

Leitfaden

Additive Fertigung in der elektrischen Verbindungstechnik: Potenziale und Anforderungen

ZVEI Fachabteilung elektrische Verbindungselemente





Leitfaden

Additive Fertigung in der elektrischen Verbindungstechnik: Potenziale und Anforderungen
ZVEI Fachabteilung elektrische Verbindungselemente

Impressum

Herausgeber:

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik und
Elektronikindustrie e.V.

Fachverband Electronic Components and Systems

Fachverband PCB and Electronic Systems

Lyoner Straße 9

60528 Frankfurt am Main

Telefon: +49 69 6302-276

Fax: +49 69 6302-407

E-Mail: zvei-be@zvei.org

www.zvei.org

Verantwortlich:

Volker Kaiser, ZVEI

Oktober 2020

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig.

Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzung, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Inhaltsverzeichnis

Präambel	4
1 Unser aktueller Blick auf die additiven Fertigungsverfahren	5
2 Motivation	6
2.1 Innovation als Motivator	6
2.2 Große Erfahrung im Kunststoffspritzguss und Metallteilefertigung	6
2.3 Vorteile der additiven Fertigung nutzen und neue Geschäftsmodelle entwickeln	6
2.4 Nutzung der additiven Fertigung zur Stärkung der Innovationskraft	7
3 Die Branche der Steckverbinder	9
4 Was unsere Produkte auszeichnet	10
4.1 Hauptfunktionen der elektrischen Verbindungstechnik	10
4.2 Erfüllung von gesetzlichen und normativen Vorgaben	10
5 Entwicklungsbedarf im Bereich 3D-Druck	13
5.1 Reproduzierbarkeit der Produkte	13
5.2 Integration von Entwicklungs- und Produktionsprozess	13
5.3 Integrierte Produktion vom Pre- bis Postprocessing	13
5.4 Durchgängige Datenprozesse vom Kunden zum Kunden & Individualisierung der Produkte	14
5.5 Wirtschaftlichkeit bei der Herstellung von Serienprodukten	14
5.6 Kostenreduktion	15
5.7 Branchentypische Materialeigenschaften	16
6 Zusammenfassung	21
7 Beteiligte Unternehmen	22

Präambel

Die additive Fertigung (Additive Manufacturing (AM)) ist vor über dreißig Jahren mit Erfindungen und ersten Maschinen zur Stereolithografie, zum Fused Deposition Modeling und zum Selective Lasersintering entstanden. Sie wird häufig synonym als 3D-Druck bezeichnet und ist derzeit mit Technologieklassen im Bereich der Kunststoffe, der Metalle und der Keramiken weit verbreitet im Prototypen- und Musterbau. Zunehmend werden heute Einsatzfelder in der Herstellung von Werkzeugen und auch von Endprodukten verwirklicht. Die additive Fertigung gilt als ein integrierter Bestandteil der direkten digitalen Fertigung und der Industrie 4.0.

Die Branche der elektrischen und elektronischen Verbindungstechnik ist gekennzeichnet durch Unternehmen mit hoher Innovationskraft, meist hoher Fertigungstiefe und großer Kompetenz in der Kunststoff- und Metallverarbeitung. Die Herausforderungen der Produktrealisierung liegen in der Erfüllung vielfältiger technischer und wirtschaftlicher Leistungen bei zumeist kleiner Baugröße in überwiegend großen Stückzahlen. Zunehmend gilt es, auch kleinere Stückzahlen aus unterschiedlichen Werkstoffen wirtschaftlich herzustellen.

Die Unternehmen der elektrischen und elektronischen Verbindungstechnik und insbesondere der Steckverbinderbranche zeigen großes Interesse, die innovativen Ansätze der additiven Fertigung aufzunehmen, sie für ihre Bedürfnisse nutzbar zu machen und weiter zu entwickeln. Sie streben die Integration von additiver Fertigung in den Kanon der konventionellen subtraktiven und formativen Fertigungstechnologien, über die etablierte Prototypen- und Musterherstellung hinausgehend, an. Hierbei sollen zur Verwirklichung von innovativen neuen Produkten und zur wirtschaftlichen Fertigung von Varianten bekannter Produkte die Vorteile der additiven Fertigungstechnologie und das Ökosystem der additiven Fertigung einerseits optimal genutzt und die spezifischen Anforderungen der Produkte der Branche andererseits erfüllt werden. Um die additive Fertigung in der Steckverbinderbranche umfassender und deutlich über den Prototypenbau hinausgehend nutzbar zu machen, soll angestrebt werden, die Werkstoffe, Prozesse und Anlagen für die Branchenbelange stimmiger zu entwickeln, die Stakeholder der additiven Fertigung besser mit den spezifischen Anforderungen vertraut zu machen und im Dialog für die Branchenunternehmen innovative Produktlösungen zu erleichtern.

Diese Broschüre soll einen Einblick in typische Produktdesigns, die gesetzlichen und normativen Vorgaben der Branche und branchentypische Prüfverfahren geben sowie Unterstützung bei der Ableitung von Kostenvorgaben bereitstellen. Die Branche der elektrischen Verbindungstechnik zeigt ein stabiles Wachstum und liefert ein hohes Potenzial für die additive Fertigung, sei es im Bereich der Entwicklungs- und Fertigungsdienstleistungen, der Anlagen und der polymeren und metallischen Werkstoffe, sowie eine Integration in die Entwicklungs-, Produktions- und Lieferprozesse.

1 Unser aktueller Blick auf die additiven Fertigungsverfahren

Additive Manufacturing, oder 3D-Druck, nutzen die Hersteller von Produkten der elektrischen Verbindungstechnik bereits seit Jahrzehnten. Durch diese langjährige Auseinandersetzung mit der Thematik existiert bei den Unternehmen durchgängig ein hohes Verständnis für die Technologie, weiterhin wurden in dieser Zeit Experten im R&D und Produktionsbereich ausgebildet. Ebenso besitzen die Unternehmen einen eigenen Maschinenpark oder greifen auf ein Netzwerk von Dienstleistern zurück, mit dessen Hilfe verschiedenartige Bauteile unter Einsatz additiver Fertigungsverfahren gefertigt werden können.

Die Branche setzen additive Produktionsverfahren heute hauptsächlich für die Erstellung von Marketing- und Handhabungsmustern, Anwendungen zur Fertigungsunterstützung und funktionalen Prototypen von Produkten ein, die in der späteren Serienproduktion mit konventionellen Fertigungsverfahren, wie zum Beispiel Kunststoffspritzguss, hergestellt werden. Dabei werden hier vor allem die Vorteile einer schnellen Verfügbarkeit der Muster ohne den Aufbau eines formgebenden Werkzeuges genutzt. Ein weiterer Vorteil wird darin gesehen, notwendigen Geometrieänderungen zeitnah zu folgen, Iterationsschleifen in der Produktentwicklung schneller durchzuführen und somit die Optimierung der Produkte zu beschleunigen. Die entstehenden Muster unterstützen umfänglich den Produktentstehungs- und Markteinführungsprozess bei den Mitgliedsunternehmen.

Abb. 1: Isoliergehäuseprototypen eines Rundsteckverbinders auf der Bauplattform eines 3D-Druckers



Quelle: Wieland Electric

Seit wenigen Jahren analysieren die Unternehmen jedoch auch, ob und in welchem Umfang additive Fertigungsverfahren für die Fertigung verkaufsfähiger Produkte geeignet sind und welche Kundenvorteile und neuen Geschäftsmodelle sich aus diesen Möglichkeiten ergeben. Dabei reicht die Spannweite der Analyse von der Umstellung der Produktionsverfahren von langjährig existierenden Produkten, die bereits das Ende ihres Lebenszyklus erreicht haben, aber noch für Nachlieferungsfälle benötigt werden, bis hin zu neuen digitalen Geschäftsmodellen, bei denen ein Kunde z. B. die Möglichkeit hat, Produkte online an seine Bedürfnisse anzupassen und diese dann über die Produktions- und Lieferkette in kürzester Zeit auch in kleinsten Stückzahlen zu erhalten. Auch der optimierende Einfluss der additiven Fertigung auf die Lieferketten wird untersucht.

