

Funktionale E-Integration mittels Wire Encapsulating Additiv Manufacturing

„Leitungssatz-Hub: Trendausblick am 11. Juni“- Referent: Fabian Ziervogel

Status Quo Motivation

- Verteilte Produktion v. Subkomponenten
 - Assembling in Niedriglohnländern
 - Lange Transportwege
-
- Hohe Lieferzeiten
 - Hohe CO₂ Emission
 - Kontrollverlust

Ziel

- Vollständige, lokale Produktion durch Automatisierung
- On-Demand: Bedarfsgerechte, flexible Produktion unterschiedlicher Produkte mittels Leiterintegrativer Fertigung

PRODUCE PRODUCTS LOCALLY

Bedarf

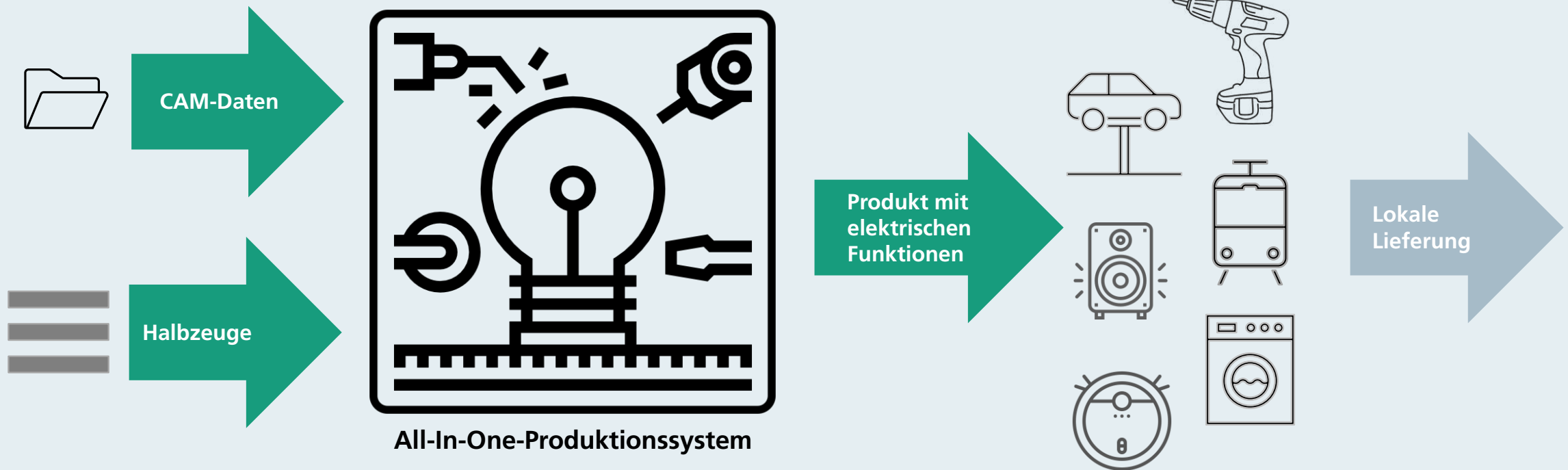
- Manuelle Prozesse
vollautomatisieren
- Komplexe
Formwerkzeuge
reduzieren

FUNCTIONAL

Lösungsansatz

All-In-One-Produktionssystem zur generativen Herstellung von elektrischen Funktionen

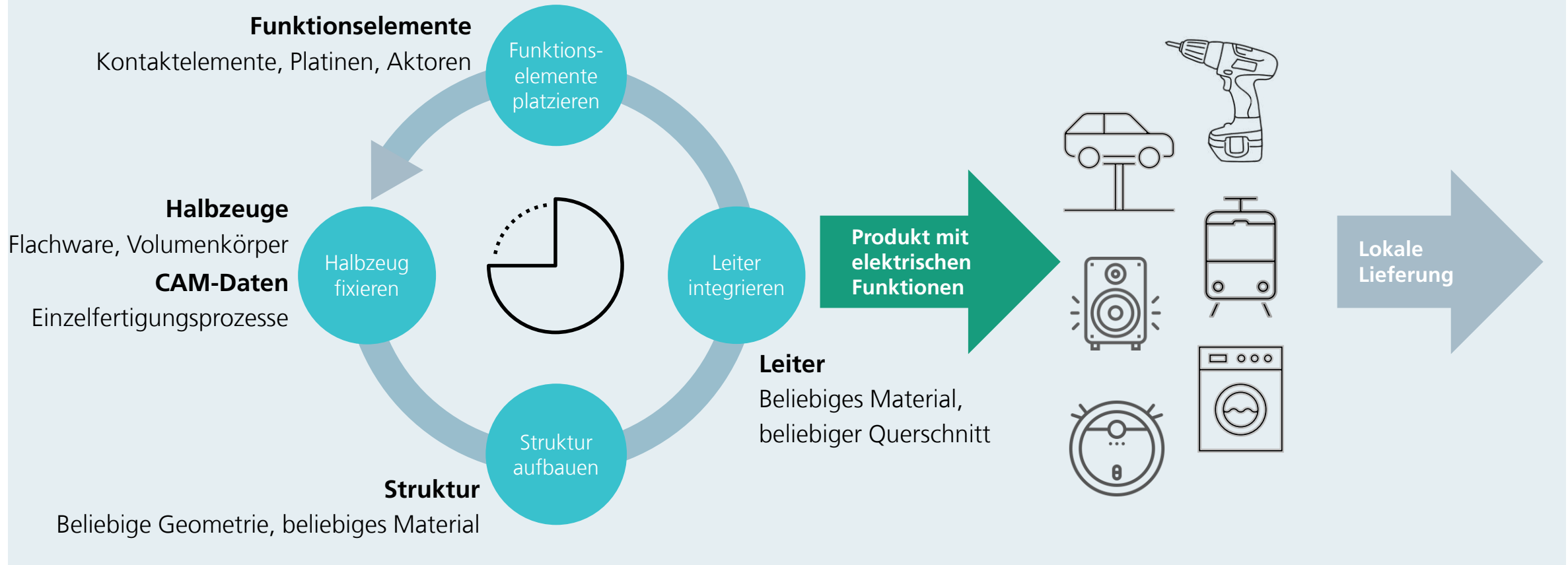
Lokale Fertigung ohne Zulieferung von Subkomponenten



Lösungsansatz

All-In-One-Produktionssystem zur generativen Herstellung von elektrischen Funktionen

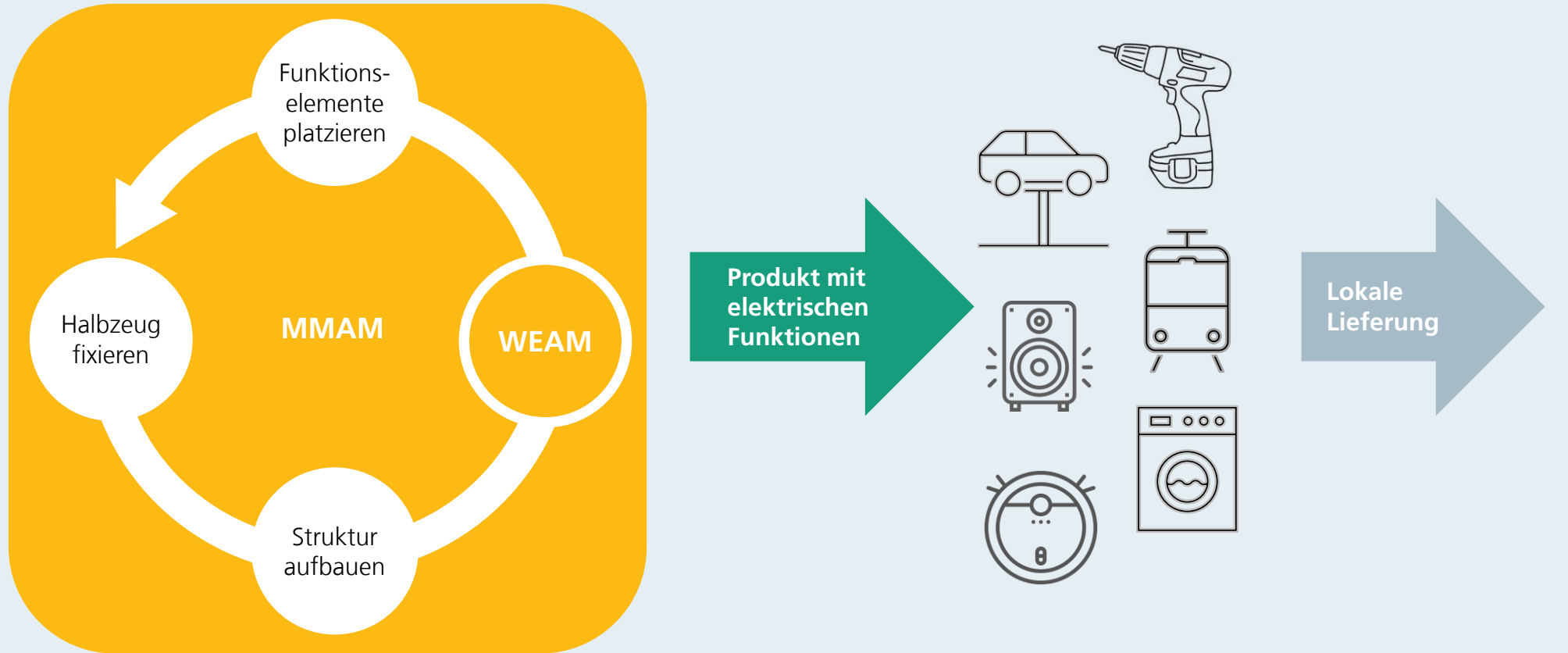
Lokale Fertigung ohne Zulieferung von Subkomponenten



