosten für Wartung und Service drohen dann. In Anwendungen, wo die elektromagnetische Verträglichkeit wichtig ist, ist Kunststoff ohnehin ungeeignet beziehungsweise müsste zum Schutz vor Störungen mit Metall beschichtet werden. In der Praxis sind die Ergebnisse hinsichtlich Abschirmung unbefriedigend.

**Dichtung: Kautschuk vs. Silikon**

Wo Metall auf Metall stößt – etwa ein Steckverbinder auf einen Schaltschrank – sitzt in der Regel eine Dichtung. Sie muss in Bezug auf Temperatur- und Medienbeständigkeit vergleichbare Eigenschaften haben wie die Materialien, aus denen die anderen Komponenten der Steckverbinder oder Verschraubungen bestehen, sonst wird sie zum schwachen Glied der Kette. Die „eierlegende Wollmilchsau“ – aber leider teuer – ist Fluorkarbon-Kautschuk (FKM). Er ist beständig gegen Witterung, Alterung und Ozon sowie gegen Chemikalien und hält Temperaturen bis 200 Grad Celsius aus. Wenn die Umgebungsbedingungen moderat sind, ist auch Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM) eine gute Alternative. Einen kleinen Nachteil hat FKM: Für sehr kalte Umgebungen ist es nicht geeignet, unter minus 20 Grad sollte man es nicht verwenden. Für Kühlhäuser oder andere sehr kalte und auch heiße Umgebungen besser geeignet ist Silikon, das aber wiederum bei sehr hohen Temperaturen etwa in Hochöfen an seine Grenzen stößt. Ebenso wichtig wie das Material ist das Design der Dichtung. Wo Lebensmittel verarbeitet werden, sollte es keine Ritzen und Zwischenräume geben, in denen sich Rückstände festsetzen können. Die Dichtungen der SKINTOP® HYGIENIC zum Beispiel passen sich der Form den zu dichtenden Flächen an und schließen mit dieser bündig ohne Spaltbildung ab.

Anwender haben es also nicht immer leicht, die richtigen Produkte zu finden. Viele ordern die Edelstahl-Komponenten nur, um auf der sicheren Seite zu sein, weil sie die Medien gar nicht genau kennen, mit denen die Stecker in Kontakt kommen werden. Oder die Anwender schrauben ihre Ansprüche zurück und verwenden bei Leitungen und Steckverbindern verbesserte Standardprodukte und nehmen in Kauf, dass diese häufig ausgetauscht werden müssen. Hier gibt es keinen Königsweg, nur ein sorgfältiges Abwägen aller Vor- und Nachteile. Die Experten von Lapp kennen ihre Produkte genau und sollten immer konsultiert werden, bevor ein Anwender sich für eine – möglicherweise ungeeignete – Variante entscheidet.

**Pressekontakt**

LAPP Austria GmbH

Bremenstraße 8

A – 4030 Linz

Melanie Dörner

Tel. +43 (0) 732 781272 201
melanie.doerner@lappaustria.at

www.lappaustria.at

**Über LAPP:**

LAPP mit Sitz in Stuttgart ist einer der führenden Anbieter von integrierten Lösungen und Markenprodukten im Bereich der Kabel- und Verbindungstechnologie. Zum Portfolio des Unternehmens gehören Kabel und hochflexible Leitungen, Industriesteckverbinder und Verschraubungstechnik, kundenindividuelle Konfektionslösungen, Automatisierungstechnik und Robotiklösungen für die intelligente Fabrik von morgen und technisches Zubehör. LAPPs Kernmarkt ist der Maschinen- und Anlagenbau. Weitere wichtige Absatzmärkte sind die Lebensmittelindustrie, der Energiesektor und Mobilität.

Das Unternehmen wurde 1959 gegründet und befindet sich bis heute vollständig in Familienbesitz. Im Geschäftsjahr 2016/17 erwirtschaftete es einen konsolidierten Umsatz von 1.027 Mio. Euro. Lapp beschäftigt weltweit rund 3.770 Mitarbeiter, verfügt über 17 Fertigungsstandorte sowie rund 40 Vertriebsgesellschaften und kooperiert mit rund 100 Auslandsvertretungen.