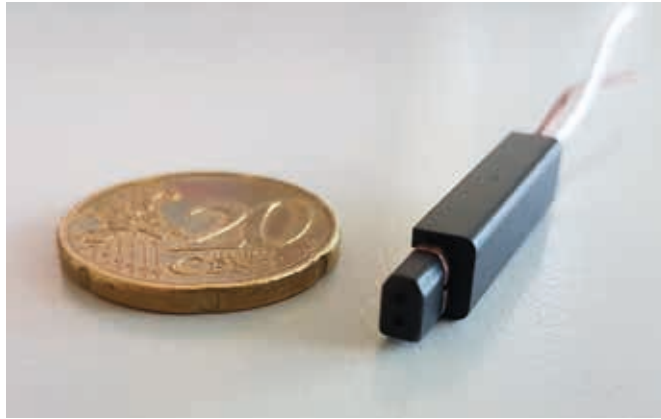
Die Unternehmen suchen auch in den Bereichen des Baus von Werkzeugen, Werkzeugteilen, Vorrichtungen oder Produktionshilfsmitteln nach möglichen Einsatzbereichen. Da die additive Fertigung prinzipiell die Elemente der digitalen Fertigung bedient, suchen die Unternehmen der Branche in diesem Bereich nach neuen Möglichkeiten, den Trend zu umfassender Digitalisierung und den damit verbundenen Wandel für sich nutzbar zu machen.

Allerdings ist festzustellen, dass die Aktivitäten der Hersteller von Materialien und Anlagen der additiven Fertigung die Kernbedürfnisse der elektrotechnischen Branche nicht ausreichend unterstützen. Die beteiligten Unternehmen ermöglichen daher, an gemeinsam an optimierten Lösungen zu arbeiten bieten interessierten Partnern folgende Informationen und Unterstützung:

- Vorgabe detaillierter Anforderungen an Produkte, Materialien, Herstellverfahren oder Qualitätsanforderungen.
- Bereitstellung und Erläuterung gesetzlicher und normativer Vorgaben der Branche.
- Einflussnahme auf norm- und gesetzgebende Gremien.
- Übermittlung typischer Produktdesigns.
- Bereitstellung typischer Produktmuster.
- Nutzung vorhandener branchentypischer Prüfverfahren und Prüfanlagen.
- Unterstützung bei der Ableitung von Kostenvorgaben

2 Motivation

Abb. 2: Prototyp eines Single Pair Ethernet Steckverbinders für hohe Dateneraten bei geringem Materialverbrauch



Quelle: Weidmüller Interface

2.1 Innovation als Motivator

Die elektrische und elektronische Verbindungstechnik ist heute die Grundlage jedes elektrifizierten Systems. Sie ermöglicht die Verteilung von Daten, Signalen oder elektrischen Energieströmen. Die heutigen Megatrends wie zum Beispiel der Digitalisierung und der Mobilität stellen neue Anforderungen an die Verbindungstechnik, die nur mit innovativen Ansätzen zu lösen sind. Die Unternehmen der Branche suchen daher ständig nach Möglichkeiten und Technologien, die ihnen bei der Unterstützung der Trends helfen. Detaillierte Hinweise auf Technologien und Trends können der Imagebroschüre „Die Welt der Steckverbinder – Technologien und Trends“ entnommen werden. (https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publicationen/2015/dezember/Die_Welt_der_Steckverbinder_-_Technologien_und_Trends/ZVEI-Imagebroschuere-Steckverbinder-2015.pdf)

Abb. 3: Mehrwertgenerierung durch additive Fertigung

Mehrwert durch Additive Fertigung

Design Freiheit			Flexibilität		Service	
Funktionale Integration	Materialersparnis	Leichtbau / Bionic	Prototyping / Stückzahl eins	Individualisierung	Logistik	Logistik
Reduzierter Montageaufwand	Additiv anstatt subtraktiv	Energieersparnis	Time to Market	Personalifizierung	Kostenreduktion	Print-on-demand
Höhere Leistung	Hybrid-Produktion	Dynamik	Logistik	Anpassung / Ergonomie	Kurze Wartezeiten	Vor Ort

Quelle: VDMA-Technologiescout Schaubild

Die Branche weist sich heute durch eine hohe Investitionsbereitschaft in neue Entwicklungen aus, sie besitzt einen umfangreichen Mitarbeiterstamm mit hoher Expertise in der Entwicklung neuer Produkte, Materialien und Fertigungsverfahren. Dabei liegen die wesentlichen Herausforderungen für jeden Steckverbinderhersteller in der Erfüllung maximaler technischer Leistungen bei kleinster Baugröße. Insbesondere Steckverbinder ermöglichen die modulare Strukturierung von Baugruppen, Geräten, Systemen und Anlagen. Sie vereinfachen den Betrieb, die Herstellung und Wartung sowie den schnellen Austausch von Komponenten, erlauben die Integration neuer Funktionalitäten in bestehende Systeme und fördern damit die wirtschaftliche Nutzung.

2.2 Große Erfahrung im Kunststoffspritzguss und Metallteilefertigung

Die Hauptfunktionen von Produkten der elektrischen Verbindungstechnik sind das Leiten von Elektronen, das Isolieren von Potenzialen und das Schützen der Bediener und Anlagen. Zur Realisierung dieser Eigenschaften werden Metall- und Polymerbauteile eingesetzt, welche überwiegend in subtraktiven oder formativen Herstellverfahren wie Stanz-Biegeprozesse und Kunststoff-Spritzguss erstellt werden.

Die Unternehmen der Branche besitzen durch ihre typischerweise hohe Fertigungstiefe ein über Jahrzehnte gewachsenes Know-how im Bereich der Bearbeitung von Metallen und dem Spritzguss von Kunststoffen. Die Fertigungsmethoden sind dabei auf hohe Ausbringungsraten bei definierter Qualität optimiert.

2.3 Vorteile der additiven Fertigung nutzen und neue Geschäftsmodelle entwickeln

Die Herausforderungen des Marktes lassen die konventionellen Entwicklungs- und Fertigungsmethoden jedoch immer häufiger an ihre Grenzen stoßen, so dass die Unternehmen der Verbindungstechnikbranche nach Ansätzen und Technologien suchen, die sie die Herausforderungen meistern lassen.

Die additive Fertigung gilt als eine exponentiell wachsende Branche mit disruptivem Potenzial, die durch neue Geschäftsmodelle, Dienstleistungen oder Partnerschaften die Innovationskraft im Bereich der elektrischen Verbindungstechnik stärken

kann. Dabei steht insbesondere die Mehrwertgenerierung gemäß dem folgenden Schaubild im Fokus der Unternehmen.

Für die Produkte der elektrischen Verbindungstechnik seien hier noch einmal einige Mehrwerte der additiven Fertigungsverfahren explizit erwähnt:

- Grundsätzliche Produktverbesserungen und neue Funktionen an Steckverbindern, die nur additiv herstellbar sind, lassen einen Innovationsschub und eine deutlich erweiterte Nutzung der additiven Fertigung erwarten.
- Die Branchenunternehmen sind Spezialisten im Bereich Metall-Druckguss und Kunststoff-Spritzguss. Produktivität und Effizienz sind in diesen Bereichen von besonderer Bedeutung. Beispielsweise lassen sich die Fertigungszeiten durch minimierte Zykluszeiten mit Hilfe neuer Werkzeuggestaltung und Nutzung konturnaher Temperierung reduzieren.
- **Logistik:** Die Lagerhaltung aufgrund von Mindestmengen bei konventioneller Herstellung entfällt. Gleiches gilt für die Aufbewahrung von Werkzeugen. Zusätzliche Vorteile ergeben sich unter Umständen durch Vor-Ort-Fertigung und der einhergehenden Reduzierung der Transportkosten.
- **Umweltschutz:** Durch Zerkleinerung z. B. für die Filamentherstellung oder in Pulverform von Vorprodukten gibt es die Möglichkeit der direkten Wiederverwendung von Rohstoffen.
- **Digital Supply Chain:** Analysen und Optimieren bestehender Logistik- und Beschaffungsprozesse als Dienstleistung.