Lösungsansatz

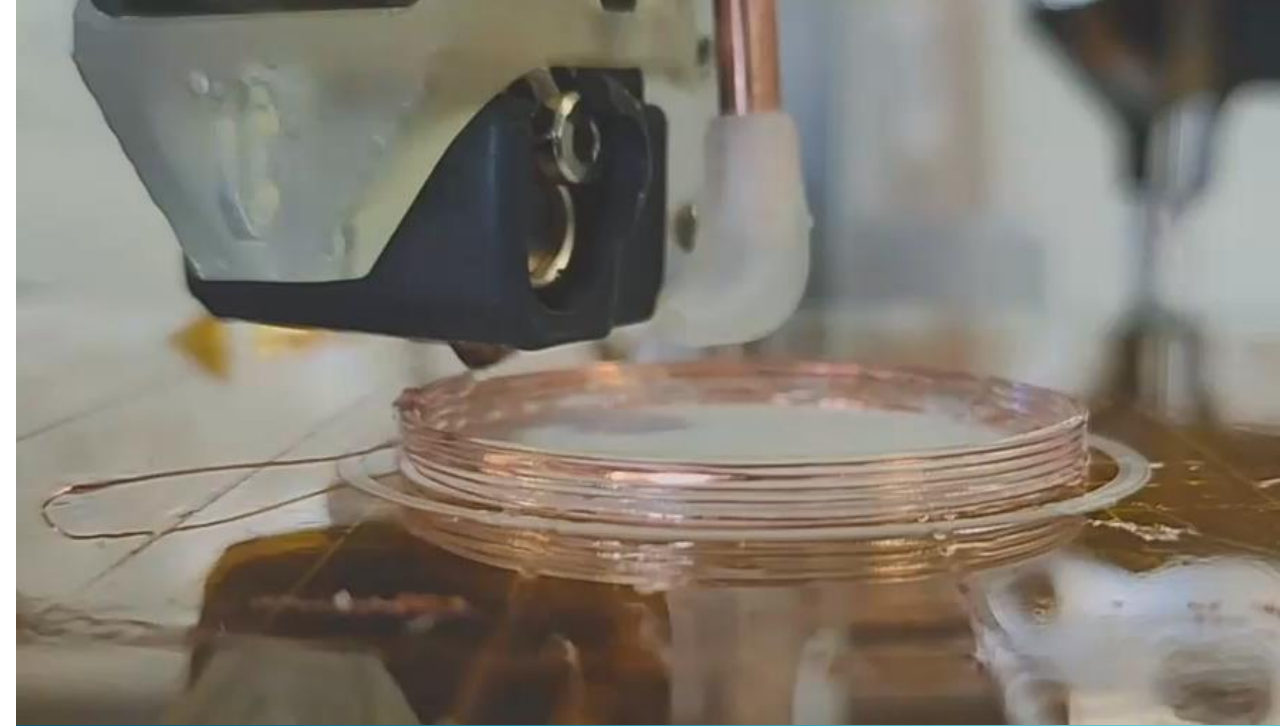
All-In-One-Produktionssystem zur generativen Herstellung von elektrischen Funktionen

Lokale Fertigung ohne Zulieferung von Subkomponenten



MMAM - Multi Material Additive Manufacturing

ein Werkstück wird schichtweise aus verschiedenen Materialien (Kunststoffen, Metallen, Naturstoffen) aufgebaut und mit Halbzeugen (Platinen, Magneten, Folien, Textilien, usw.) ausgestattet.



WEAM – Wire Encapsulating Additive Manufacturing

Technologie zur Integration von Fasern / Drähten / Leitern mit variabler Polymerummantelung in verschiedene Umgebungen.

WEAM-Verfahren

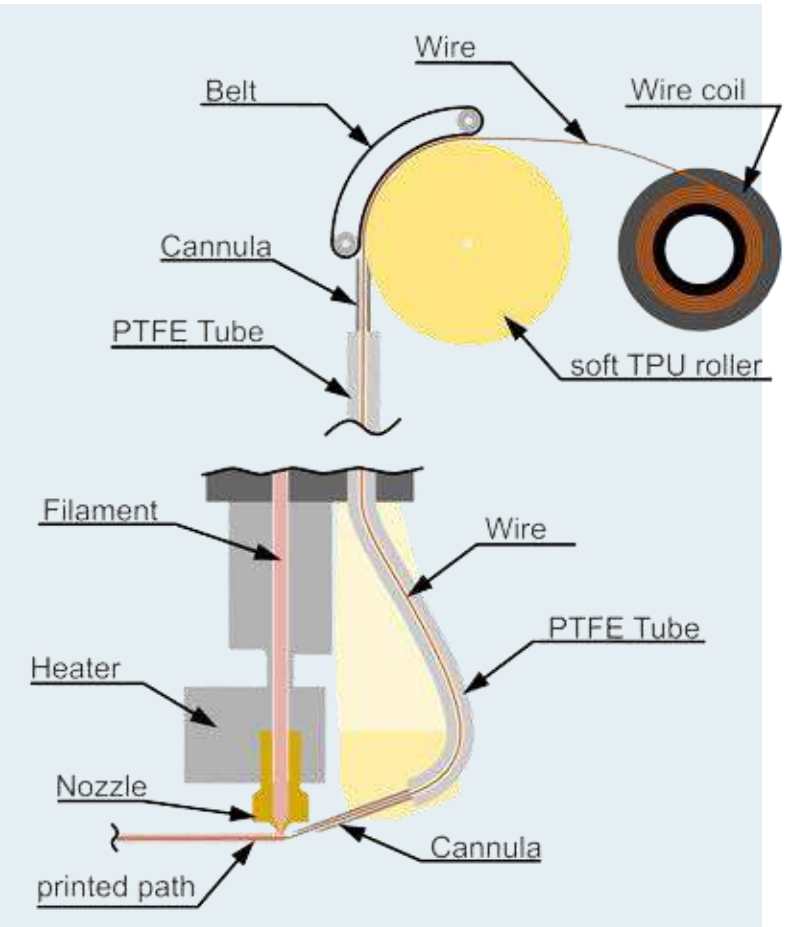
Was ist das Konzept? - Technologiegrundlagen

Wire Encapsulating Additive Manufacturing – WEAM

- Anbindung durch zweistufigen Extrusionsprozess vom Leiter- und Mantelmaterial in direktem Nachlauf auf dem Werkstück
- Einmantelung um den Draht wird additiv geschaffen

Prozesscharakteristiken:

- Drahtzufuhr erfolgt Weggeregelt über ein Vorschubsystem
- Draht wird mit großem Biegeradius in einem Winkel von 15-45° aufs Bauteil geführt
- Flüssiges Mantelmaterial wird perpendicular zum Leiter aufgebracht
 - Menge, Form und Vorhandensein des Mantelmaterials können adaptiv gesteuert werden
- Werkzeugsystem ist unabhängig rotationsfähig