2.4 Nutzung der additiven Fertigung zur Stärkung der Innovationskraft

Die additive Fertigung ist seit Mitte der achtziger Jahre zu den bekannten subtraktiven und formativen Fertigungsverfahren hinzugekommen. Technologien wie Stereolithografie, Selektives Lasersintern oder Fused Deposition Modeling waren auf Kunststoffe beschränkt. Die Anwendung konzentrierte sich auf Einsatzfälle innerhalb der Produktentwicklung in Form von Rapid Prototyping und die Erstellung von geometrischen Mustern, so dass Rapid Prototyping in dieser Zeit als ein Synonym für die additive Fertigung verwendet werden konnte. Heute hat sich die Werkstoffauswahl erweitert auf Kunststoffe, Metalle,

Keramiken und organische Substanzen und die prinzipielle Materialvielfalt ergibt wesentliche Vorteile in der Gestaltungsfreiheit. Die Zahl der additiven Technologieklassen mit jeweils einer Reihe von Einzeltechnologien ist deutlich gewachsen und es kommen neue Technologien hinzu. Nach DIN EN ISO 17296-2 werden heute Bindemittelauftrag, Werkstoffauftrag, Photopolymerisation im Bad, Pulverbasiertes Schmelzen, Gerichtete Energieeinbringung, Werkstoffextrusion, Schichtlaminiierung sowie Hybride Technologien unterschieden.

Die Anwendung der additiven Fertigung in der Herstellung von Mustern und Prototypen kann heute als etabliert gelten. Sie bleibt auch in Zukunft ein unverzichtbares Element zur Zeit- und Kostenreduktion im Realisierungsprozess neuer und optimierter Produkte. Erweiterte Anwendungen, wie die Herstellung von Fertigungshilfen und Vorrichtungen, sind inzwischen auch weit verbreitet. Zunehmend wird versucht, die additive Fertigung auch für Werkzeuge, Formen und Werkzeugeinsätze zu nutzen, um insbesondere die Effizienz der Fertigung zu verbessern, und schließlich auch Endprodukte direkt zu verwirklichen.

Abb. 4: Marketingmuster eines Steckverbinders gefertigt durch additive Fertigung



Quelle: Weidmüller Interface

Es gilt, die prinzipiellen Vorteile der additiven Fertigung wie Designfreiheit, erweiterte Funktionalität, wirtschaftliche Fertigung in kleinen Stückzahlen, wirtschaftliche Produktpersonalisierung und -individualisierung, optimierte Lieferketten und Nachhaltigkeit im Lebenszyklus möglichst umfassend zu nutzen und die derzeitigen Limitierungen zu berücksichtigen. Die Herangehensweisen beim Prototyping und bei der Realisierung von Endprodukten mittels additiver Fertigung unterscheiden sich fundamental. Während beim Prototyping angestrebt wird, die

Abb. 5: Miniaturisierter Verbinder (links) und Funktionsintegrierter Lichtsensor im Verbinder für Mikrofonanschluß (rechts)



Quelle: Harting Technologiegruppe

Eigenschaften von meist konventionell gefertigten Serienprodukten möglichst weitgehend physikalisch und geometrisch zu simulieren und dabei geeignete und verfügbare additive Fertigungstechniken unter Einsatz von handwerklicher Herangehensweise einzusetzen, ist die Zielsetzung der additiven Serienproduktion auf die kostenoptimale Verwirklichung von Teilen und Produkten unter Ausnutzung möglichst vieler Vorteile der additiven Fertigung ausgerichtet. Dies erfordert Abläufe, die weder mit konventionellen Denkweisen in der Produktentwicklung noch mit auf Prototyping ausgerichteten universellen Anlagen und Prozessen erreicht werden. Vielmehr bedarf die additive Herstellung von Endprodukten einer industriellen Gesamtkette von der Produktentwicklung bis zur Nutzung des Produktes, besonders aber einer Integration von prozessfähigen additiven Fertigungsschritten in den gesamten Produktionsprozess. Die Einbindung der Expertise von Spezialunternehmen und Dienstleistern mit entwicklungsmethodischen, technologischen und prozesstechnischen Fähigkeiten dient in vielen Fällen der Effektivität und Effizienz in den veränderten Prozessen.

3 Die Branche der Steckverbinder

Abb. 6: Typische Produkte der Branche



Quelle: ZVEI Imagebroschüre Steckverbinder

Die vorgenannten Herausforderungen für die Produkte der elektrischen Verbindungstechnik treffen im Besonderen auch für elektrische Steckverbinder zu. Steckverbinder sind eine Voraussetzung für elektrische und elektronische Verbindungen. In einer zunehmend elektronisierten und digitalisierten Welt sind Steckverbinder der Schlüssel für die Möglichkeit der Vernetzung und Verbindung. Sie werden in allen Bereichen der Elektrotechnik/Elektronik angewendet. Die Vielfalt geht von Miniatur- bis zu großen, schweren Steckverbindern. Grundsätzlich ist der Steckverbinder eine Komponente, die es ermöglicht,

Systeme in der elektrischen Energieübertragung und der elektronischen und optischen Signalübertragung optimal zu nutzen. Abhängig vom Einsatzort und der geforderten Übertragungsqualität werden Steckverbinder so konzipiert, dass sie den Einsatzzweck bzw. die gezielte Anwendung bestmöglich erfüllen. Dies im Hinblick auf technische Gegebenheiten und wirtschaftliche Anforderungen, auf rationelle Herstellungs- und Verarbeitungsverfahren, auf Anpassungen an vorhandene und zukünftige Technologien, auf Umwelt- und ökonomische Bedingungen, permanent steigende Datenübertragungsraten sowie höhere Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit. Damit diese Ansprüche erfüllt werden, sind die Steckverbinder für die Vielzahl der Anforderungen und Einsatzgebiete ausgelegt. Weiterhin stellt die Branche umfangreiche kundenspezifische Steckverbinder bereit. Die Branche beobachtet seit geraumer Zeit die Möglichkeiten, welche sich aus der additiven Fertigung ergeben. Dabei steht nicht nur das schnelle Erstellen von Prototypen im Fokus, sondern auch die Nutzung dieses Produktionsverfahren für die Serienproduktion. Der Markt für Steckverbinder in Deutschland, aber auch in der Welt, hat sich seit Jahren kontinuierlich entwickelt. Die Zuwachsraten sind moderat aber konstant gestiegen. Schwächere Konjunktorentwicklungen haben auch die Steckverbinderbranche getroffen, sind jedoch aufgrund der strukturell fundierten Basis und der strategisch-technologischen Ausrichtung gut aufgefangen worden.

Tabelle 1: Entwicklung des Marktes für elektrische Steckverbinder

Steckverbinder nach Regionen Welt						
Marktgröße	2014 Mio Euro	2015 Mio Euro	2016 Mio Euro	2017 Mio Euro	2018 Mio Euro	2019 Mio Euro
Amerika	8.781	9.041	9.178	9.681	10.162	9.852
EMEA	7.886	8.122	8.324	8.614	8.827	8.647
<i>darunter Europa</i>	<i>7.514</i>	<i>7.793</i>	<i>8.026</i>	<i>8.344</i>	<i>8.590</i>	<i>8.415</i>
Japan	5.602	5.766	5.881	6.174	6.297	6.169
Asien/Pazifik	14.718	15.766	16.392	17.378	18.590	18.953
<i>darunter China</i>	<i>10.034</i>	<i>10.689</i>	<i>11.120</i>	<i>12.232</i>	<i>13.214</i>	<i>13.418</i>
Total	36.986	38.694	39.775	41.847	43.876	43.621

Quelle: ZVEI

4 Was unsere Produkte auszeichnet

4.1 Hauptfunktionen der elektrischen Verbindungstechnik

Steckverbinder bestehen aus vielfältigen Bauteilen, die zusammen die Funktionsfähigkeit dieses steckbaren, elektrischen Verbindungselementes ausmachen. Diese Funktionen sind im Folgenden beschrieben.