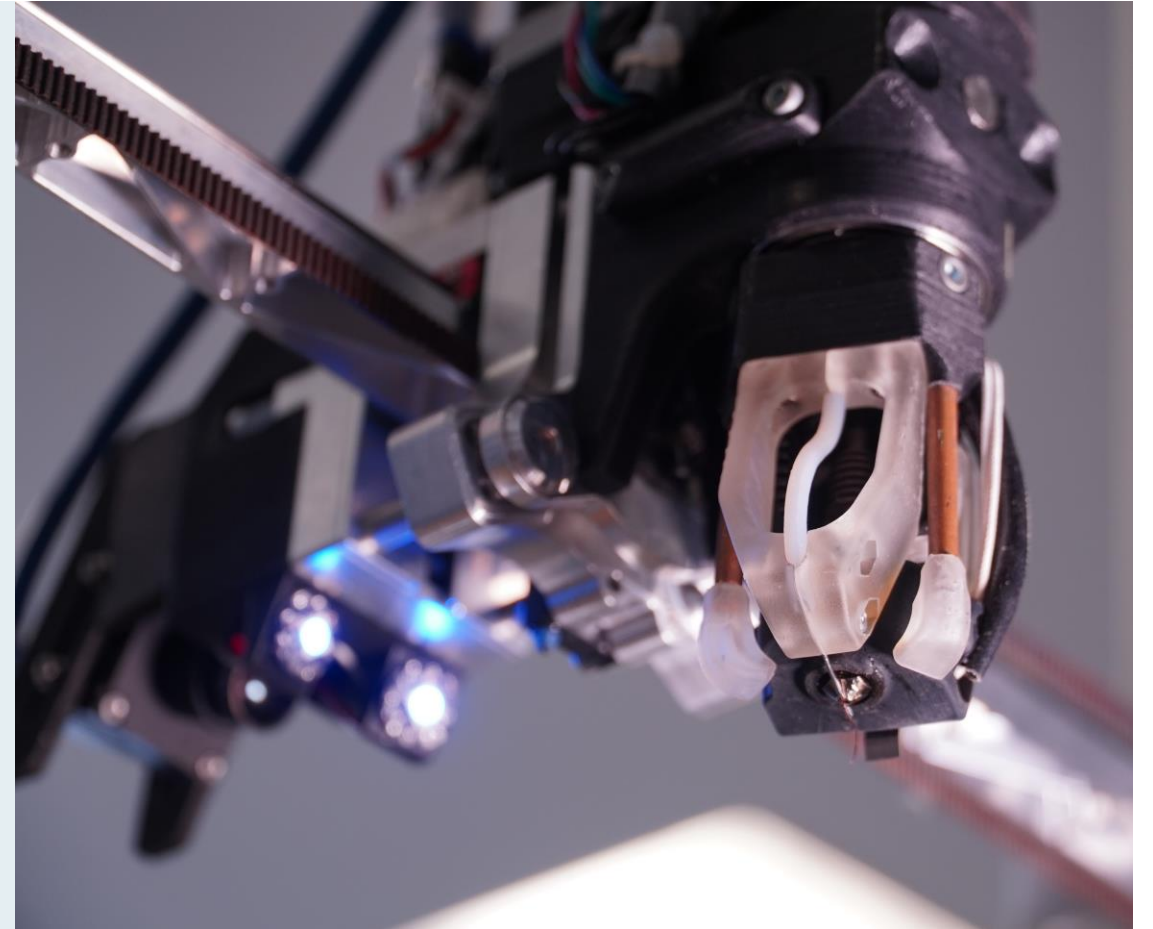


WEAM-Verfahren

Wie wird das umgesetzt? - Anlagentechnik

Werkzeugkopf Version 1 am Fraunhofer IWU:

- Umsetzung entsprechend der Patentanmeldung: DE1020222205807A1
- Geteiltes System mit Endeffektor und Zuführsystem
 - Werkzeugkopf **endlos rotierbar**, 60mm breit, Gewicht <500g
 - Zuführeinheit statisch innerhalb der Anlage zur Bereitstellung von Draht, Polymer, Druckluft und elektrische Schnittstelle
- Extrusionssystem für thermoplastische Materialien
 - Arbeitstemperaturen bis **500°C**
- Zuführung von Drähten **Ø 0,05 – 0,8 mm**
 - Ablagegeschwindigkeit bis **180mm/s**

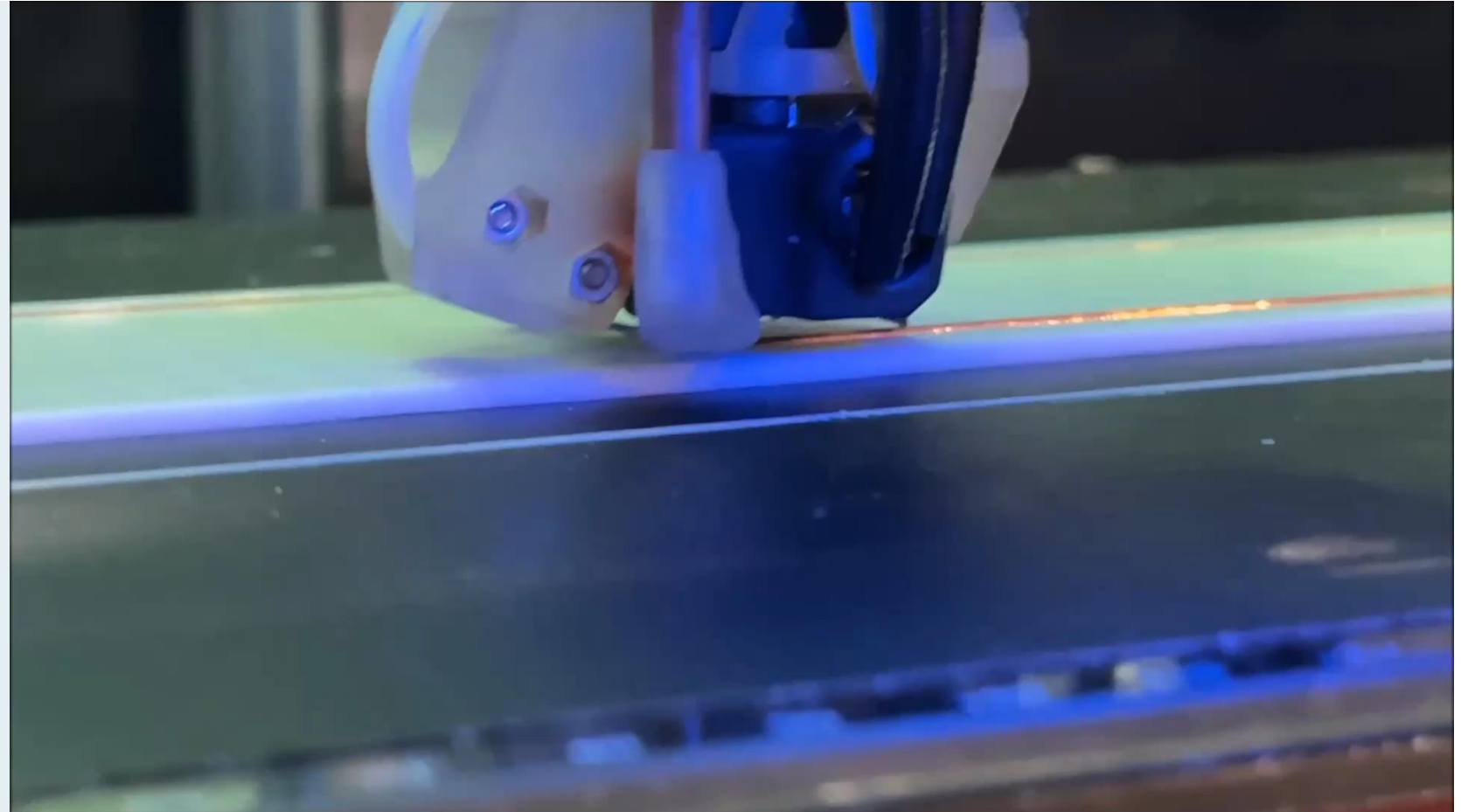


WEAM-Verfahren

Wie sieht der Prozess aus? - Prozessaufnahmen

Druckprozess (Formnext 2022):

- Aufdruck auf **PLA-Probenkörper** zu Demonstrationszwecken
- **Ø 0,2 mm** Kupferlackdraht mit **PLA** Mantelmaterial
- Prozessgeschwindigkeit: **50mm/s**
- Abgelegte Drahtlänge **1,2m**

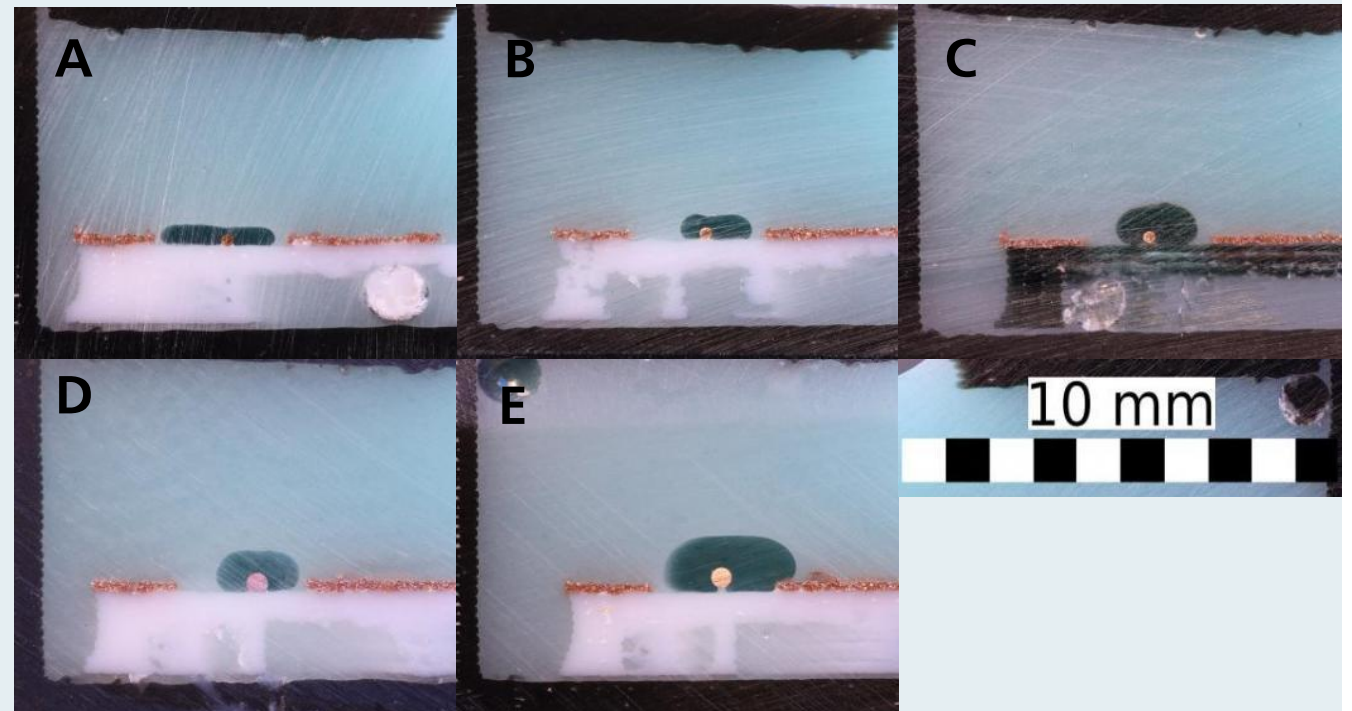


WEAM-Verfahren

Wie sieht das Ergebnis aus? – Produktparameter

Erzielbare Querschnitte:

- Draht wird auf den Untergrund aufgelegt und durch das Polymer aufgedrückt
- Draht ordnet sich **mittig an der Unterseite** der Extrusion an
- Mantelmaterial haftet am Draht an und **umschließt** diesen
- **Variation möglich** betreffend:
 - Leiterstärke
 - Mantelstärke
 - Mantelhöhe / -breite



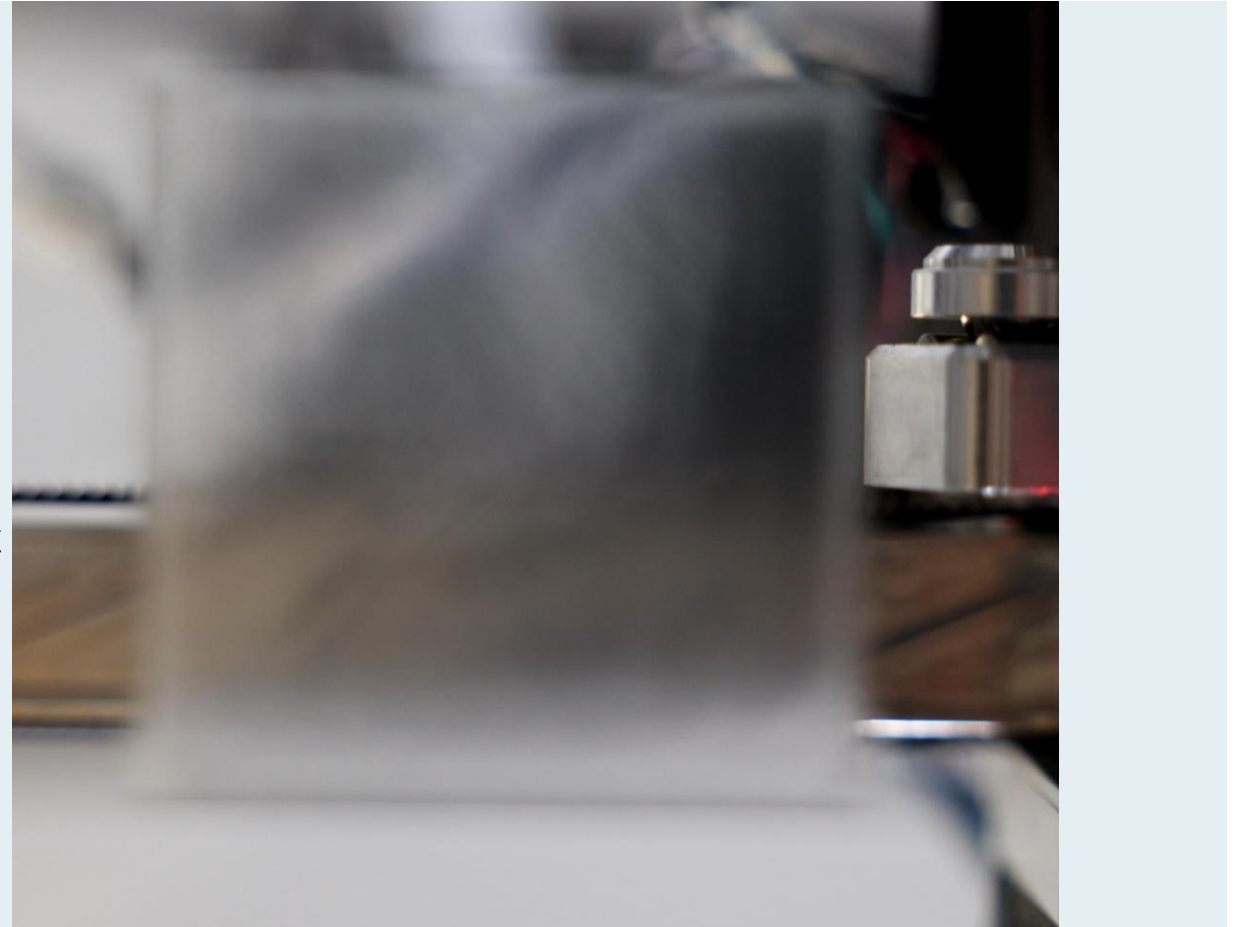
A - 0,2 Kupferdraht; B - 0,2mm Kupferdraht; C – 0,2mm Kupferdraht; D – 0,4 mm Kupferdraht; E – 0,4 mm Kupferdraht

WEAM-Verfahren

Wie sieht der Prozess aus? - Prozessaufnahmen

Positionsabweichung von Drähten im viskosen Polymer:

- Bei Richtungsänderung kommt es zur **Abweichung der Drahtposition** durch Eigensteifigkeit des Materials
- Erstarrung des Polymers ist zeitabhängig
- Durch **Anpassung der Vorlaufposition** kann die Viskosität des Mantels gezielt genutzt werden, um die Drahtposition zu optimieren
- Anpassung erfolgt in einem **automatisierten Script**



WEAM-Verfahren

Wie kann man damit arbeiten? -Operationsmodi

A – Leiterintegration in FFF Strukturen

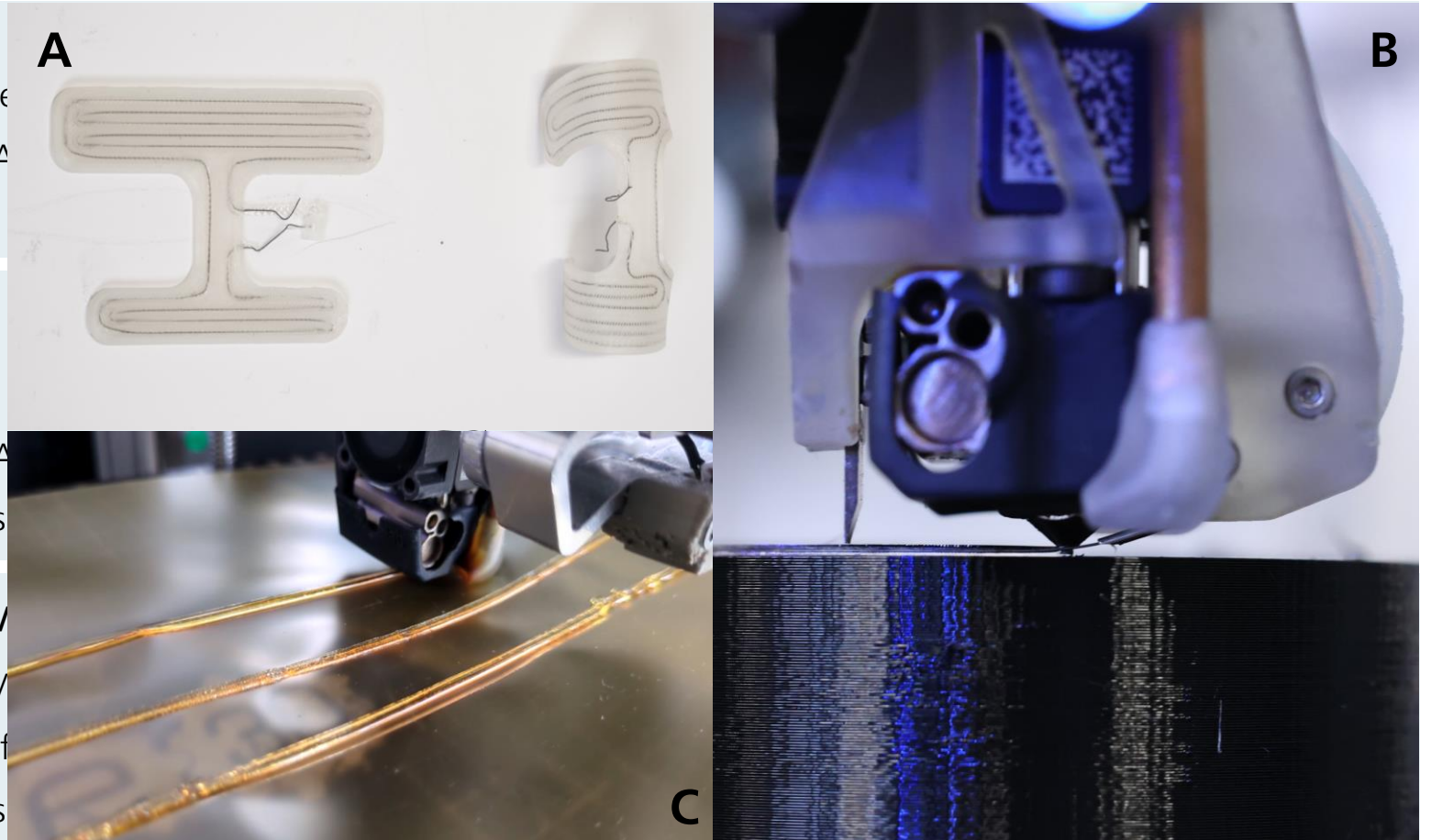
- Generieren einer Grundstruktur mit eingebettete
- Platzieren der Funktionsstruktur mittels des WEAM
- Fertigstellung des Bauteils im FFF-Verfahren