Abb. 7: Schnitt in einen Steckverbinder



Quelle: Phoenix Contact

Leiten

Elektrische Steckverbinder sind wesentliche Bestandteile aller elektrischen und elektronischen Systeme. Sie dienen zur Verbindung von elektrischen Leitungen. Durch definierte Kontaktstellen gewährleisten sie die sichere Übertragung von elektrischer Leistung und elektrischen Signalen. Der in erster Linie zu berücksichtigende Parameter für die Qualität von Steckverbindern ist der Übergangswiderstand, welcher wiederum vom Kontaktmaterial, der Kontaktkraft, der Kontaktgeometrie und der Oberflächenrauheit der Kontaktpartner abhängt. Die Anzahl der erforderlichen Steckvorgänge bestimmt die Konstruktion des Steckverbindersystems und damit die Lebensdauer und die Kosten.

Isolieren, Schützen und Sichern

Eine weitere, mindestens genau so wichtige Eigenschaft wie das Leiten von elektrischer Leistung ist der Schutz des Nutzers vor elektrischem Schlag.

Steckverbinder müssen nicht nur die Primärfunktionen Leiten und Isolieren erfüllen, sondern zudem noch Zusatzfunktionen wie Schutz der Kontakte, Fehlsteckschutz, geometrische und farbliche Kodierungen und eine ausreichende mechanische Stabilität mitbringen. Die feste Verbindung der Steckverbinderhälften wird dabei vorausgesetzt, um die Kontaktierung zu sichern.

Bei Signalübertragung muss die Abschirmung von Steckverbindern beachtet werden. Diese Anforderungen

erfordern entsprechende Werkstoffe des Steckverbindergehäuses und die Einhaltung festgelegter geometrischer Randbedingungen zur Vermeidung von Kriechwegen und elektrischen Über- und Durchschlägen.

Umweltbedingungen Widerstehen

Die oben genannten Eigenschaften müssen über die gesamte Lebensdauer der Steckverbinder erbracht werden. Je nach Anforderung muss der für diese Kriterien geeignete Isolierwerkstoff gewählt werden. Die Rand- bzw. Umweltbedingungen können sich dabei über Temperaturen von -40 °C bis $+120\text{ °C}$ mit relativen Luftfeuchtigkeiten von 10 – 95 Prozent, Erschütterungen, Chemikalienangriff bis hin zu Befall von Pilzen und Mikroorganismen erstrecken. All diese verschiedenen Beanspruchungen müssen durch die Steckverbindergehäuse und die Kontaktmaterialien abgefangen werden.

Abb. 8: Rundsteckverbinder mit hoher Schutzart für raue Umgebungsbedingungen



Quelle: Wieland Electric

4.2 Erfüllung von gesetzlichen und normativen Vorgaben

Verbindungstechnik (Steckverbinder) und nicht steckbare elektrische Verbindungstechnik (Reihenklammern, Leiterplattenklammern, Anschlussklammern, ...) werden in allen Bereichen eingesetzt, in denen elektrischer Strom Anwendung findet, zum Beispiel in elektrischen Betriebsmitteln mit einer Nennspannung bis 1.000 V AC bzw. bis 1.500 V DC.

Die elektrische Verbindungstechnik ermöglicht die modulare Strukturierung von Baugruppen, Geräten, Systemen und Anlagen und vereinfacht den Betrieb, die Herstellung und Wartung sowie den schnellen Austausch von Komponenten. Weiterhin erlaubt sie die Integration neuer Funktionalitäten in beste-

Tabelle 2: Übersicht der Technologien und Applikationen

Konsumelektronik	Datentechnik	Kfz-Elektronik	Industrie-elektronik	Telekommuni-kation
Audiogeräte Videogeräte Studioteknik Freizeitelektronik Fotogeräte Sportelektronik Musikinstrumente /-geräte Elektron. Spielzeuge Lichttechnik Elektrowärmegeräte Geschirrspüler Waschpflegegeräte Hauskleingeräte Kühl-, Gefrier- und Wär- megeräte Elektrowerkzeuge Brennwerttechn. für Öl und Gas Heizkessel, -thermen Kraft-Wärme-Kopplung Lüftungstechnik Abgassysteme Klimatechnik Biogasanlagen	Großrechnersysteme PC-Systeme Datennetzwerke Abrechnungssysteme Bürotechnik Sicherungssysteme	Motorelektronik Getriebeelektronik Informationselektronik Komfortelektronik Sicherheitselektronik Funktionsüberwachungs- geräte Energieversorgungselek- tronik Verkehrsleitsysteme	Regenerative Erzeugung Energieversorgung Photovoltaik und Solar- anlagen Flur- und Förderfahrzeuge Gewerb. Elektrogeräte und Maschinen Maschinen elektrisch/elektronische Messgeräte Energieeffizienz Steuer- und Regelungs- technik Industrieautomation Prozessautomatisierung Leistungselektrik Medizintechnik Militär, Luft-, Raumfahrt Bahntechnik	Endgeräte Vermittlungssysteme Navigationsgeräte Verkehrsinfrastruktur und Signaltechnik Daten- und Signalübertrag- ungsgeräte

Quelle: ZVEI

hende Systeme und fördert damit die wirtschaftliche Nutzung. Steckverbinder folgen den Entwicklungen in allen elektrotechnischen Systemen.

Die Flexibilität von Steckverbindern spiegelt sich in den vielfältigen Applikationen wieder, in denen sie zum Einsatz kommen, u. a. in den in Tabelle 2 genannten Branchen und Bereichen.

Elektrische Verbindungselemente sind funktions- und sicherheitsrelevante Bauteile. Sie müssen daher speziellen Anforderungen genügen, um einen sicheren Betrieb innerhalb der technischen Einrichtung, in der diese verbaut sind, aber auch gegenüber dem Benutzer/Bediener zu gewährleisten.

Diese Anforderungen werden durch umfassende normative Vorgaben reguliert. DIN, IEC oder UL Standards beeinflussen Design und Materialauswahl bei der Entwicklung von Produkten der elektrischen Verbindungstechnik.

Regulierung, Normen, Zulassungen

Die kritischen und sicherheitsrelevanten Eigenschaften der Produkte erfordern umfangreiche Regulierungen, Zulassungen sowie Normungen, die den sicheren Einsatz der Produkte gewährleisten. Diese umfangreichen Regularien teilen sich zum Beispiel in regionale Kategorien auf. Für den europäischen Markt gelten beispielhaft:

EU-Richtlinien

EU-Richtlinien werden in die nationalen Gesetzgebungen übernommen und umgesetzt. Daraus leiten sich wiederum Vorschriften und Normen ab.

Beispiele hierfür sind:

- EU-Richtlinie 2001/95/EG – Allgemeine Produktsicherheit
- EU-Richtlinie 2014/35/EU – Niederspannungsrichtlinie
- EU-Richtlinie 2011/65/EU – ROHS
- Errichtungsbestimmungen

Diese regeln die die fachgerechte Errichtung und den sicheren Betrieb von technischen Anlagen und sind v.a. in der VDE 0100 ff. definiert.

Produktnormen (Vertikale Normen)

Zu den Produktnormen zählen z. B.:

- DIN EN 61535 (Steckvorrichtungen)
- DIN EN 61984 (Steckverbinder)
- DIN EN 60947-7-X (Niederspannungsschaltgeräte z. B. Reihenklemmen, Leiterplattenklemmen)

Prüfnormen (Horizontale Normen)

Ein Beispiel für Prüfnormen ist:

- DIN EN 60068-X-X (Umweltprüfungen)

Weitere Vorschriften:

Andere Wirtschaftsräume haben abweichende Regularien und Zulassungsbestimmungen. Über die allgemeinen Vorgaben hinaus sind außerdem die für den jeweiligen Anwendungsbereich (u. a. Bahn-, Medizin-, Chemie-, Lebensmitteltechnik) spezifischen Vorschriften zu beachten, z. B.:

- UL Vorschriften
 - UL94 (Entflammbarkeit)
 - UL746A (Short Term Property Evaluations)
 - HWI (Hot Wire Ignition Test)
 - HAI (High-Current Arc Ignition Test)

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Regularien insbesondere folgende Eigenschaften der Steckverbinder festlegen und sicherstellen, unabhängig vom Fertigungsverfahren:

- Elektrische Eigenschaften
- Thermische Eigenschaften
- Entflammbarkeit/Brennbarkeit
- Umwelt/Medienbeständigkeit
- Verschmutzung
- Werkstoffeigenschaften im Mikrobereich

Die Unternehmen der Branche bringen hier sehr umfangreiches Wissen ein und unterstützen gerne bei der weiteren Detaillierung.