B – Leiterintegration in Fremdbauteile

- Erzeugung von Kanälen im Grundbauteil
- Platzieren der Funktionsstruktur mittels des WEAM
- Ggf. Fertigstellung des Bauteils durch Spritzguss

C – Leiterintegration auf Oberflächen (Folien /

- Bedrucken der Oberfläche mittels des WEAM-V
- (Formgebung durch Tiefziehen / Aufspannen sof
- Ggf. Fertigstellung des Bauteils durch Spritzguss



WEAM-Verfahren

Möglichkeiten der Kontaktierung

Insulation Displacement Connectors – IDCs:

- **Standardisierte Kontakte** für die Anbindung von isolierten Drähten (bspw. Lackdrähte in Motorspulen)
- Standardgrößen ermöglichen Anbindung von **AWG 24-16**
- **Standardanschlüsse** für Steckkontakte verfügbar
- Direktes Einpressen in thermoplastische Matrix durch Erhitzen der Kontaktelemente

A – Doppelseitiger Kontakt; B – Kontakt mit Steckfahne; C - Schlibfbild doppelseitiger Kontakt 0,4 mm Draht; D – Nahaufnahme doppelseitiger Kontakt; E – Schlibfbilder

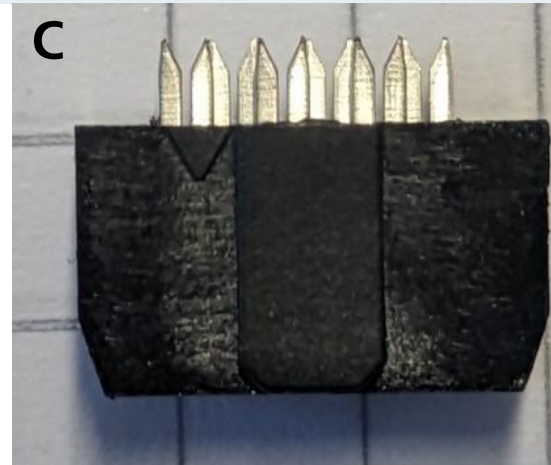
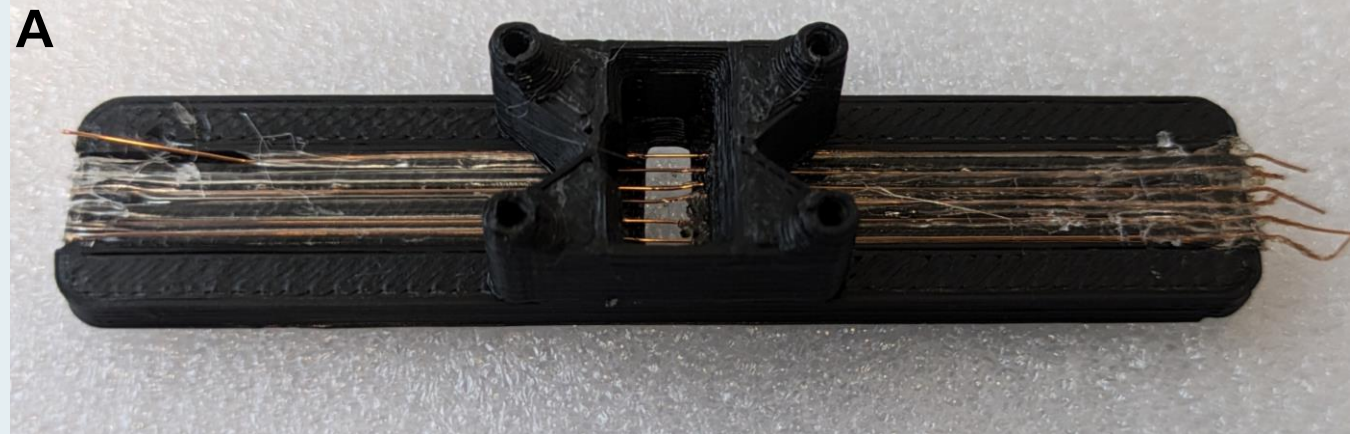


WEAM-Verfahren

Möglichkeiten der Kontaktierung

Automatisierte Einbindung

- **Fertigung des Grundkörpers** mit entsprechender Aussparung - **A**
- **Integration** der Leiterbahnen (0,22mm Kupferlackdraht mit 1,15mm Leiterabstand)
- **Pick and Place** des Kontaktelementes (6 – Pin Connector für Flachbandkabel) – **B / C**
- **Mech. Einpressen** und einschneiden in die Leiterdrähte - **D**

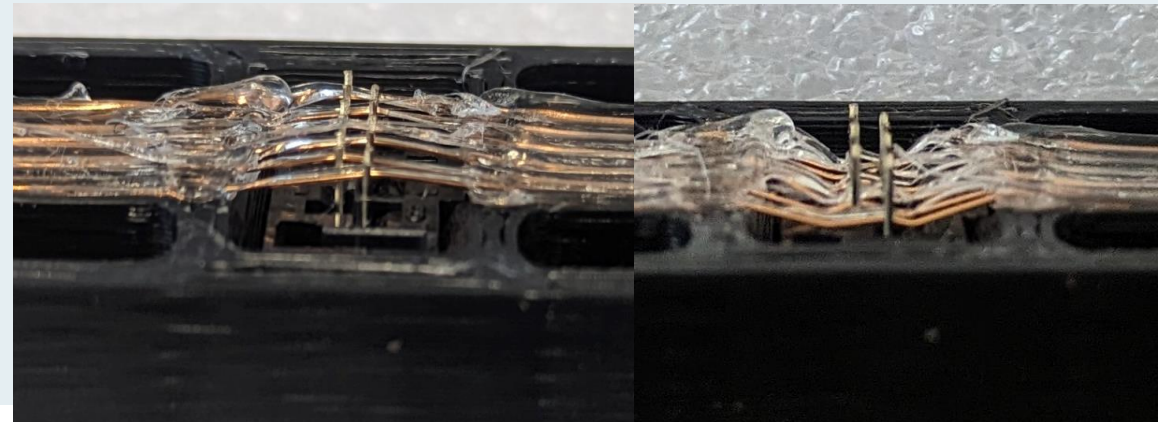
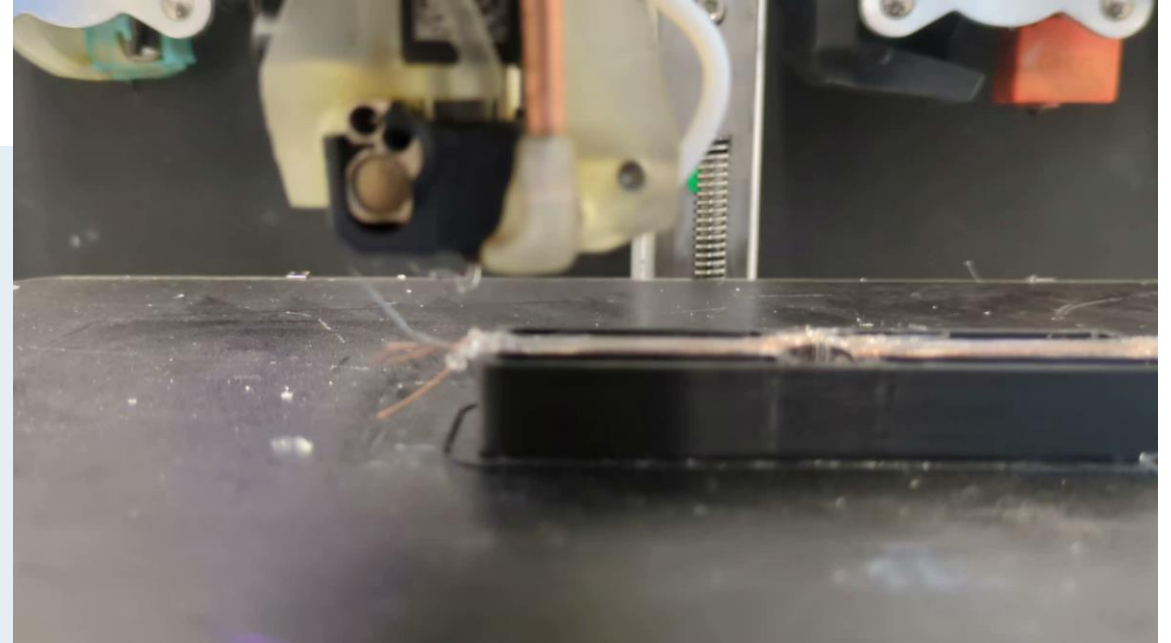


WEAM-Verfahren

Möglichkeiten der Kontaktierung

Automatisierte Einbindung

- **Fertigung des Grundkörpers** mit entsprechender Aussparung - **A**
- **Integration** der Leiterbahnen (0,22mm Kupferlackdraht mit 1,15mm Leiterabstand)
- **Pick and Place** des Kontaktelementes (6 – Pin Connector für Flachbandkabel) – **B / C**
- **Mech. Einpressen** und einschneiden in die Leiterdrähte - **D**



Merkmale Produktionsanlage und erreichbare Funktionen

MMAM und WEAM

Teilfunktionen

Werkzeugköpfe

Materialien

Features

MMAM Anlage

Strukturelemente generieren

Single Extrusion

Dual Extrusion

Leiterbahnen generieren (WEAM)

Fremdelemente platzieren

Halbzeuge fixieren

Polymere bis 500°C

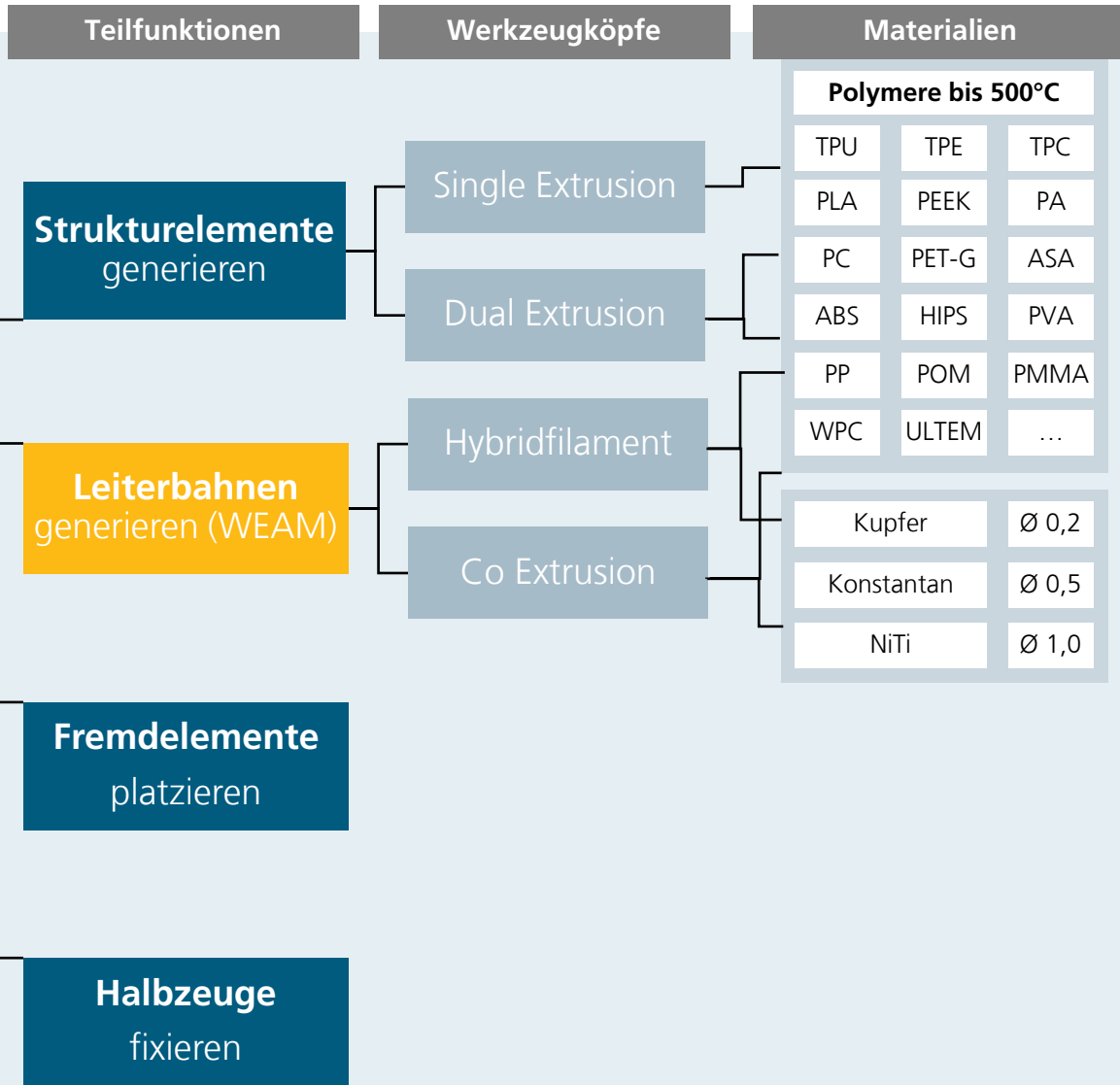
TPU	TPE	TPC
PLA	PEEK	PA
PC	PET-G	ASA
ABS	HIPS	PVA
PP	POM	PMMA
WPC	ULTEM	...

- Fused Filament Fabrication mit bis zu **35 mm³/s** oder **180 mm/s**
- Aufbau Grundstruktur / Funktionselementen / Ankerpunkte
- Fremdelemente mechanisch anbinden
- Aufdruck auf Textile, Folien und andere Oberflächen möglich

Merkmale Produktionsanlage und erreichbare Funktionen

MMAM und WEAM

MMAM Anlage



- ### Features
- Daten- und Leistungsleiter
 - Sensorstrukturen (Berührung, Näherung, Belastungsmessung) zur Überwachung und Interaktion einbetten
 - Spulenanwendungen bspw. elektrodynamische Antriebe oder Induktionsladen
 - Heizanwendungen wie Oberflächenheizung oder adaptive Steifigkeitsanpassung um Formänderung der Gesamtstruktur zu ermöglichen
 - Antennen

Merkmale Produktionsanlage und erreichbare Funktionen

MMAM und WEAM

Teilfunktionen

Werkzeugköpfe

Materialien

Features

MMAM Anlage

Strukturelemente
generieren

Single Extrusion

Dual Extrusion

Leiterbahnen
generieren (WEAM)

Hybridfilament

Co Extrusion

Fremdelemente
platzieren

Pick&Place mech.

Pick&Place Vaku.

Halbzeuge
fixieren

Vorspann Druckb.

Vaku. Druckbett

Polymere bis 500°C

TPU	TPE	TPC
PLA	PEEK	PA
PC	PET-G	ASA
ABS	HIPS	PVA
PP	POM	PMMA
WPC	ULTEM	...

Kupfer	Ø 0,2
Konstantan	Ø 0,5
NiTi	Ø 1,0

Folien	Gewindehülsen
Magnete	Crimps
Platinen	...

Folien, Platten

Textilien

Furnier

- Pick and Place mit verschiedenen Greifwerkzeugen entsprechend der Anwendung
- Einsetzen / mech. oder therm. Einpressen / Einschrauben von Kontaktelementen
- Einspannen / Vorspannen von Substraten
- Endlos bedrucken in einem Rolle zu Rolle Prozess

Merkmale Produktionsanlage und erreichbare Funktionen

MMAM und WEAM

Teilfunktionen

Werkzeugköpfe

Materialien

Features

MMAM Anlage

Strukturelemente generieren

Single Extrusion

Dual Extrusion

Leiterbahnen generieren (WEAM)

Hybridfilament

Co Extrusion

Fremdelemente platzieren

Pick&Place mech.