5 Entwicklungsbedarf im Bereich 3D-Druck

5.1 Reproduzierbarkeit der Produkte

Steckverbinder müssen eine Vielzahl von Anforderungen erfüllen. Dazu gehören die elektrischen und mechanischen Eigenschaften des Produktes, die mit geringer Toleranz gewährleistet werden müssen. Der Kunde bzw. Bediener und das elektrische System selbst müssen mit gleichbleibender Sicherheit vor Fehlfunktionen geschützt werden. Dies erfordert in hohem Maße die Sicherstellung der Reproduzierbarkeit der Eigenschaften durch das Produktdesign und die Produktherstellung. Auch die begleitenden qualitätssichernden Maßnahmen müssen in den Prozess der Erzielung einer Reproduzierbarkeit eingebunden werden.

5.2 Integration von Entwicklungs- und Produktionsprozess

Die Eingliederung der additiven Fertigung in den Entwicklungsprozess sollte so früh wie möglich erfolgen. Bereits vor der Definition und dem Aufbau der Produktstruktur muss die mögliche Wahl einer additiven Fertigung mit Blick auf die Anforderungen der Bauteile einfließen. Auch sollte geklärt werden, in welcher Form die additive Fertigung für das Produkt zum Einsatz kommen soll. So bedingt die Auslegung für Serienbauteile eine andere Vorgehensweise als für den Prototypen- oder Ersatzteilbau. Im Zusammenspiel mit der Konstruktion gilt es außerdem, das geeignete Material und das am besten geeignete additive Fertigungsverfahren auszuwählen. Beides steht in Korrelation, da nicht jedes Material für jedes Fertigungsverfahren verfügbar ist und die Materialeigenschaften wesentlich durch die Parameter der additiven Fertigungsprozesse definiert werden. Auch die Reproduzierbarkeit ist durch diese Festlegungen unmittelbar beeinflusst. Auch die Chargen des eingesetzten Materials spielen eine Rolle und sollten dokumentiert werden.

5.3 Integrierte Produktion vom Pre- bis Postprocessing

Der Konstrukteur sollte vertiefte Kenntnisse und nach Möglichkeit Erfahrung in der Auslegung additiv gefertigter Bauteile haben und sich im Idealfall an einer Design-Guideline orientieren können. Um den Vorteil der additiven Fertigung voll auszunutzen zu können und die höheren Kosten des Verfahrens zu relativieren, ist es vielfach sinnvoll, vorhandene Funktionen zusammen zu fassen oder neue Funktionen zu integrieren. Dies bietet zudem den Zusatznutzen von Einsparungen in der Montage. Vermeint-

liche Nachteile der additiven Fertigung, z. B. eine raue Oberfläche, können gegebenenfalls auch als Vorteil ausgenutzt werden. Durch die schnelle Erstellung der Produkte oder Produktmuster kann der Kunde früh in den Entwicklungsprozess eingebunden werden und die Entwicklungsschleifen können effizient und nah am Kunden iteriert werden, was der Produktivität und der Zufriedenheit des Kunden entgegenkommt.

Bei der Anwendung additiver Fertigungstechnologien ist die Fertigung selbst und die Fertigungsprozessentwicklung notwendigerweise unmittelbar mit der Produktentwicklung verbunden. Die Entscheidung über die Auswahl von Fertigungsprozess und Material muss in hohem Maße die Expertise der Fertigung im Sinne einer erweiterten simultanen Entwicklung eingebunden werden.

Das Material sollte fertigungsseitig vor Verwendung einer Qualitätskontrolle unterzogen werden und dabei auf der zu verwendenden Anlage mit Referenzbauteilen charakterisiert werden. Da die Reinheit und Beschaffenheit des Ausgangsmaterials eine große Rolle für die technischen Eigenschaften spielt, sind Kriterien für die Prüfung und Probennahme zu entwickeln.

Die Übergabe der Konstruktionsdaten verläuft idealerweise über einen geschlossenen Prozess und eine gleiche Datenbasis von der Konstruktion bis zur Bereitstellung der Daten an der Maschine und darüber hinaus. Grundsätzlich sollten unabhängig davon schützenswerte Informationen identifiziert werden und der Datenschutz und die Datensicherheit mit geeigneten Maßnahmen gewährleistet werden. In Hinblick auf die Dezentralisierung der Lieferkette und die Einbindung von Dienstleistern sind besondere Anstrengungen zu unternehmen, die Datensicherheit und die Rückverfolgbarkeit und Dokumentation zu gewährleisten.

Additive Fertigungsprozesse erfordern die Erstellung von Baujobs, die quasi als Fertigungslos zu verstehen sind. Um eine hohe Wirtschaftlichkeit zu erhalten, sollte der Bauraum des Gerätes maximal ausgenutzt werden. In Abhängigkeit von der eingesetzten additiven Fertigungstechnologie und den verwendeten AM-Maschinen ist eine Batchfertigung auch verschiedener Bauteile in einem Baujob möglich und aus Kostengründen sinnvoll. Beachtet werden sollte in diesem Zusammenhang, dass bei weitgehen-

der Bauraumausnutzung die Fertigungsergebnisse von der Lage im Bauraum abhängen können. Bei einigen AM-Technologien sind Supportstrukturen in Abhängigkeit von der Bauteilstruktur erforderlich. Hier gilt es, entweder die Supportstrukturen durch eine geeignete Konstruktion oder Bauteilausrichtung im Bauraum zu minimieren, sie leicht entfernbar zu gestalten oder in Bereiche zu verlegen, die weniger kritisch für die Bauteileigenschaften sind. In einigen Fällen lässt sich auch die Supportstruktur als bleibendes Konstruktionselement in das Bauteil integrieren. Die Entfernung der Supportstruktur ist in jedem Fall ein kostenintensiver Post-Prozess.

Zur Berechnung des Baujobs und dessen Vorbereitung für die AM-Maschine muss ein Parametersatz erstellt werden, in dem die Bauparameter wie Schichtdicke, Laserleistung und Energiedichte, Scangeschwindigkeiten und weitere Einstellungen für die Maschine hinterlegt sind. Dieser Parametersatz ist abhängig von der verwendeten Maschine und dem Material. Er kann Einfluss auf die mechanischen und elektrischen Eigenschaften des Bauteils haben und ist deshalb Bestandteil der Qualitätssicherung. Natürlich muss zusätzlich zur gleichbleibenden Qualität des Rohmaterials auch der Fertigungsprozess überwacht werden. Qualitätsprozesse zur Überwachung des Prozesses im Zusammenspiel mit Material und Charge müssen entwickelt werden.

Abb. 9: Produktkonfigurator für Verbindungstechnik



Quelle: Weidmüller Interface

Nach Beendigung des Baujobs der Maschine, müssen die Teile häufig nachbearbeitet werden. Als erstes wird das Bauteil in der Regel von Restmaterial, Supportstrukturen und Bauplattenanhaftungen (häufig erst nach einer Wärmebehandlung zur Reduktion der Wärmespannungen) befreit, was in vielen Fällen noch ein auf Prototyping ausgelegter Arbeitsschritt ohne zusätzliche Werkzeuge ist. Sind die Anforderungen an die Toleranzen, die Oberflächengüte oder

die optische Bauteilanforderungen höher als über die additive Fertigung direkt erreichbar, erfordert dies eine Nachbearbeitung der Funktionsflächen.