Pick&Place Vaku.

Halbzeuge fixieren

Vorspann Druckb.

Vaku. Druckbett

Polymere bis 500°C

TPU	TPE	TPC
PLA	PEEK	PA
PC	PET-G	ASA
ABS	HIPS	PVA
PP	POM	PMMA
WPC	ULTEM	...

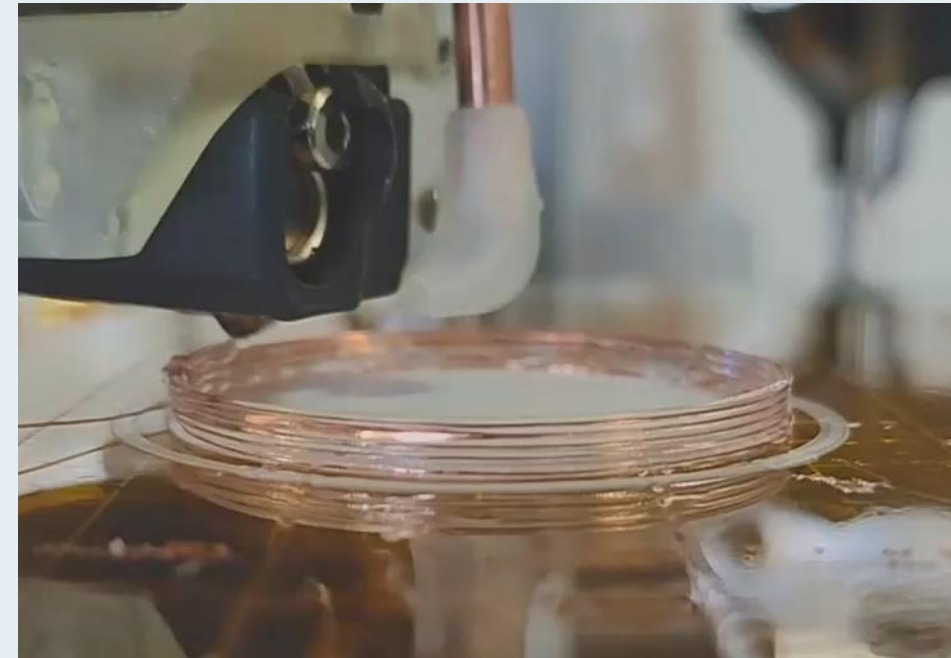
Kupfer	Ø 0,2
Konstantan	Ø 0,5
NiTi	Ø 1,0

Folien	Gewindehülsen
Magnete	Crimps
Platinen	...

Folien, Platten

Textilien

Furnier



Spulen mit vollständigem Polymermantel

Merkmale Produktionsanlage und erreichbare Funktionen

MMAM und WEAM

Teilfunktionen

Werkzeugköpfe

Materialien

Features

MMAM Anlage

Strukturelemente generieren

Single Extrusion

Dual Extrusion

Leiterbahnen generieren (WEAM)

Hybridfilament

Co Extrusion

Fremdelemente platzieren

Pick&Place mech.

Pick&Place Vaku.

Halbzeuge fixieren

Vorspann Druckb.

Vaku. Druckbett

Polymere bis 500°C

TPU	TPE	TPC
PLA	PEEK	PA
PC	PET-G	ASA
ABS	HIPS	PVA
PP	POM	PMMA
WPC	ULTEM	...

Kupfer Ø 0,2

Konstantan Ø 0,5

NiTi Ø 1,0

Folien Gewindehülsen

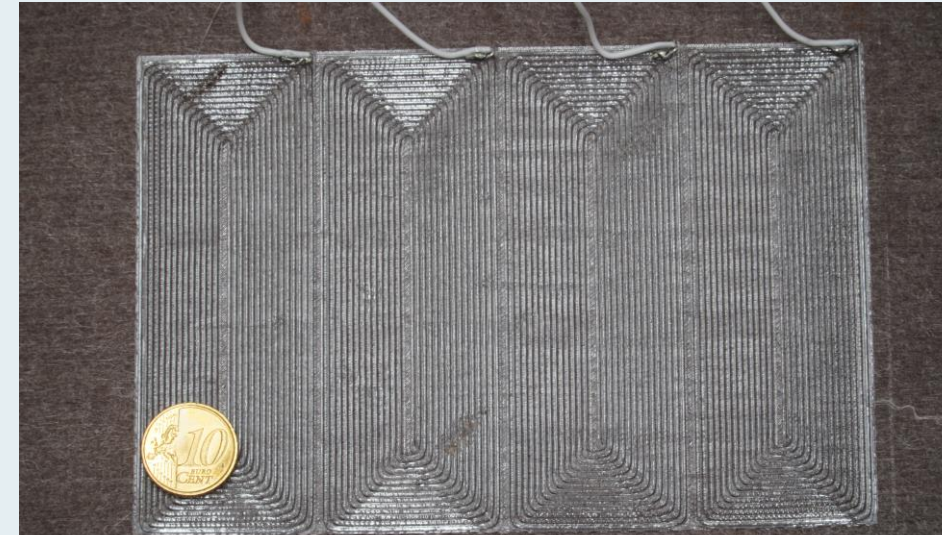
Magnete Crimps

Platinen ...

Folien, Platten

Textilien

Furnier



Kapazitive Sensoren als Array auf Furnierrückseite aufgedruckt

Merkmale Produktionsanlage und erreichbare Funktionen

MMAM und WEAM

Teilfunktionen

Werkzeugköpfe

Materialien

Features

MMAM Anlage

Strukturelemente generieren

Single Extrusion

Dual Extrusion

Leiterbahnen generieren (WEAM)

Hybridfilament

Co Extrusion

Fremdelemente platzieren

Pick&Place mech.

Pick&Place Vaku.

Halbzeuge fixieren

Vorspann Druckb.

Vaku. Druckbett

Polymere bis 500°C

TPU	TPE	TPC
PLA	PEEK	PA
PC	PET-G	ASA
ABS	HIPS	PVA
PP	POM	PMMA
WPC	ULTEM	...

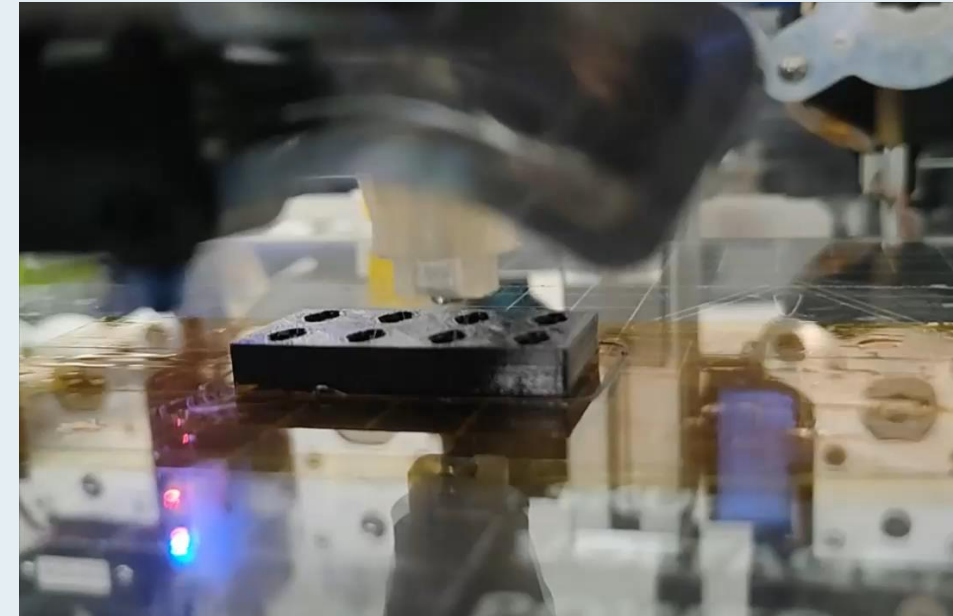
Kupfer	Ø 0,2
Konstantan	Ø 0,5
NiTi	Ø 1,0

Folien	Gewindehülsen
Magnete	Crimps
Platinen	...

Folien, Platten

Textilien

Furnier



Automatisierte Platzierung und Verriegelung spezifischer **Kontaktelemente**

Merkmale Produktionsanlage und erreichbare Funktionen

MMAM und WEAM

Teilfunktionen

Werkzeugköpfe

Materialien

Features

MMAM Anlage

Strukturelemente generieren

Single Extrusion

Dual Extrusion

Leiterbahnen generieren (WEAM)

Hybridfilament

Co Extrusion

Fremdelemente platzieren

Pick&Place mech.

Pick&Place Vaku.

Halbzeuge fixieren

Vorspann Druckb.