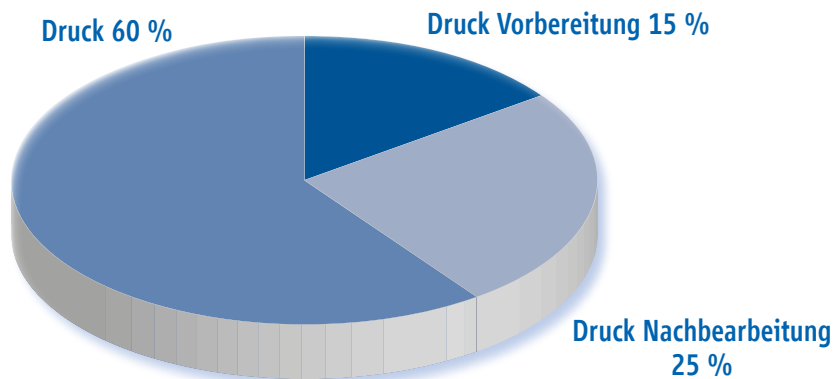
5.4 Durchgängige Datenprozesse vom Kunden zum Kunden & Individualisierung der Produkte

Die weiterschreitende Digitalisierung der Systeme, Produkte und Prozesse erlaubt es heute nicht nur, vorhandene Vorgehensweisen z. B. durch Datenanalysen besser zu verstehen und weiter zu optimieren, sie ermöglicht auch die anwendungsoptimierte Anpassung von Anlagen und Systemen. Insbesondere ermöglichen Produkt-Konfiguratoren den Anwendern die passgenaue Lösung für ihre Verbindungstechnikaufgabe zu finden, zu bestellen und geliefert zu bekommen. Da es sich hier häufig um geringe Stückzahlen handelt, kann die additive Fertigungstechnologie in solchen Fällen einen Mehrwert bei der Herstellung der Bauteile schaffen. Aber auch die Einbindung der Produktionsmaschinen in den durchgängigen Datenprozess vom Kunden zum Kunden kann durch Additive Manufacturing-Ansätze unterstützt werden.

5.5 Wirtschaftlichkeit bei der Herstellung von Serienprodukten

Die Branche der Steckverbinderhersteller liefert seit Jahrzehnten Produkte, die die funktionalen und normativen Vorgaben erfüllen. Bei den Kunden der Branche hat sich in dieser Zeit eine Zahlungsbereitschaft für die Produkte eingepreigt. Bei dem bisherigen Nutzen der additiven Fertigung zur Erstellung von Mustern und Prototypen war dieser Einfluss noch gering. Bei einer additiven Fertigung von verkaufsfähigen Produkten ergeben sich jedoch große Anforderungen an die Verringerung der Herstellkosten, die sich zusammensetzen aus den Anlagenkosten, den Materialkosten sowie den Prozesskosten für die Vorbereitung der Produktion und natürlich die Nacharbeit und die Qualitätskontrolle der gefertigten Produkte. Derzeit sind die investiven Aufwände, und die dauerhaften Prozess-Aufwendungen bei gegebenen Produkten ohne zusätzlichen Nutzen und sehr hohen Stückzahlen nur sehr schwer zu am Markt vertretbaren Herstellkosten verwirklichtbar. Hieraus lassen sich wesentliche Anforderungen an zukünftige Produkte, besonders aber an die AM-Industrie ableiten.

Abb. 10: Typische Kostenverteilung für Metall-Pulverbett-Technologien

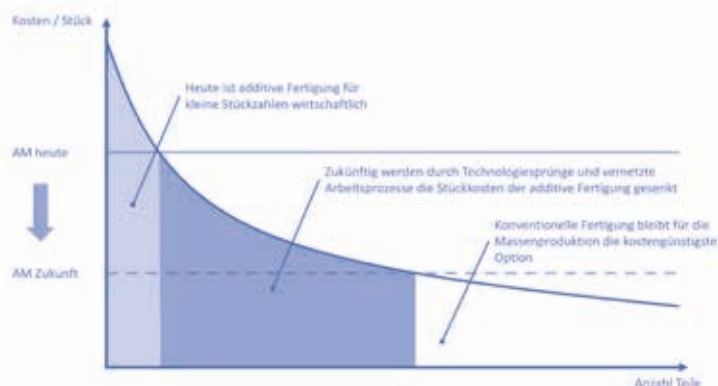


Quelle: Wohlers Associates Report 2019

Die Branche der elektrische Verbindungstechnik sieht einen Bedarf, speziell an die Anforderungen dieser Industrie angepasste Materialien, Anlagen und Prozesse zu entwickeln, die zukünftig auch eine wirtschaftliche Produktion zulassen. Ansatzpunkte zur Verwirklichung aus Sicht der Branche sind:

- Angepasste Materialien, die neben den technischen Eigenschaften auch einen Kostenwettbewerb mit konventionellen Fertigungsmaterialien bestehen.
- Integrierte digitale Entwicklungssoftware z. B. für das Produktdesign, die produktionsgerechte Fertigung und die materialabhängige Parameterverwaltung der additiven Fertigungsmaschine, die eine einfache Lizenzierung erlaubt.
- Anpassung der technischen Notwendigkeiten der additiven Fertigungsanlagen an die Branche.
- Prozessanpassung für die Nachbearbeitung von Bauteilen.
- Verkettung und Automatisierung des gesamten Produktionsprozesses.
- Standardisierung und Optimierung der Ausbildung aller an der Produktrealisierung beteiligten Mitarbeiter, insbesondere in Entwicklung und Produktion.

Abb. 11: Stückkosten in Abhängigkeit von Fertigungsmenge



Quelle: <https://www.admantec.com/de/Anwendungen/Anwendungsfelder>

5.6 Kostenreduktion

Traditionellen Fertigungsmethoden wie Spritzgießen, Stanztechnik und andere sind werkzeuggebunden und investitionsintensiv. Break-Even-Punkte der Stückkosten sind in der Regel erst nach mehreren tausend Stück zu erreichen. Für kleinere Stückzahlen können subtraktive Fertigungsverfahren wie Dreh- und Frästechnik mitunter angewendet werden, die aber fertigungstechnischen Limitierungen etwa in den mechanischen oder geometrischen Eigenschaften unterliegen. Hier bieten additive Fertigungstechnologien unter Umständen Vorteile und sind oftmals auch kostengünstiger.

Die gewichtsbezogenen Herstellkosten der additiven Fertigung sind derzeit zumeist sehr hoch. Sie sind geprägt durch die hohen Werkstoffkosten, die langen additiven Prozesszeiten und erhebliche Aufwendungen im Bereich der dem eigentlichen additiven Fertigungsprozess vor- und nachgelagerten Prozesse sowie die bisher unzureichende Integration in die gesamten Fertigungsketten (siehe Abb. 9). Eine Reduktion der Werkstoffkosten, eine Steigerung der Produktivität der AM-Prozesse einschließlich einer Reduktion individueller Handarbeit in der gesamten Prozesskette sowie die Verkettung der AM-Prozesse mit der gesamten Fertigungskette ist erforderlich, um für die Branche ein akzeptables Kostenniveau zu erreichen.

Im derzeitigen Dienstleistungsmarkt der additiven Fertigung sind ausreichende Kapazitäten für das Prototyping vorhanden. Einige Dienstleister verfügen darüber hinaus über das notwendige Know-how und die Betriebsmittel für eine auf Endprodukte ausgerichtete Fertigung. Auch das Potenzial für die grundsätzliche Qualitätssicherung wird in einigen Fällen vorgehalten.

Allerdings fehlt es den 3D-Druck-Dienstleistern meist an den Kenntnissen über die branchen- und unternehmensspezifischen Produkthanforderungen und Qualitätsmerkmalen der elektrischen Verbindungstechnik. Auch ist die Frage der rechtlichen Produktverantwortung zu klären.

Eine weitreichende Investition in die additive Fertigungstechnik wird für die Unternehmen der Steckverbinderbranche deshalb erst dann sinnvoll, wenn eine ausreichende Auslastung eigener AM-Ausrüstung gegeben ist.

Die Zusammenarbeit mit den AM-Dienstleistern muss allerdings auf eine neue Qualitätsstufe gehoben werden, da bei der additiven Fertigung eine intensivere Verbindung zwischen Produktentwicklung und additiven Fertigungsprozessen unumgänglich ist.

Durch die starke Integration von Produkt- und Prozessentwicklung ist bei der additiven Fertigung eine gute Kenntnis der Möglichkeiten und Limitierungen dieser Technologien bei allen an der Produktrealisierung Beteiligten notwendig. Die Zuhilfenahme von neuen Entwicklungs- und Simulationswerkzeugen bis hin zum generativen Design und der multidisziplinären Optimierung bekommt durch die additive Fertigung neuen Nährboden. Auch werden ein digitaler Zwilling und eine durchgängige Datenbasis notwendig.

In vielen Fällen ist es möglich, die Länge der Produktentwicklungsprozesse zu verkürzen. Dies kann für einen schnelleren Markteintritt oder für die Verwirklichung höherer Designambitionen, die Bewältigung von höherer Kritikalität der Produkte oder erhöhte Zulassungsaufwendungen genutzt werden.

Die Reduktion der Produktentwicklungszeiten und die zunehmende Automatisierung von Entwicklungsprozesse sind auch ein Schlüssel zur Reduktion der Entwicklungskosten.

5.7 Branchentypische Materialeigenschaften

Die Materialkennwerte der mit additiven Fertigungsverfahren hergestellten Bauteile unterscheiden sich im Allgemeinen je nach Aufbaurichtung, Schichtdicke, Energieeintrag, Verfahrensgeschwindigkeit und vielen weiteren Parametern, die bislang teilweise nicht systematisch untersucht wurden.

Daher scheint es unumgänglich, dass alle Datenblattangaben, welche eine Richtungsabhängigkeit zeigen, in Abhängigkeit der Aufbaurichtung in Raumrichtung geprüft und angegeben werden. Nur so kann die Anwendbarkeit der Kennwerte bewertet und zum Beispiel die Aufbaurichtung und Anordnung des Bauteils im Bauraum mit der notwendigen Sicherheit festgelegt werden.

Isolierende Materialien

Die hier zum Einsatz kommenden Kunststoffe haben die Funktionen der elektrischen Isolation, des Schutzes und Sicherens sowie dem Flammenschutz bei einer hohen Bauteillebensdauer zu erfüllen.

Mindestanforderungen an die Inhaltsstoffe nach RoHS / REACH:

- Blei (0,1 %)
- Quecksilber (0,1 %)
- Cadmium (0,01 %)
- Sechswertiges Chrom (0,1 %)
- Polybromierte Biphenyle (PBB) (0,1 %)
- Polybromierte Diphenylether (PBDE) (0,1 %)

Weitere Anforderungen zu den Stoffdaten:

- Beschreibung der Flammenschutzsystem mit Angabe der Basispolymere nach ISO 1043-1 bis 4 und
- Kennzeichnung des Flammschutzsystems nach ISO 1043-4
- Anforderungen an weitere Zusatzstoffe wie Migrationsfreiheit
- keine Gefährdung der Elektronikkomponenten etc.

Mindestanforderungen an die Brennbarkeit

Leiterplattensteckverbinder nach UL1059-Anforderung Einstufung UL 94 V0 oder V2 sowie HWI und HAI nach UL 746A auf PLC <2 nach Brandeinstufung UL 746C oder ISO 60695.

Tabelle 3: Übersicht der Technologien und Applikationen

Material Characterization	Test Method	Units	Value		
Chemical designation	DIN EN ISO 1043-ff				
Filler	DIN EN ISO 1043-2				
FR (flame retardant)-key	DIN EN ISO 1043-4				
Trade name					
Manufacturer					
Color					
Density	DIN EN ISO 1183	Kg/m ³			
Mechanical (conditioning 23 °C – 50 % r.H.)			0° vertical	45° tilted	90° horizontal
Tensile modulus	DIN EN ISO 527	MPa			
Yield stress or tensile stress at break	DIN EN ISO 527	MPa			
Yield strain or tensile strain at break	DIN EN ISO 527	%			
Impact strength unnotched	DIN EN ISO 179/1eU				
Break information unnotched					
Impact strength notched	DIN EN ISO 179/1eA	KJ/m ²			
Break information notched					
Hardness	DIN 53505	Shore (A/D)			
Thermal			0° vertical	45° tilted	90° horizontal
Temperature of deflection under load 1.8 MPa (HDT A)	DIN EN ISO 75-1/-2	°C			
Temperature of deflection under load 0.45 MPa (HDT B)	DIN EN ISO 75-1/-2	°C			
Thermal endurance TI	20,000 h	IEC 60216-1	°C		
Thermal endurance T	5,000 h	IEC 60216-1	°C		
Flammability (UL94)	0.40 mm	IEC 60695-11-10	Class/color		
	0.71 mm	IEC 60695-11-10	Class/color		
	1.50 mm	IEC 60695-11-10	Class/color		
	3.00 mm	IEC 60695-11-10	Class/color		
Glow-wire flammability (GWFI)	0.40 mm	IEC 6069-2-12	°C		
	0.71 mm	IEC 6069-2-12	°C		
	1.50 mm	IEC 6069-2-12	°C		
	3.00 mm	IEC 6069-2-12	°C		
Glow-wire ignition (GWIT)	0.40 mm	IEC 6069-2-13	°C		
	0.71 mm	IEC 6069-2-13	°C		
	1.50 mm	IEC 6069-2-13	°C		
	3.00 mm	IEC 6069-2-13	°C		
Relative temperature index electric (RTI elec.)	UL 746 B	°C/mm			
Relative temperature index impact (RTI Imp.)	UL 746 B	°C/mm			
Relative temperature index strength (RTI Str.)	UL 746 B	°C/mm			
Electrical			0° vertical	45° tilted	90° horizontal
Comparative tracking index (CTI)	IEC 60112	V			
Volume resistivity	IEC 60093	Ω – cm			
Dielectric strength	IEC 60243-1	kV/mm			
Relative Permittivität 1 MHz (ε _r)	IEC 60250	F/m			
Dissipation 1MHz (tan δ)	IEC 60250				

Quelle: ZVEI

Leitfähige Materialien

Der elektrische Kontakt in einem Steckverbinder wird immer über metallische Bauteile hergestellt. Zur Anwendung kommen Kupfer- und Kupferlegierungen in Form von Bändern, Stangen oder Draht, auf die eine metallischen Beschichtung, meist aus Zinn oder Silber, aufgebracht wird. Traditionell werden Halbzeuge aus Kupfer oder Kupferlegierungen verwendet und über Umformung (Band) oder Zerspanung (Stangen, Draht) in die Form des Steckverbinders überführt. In diesem Abschnitt werden die Anforderungen an und die Materialeigenschaften (Grundwerkstoff plus Beschichtung) von Steckverbindern definiert, die additiv hergestellt werden.

Tabelle 4

Funktionale Eigenschaften:	
Aufbringen der Kontaktkraft	E-Modul, Streckgrenze des Grundwerkstoffs
Übertragung von Signalströmen	moderate elektrische Leitfähigkeit des Grundwerkstoffs
Übertragung von hohen Strömen ohne zu hohe Selbsterwärmung	hohe Leitfähigkeit des Grundwerkstoffs
Niedriger Kontaktwiderstand	geringe Oberflächenrauigkeit des Grundwerkstoffs und Beschichtbarkeit, sowie Verwendung einer geeigneten Beschichtung
Niedrige Steckkräfte	mittlere Härte der Beschichtung
Mehrfach-Steckungen ermöglichen	Verschleißfestigkeit der Beschichtung
Kontaktsicherheit über Lebensdauer	Chemische Beständigkeit von Grundwerkstoff und Beschichtung
Thermische Stabilität des Kontakts	Relaxationsbeständigkeit des Grundwerkstoffs
Weiterverarbeitungseigenschaften:	
Verbindung zu weiterführenden Kabeln und Leiterbahnen	in Abhängigkeit des Weiterverarbeitungsverfahrens z. B.: Lötbarkeit, Schweißbarkeit (Ultraschall, Laser) oder Umformbarkeit (bei Crimpverbindung)

Quelle: ZVEI

Normen zu Kupfergrundwerkstoffen

- DIN EN 1652 Kupfer und Kupferlegierungen – Platten, Bleche, Bänder, Streifen und Ronden zur allgemeinen Verwendung
- DIN EN 1654 Kupfer und Kupferlegierungen – Bänder und Federn für Steckverbinder
- DIN EN 13388 Kupfer und Kupferlegierungen – Übersicht über Zusammensetzungen und Produkte
- DIN EN 13599 Kupfer und Kupferlegierungen – Platten, Bleche und Bänder für Anwendungen in der Elektrotechnik
- DIN EN 13148 Kupfer und Kupferlegierungen – Feuerverzinnte Bänder
- DIN EN 12163 Kupfer und Kupferlegierungen – Stangen zur allgemeinen Verwendung
- DIN EN 12164 Kupfer und Kupferlegierungen – Stangen für die zerspanende Verarbeitung
- DIN EN 12166 Kupfer und Kupferlegierungen – Drähte zur allgemeinen Verwendung

Tabelle 5: Generisches Datenblatt für Metalle

Material Characterization	Test Method	Units	Value		
Chemical designation	DIN EN 1652 u. a.				
Trade name					
Manufacturer					
Density	DIN EN ISO 1183	Kg/m ³			
Mechanical (conditioning 23 °C – 50 % r.H.)			0° vertical	45° tilted	90° horizontal
Tensile Strength	DIN EN ISO 6892-1	MPa			
Yield strength	DIN EN ISO 6892-1	MPa			
Elongation at break	DIN EN ISO 6892-1	%			
Notch impact strength	DIN EN ISO 148-1	J			
Young's modulus	DIN EN ISO 6506-1	GPa			
Hardness (Brinell)	DIN EN ISO 6508-1				
Hardness (Rockwell)	DIN EN ISO 6507-1				
Hardness (Vickers)	DIN EN ISO 6506-1				
Surface roughness	DIN EN ISO 4288				
Thermal			0° vertical	45° tilted	90° horizontal
Solidus temperature		°C			
Liquidus temperature		°C			
Coefficient of thermal expansion		10 ⁻⁶ ·K ⁻¹			
Specific thermal capacity		J/(g·K)			
Thermal conductivity		W/(m·K)			
Electrical			0° vertical	45° tilted	90° horizontal
Electrical conductivity		MS/m			
Specific electrical resistance		(Ω·mm ²)/m			
Temperature coeff. of electrical resistance					
Fabrication properties			0° vertical	45° tilted	90° horizontal
Cold formability					
Hot formability					
Solderability					
Weldability with arc welding processes			Risks with Zn containing copper alloys and oxygen containing pure coppers.		
Welding, other processes (US, resistance, ...)					
Machinability					

Quelle: ZVEI

Grundsätzliche Anforderungen zur Kennwertermittlung

Alle Datenblattangaben, die eine Richtungsabhängigkeit zeigen, müssen in Abhängigkeit von der Aufbaurichtung in Raumrichtung geprüft und angegeben werden. Nur so kann der Anwender entscheiden, wie wichtig die Abweichungen sind bzw. wie er die Aufbaurichtung des Bauteils wählt. Ähnliches gilt für die verwendeten Bauparameter. Eine Standardisierung der Datenblattangaben mit dem Ziel der Vergleichbarkeit und einer besseren Nutzbarkeit in der Integration von Produkt- und Prozessentwicklung ist dringend erforderlich.

Zudem muss untersucht werden, wie sich die Anordnung der Bauteile beim Herstellprozess im Bauraum der additiven Fertigungsanlagen auf die Materialkennwerte auswirken bzw. unter welchen Randbedingungen die Probekörper hergestellt wurden.

Die Minimalwerte sollten zur sicheren Bauteilauslegung genutzt werden können. Die Mittelwerte sind dagegen nur zum Vergleich mit den bisher bekannten Standard KU-Datenblättern heranzuziehen.

Die wesentlichen Anforderungen an die Materialkennwerte:

- Minimalwerte zur sicheren Bauteilauslegung.
- Mittelwerte nur zum Vergleich mit den bisher bekannten Standard KU-Datenblättern.
- Verarbeitungshinweise zur Erstellung der Probekörper.
- Daraus resultierende Prozessempfehlungen.
- Hinweise zu möglichen Features wie Dünnwandigkeit und Oberflächenrauheit.

- Der bei der Probekörperherstellung eingesetzte Materialzustand z. B. beim Lasersintern die Kreislaufpulverqualität.

Reproduzierbare Herstell- und Prozessparameter für Probekörper

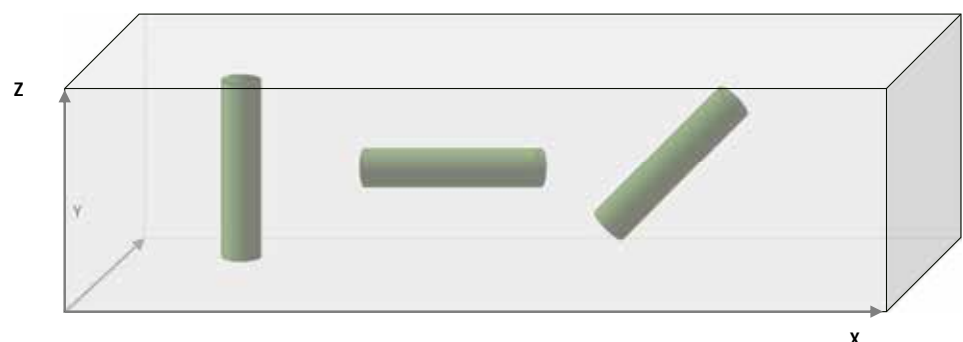
Die bekannten Festlegungen für die Probekörperherstellung gemäß EN ISO 294 aus konventionellen thermoplastischen Werkstoffen zeigen, wie wichtig eine einheitliche und standardisierte Vorgehensweise bei der Herstellung und Prüfung der Probekörper ist, um vergleich- und reproduzierbare Daten zur Materialcharakterisierung zu erhalten. Das legt nahe, dass diese Vorgehensweise auch für die Werkstoffe der additiven Fertigungsverfahren angewendet werden sollte.

Einheitliche Probekörper für den 3D-Druck müssen noch standardisiert werden hinsichtlich:

- Der Aufbaurichtung und der Besprichungsrichtung bei der Prüfung.
- Des Parameterfensters aus den verschiedenen 3D-Fertigungsprozessen.

Die hier vorgeschlagene Orientierung der Probekörper sollte im Datenblatt immer zu den Prüfwerten mit vermerkt werden. Genauso wie die entscheidenden Prozessparameter. Nur so kann eine Reproduzierbarkeit beim Bauteilproduzenten sichergestellt werden.

Abb. 12: Schematische Probekörperanordnung im Bauraum von additiven Fertigungsanlagen und die Schichtanordnung im Probekörper in Beanspruchungsrichtung



Quelle: Prof. Dr. Franz-Josef Villmer, Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe

6 Zusammenfassung

Die Branche der Hersteller von Produkten für die elektrische Verbindungstechnik und insbesondere die Hersteller von Steckverbindern entwickeln ständig innovative Ansätze, um die sich wandelnden Marktbedürfnisse unter Berücksichtigung der gegebenen Regularien zu erfüllen. Dabei sind sie offen für neue Technologien, die die Produkte und Prozesse verbessern. Insbesondere haben die Hersteller Interesse daran, die innovativen Ansätze der additiven Fertigung aufzunehmen und für ihre Bedürfnisse nutzbar zu machen.

Diese Broschüre zeigt auf, für welche Themengebiete gemeinsame Lösungen erarbeitet werden müssen.

Wir als Branche bieten interessierten Unternehmen und Verbänden die Mitarbeit an der Weiterentwicklung der in dieser Broschüre eingeforderten Themen an.

Ein ZVEI Arbeitskreis in dem ein großer Teil der Unternehmen zusammenarbeitet ermöglicht hier eine übergreifende und koordinierte Zusammenarbeit.

7 Beteiligte Unternehmen

Conec Elektronische Bauelemente GmbH
Franz Binder GmbH & Co. Elektrische Bauelemente KG
Harting Stiftung & Co. KG
Kostal Kontakt Systeme GmbH
Lumberg Connect GmbH
Metz Connect GmbH
Murrelektronik GmbH
Otto Dunkel GmbH
Phoenix Contact GmbH & Co. KG
Protiq GmbH
Spinner GmbH
Stäubli Electrical Connectors GmbH
TE Connectivity Germany GmbH
Telegärtner Karl Gärtner GmbH
Wago Kontakttechnik GmbH & Co. KG
Weidmüller Interface GmbH & Co. KG
Wieland Electric GmbH
Wieland-Werke AG

Mit freundlicher Unterstützung:

Prof. Dr. Franz-Josef Villmer, Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe



ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik
und Elektronikindustrie e.V.
Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt am Main

Telefon: +49 69 6302-0
Fax: +49 69 6302-317
E-mail: zvei@zvei.org
www.zvei.org