Vaku. Druckbett

Polymere bis 500°C

TPU	TPE	TPC
PLA	PEEK	PA
PC	PET-G	ASA
ABS	HIPS	PVA
PP	POM	PMMA
WPC	ULTEM	...

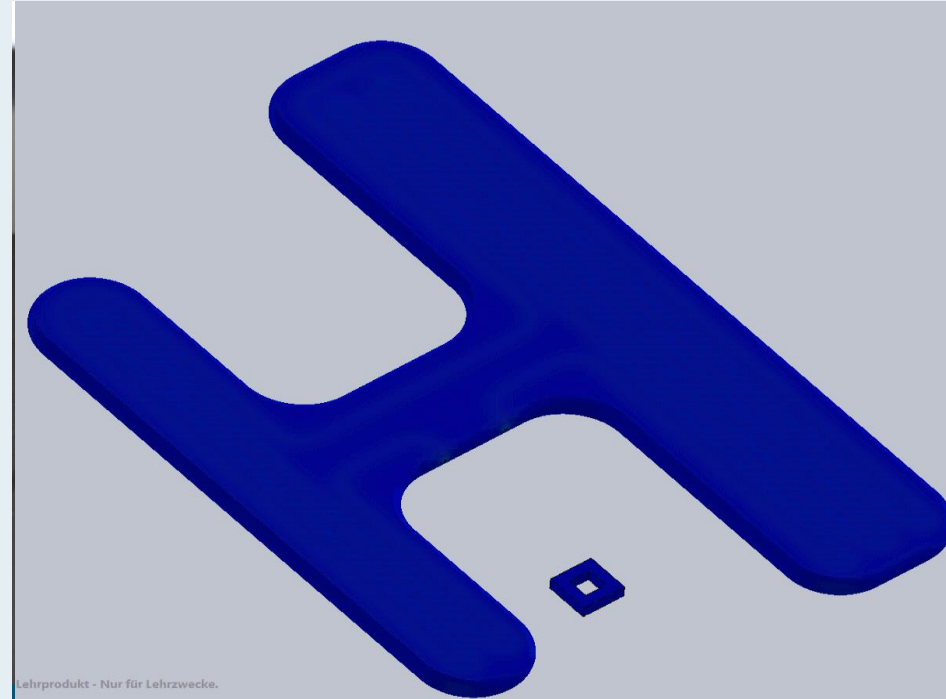
Kupfer	Ø 0,2
Konstantan	Ø 0,5
NiTi	Ø 1,0

Folien	Gewindehülsen
Magnete	Crimps
Platinen	...

Folien, Platten

Textilien

Furnier



Lehrprodukt - Nur für Lehrzwecke.

Fingerorthese zur **reversiblen, individuellen** An- und Abformung durch thermisch induzierten Phasenwechsel des Polymers (50°C)

Merkmale Produktionsanlage und erreichbare Funktionen

MMAM und WEAM

Teilfunktionen

Werkzeugköpfe

Materialien

Features

MMAM Anlage

Strukturelemente generieren

Single Extrusion

Dual Extrusion

Leiterbahnen generieren (WEAM)

Hybridfilament

Co Extrusion

Fremdelemente platzieren

Pick&Place mech.

Pick&Place Vaku.

Halbzeuge fixieren

Vorspann Druckb.

Vaku. Druckbett

Polymere bis 500°C

TPU	TPE	TPC
PLA	PEEK	PA
PC	PET-G	ASA
ABS	HIPS	PVA
PP	POM	PMMA
WPC	ULTEM	...

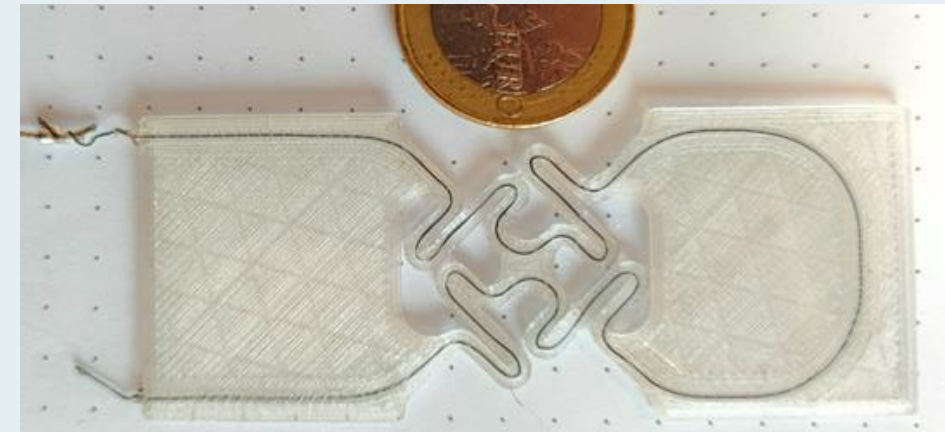
Kupfer	Ø 0,2
Konstantan	Ø 0,5
NiTi	Ø 1,0

Folien	Gewindehülsen
Magnete	Crimps
Platinen	...

Folien, Platten

Textilien

Furnier

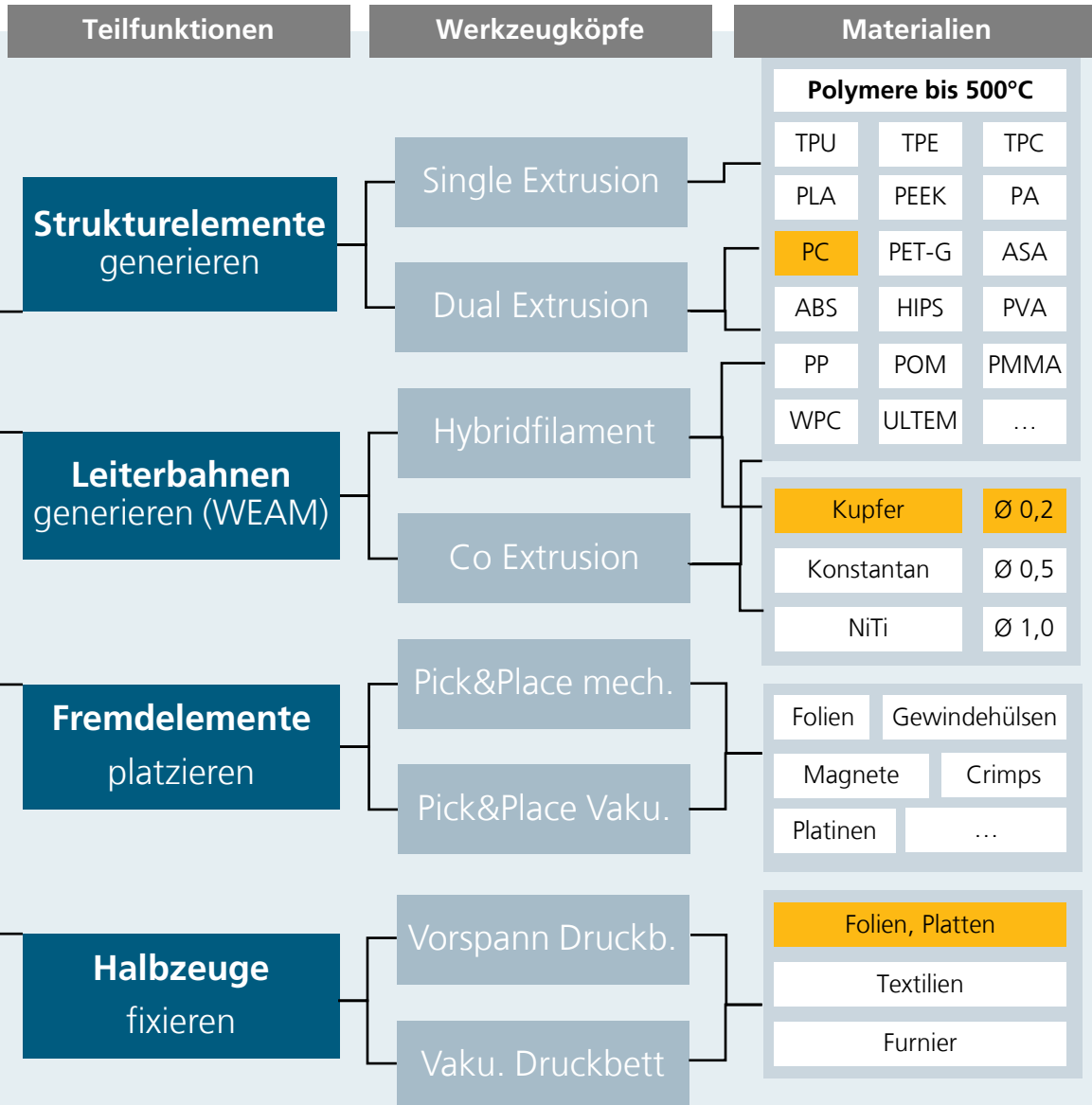


Thermisch schaltbare Gitterstruktur mit lokal **einstellbarer Steifigkeit**

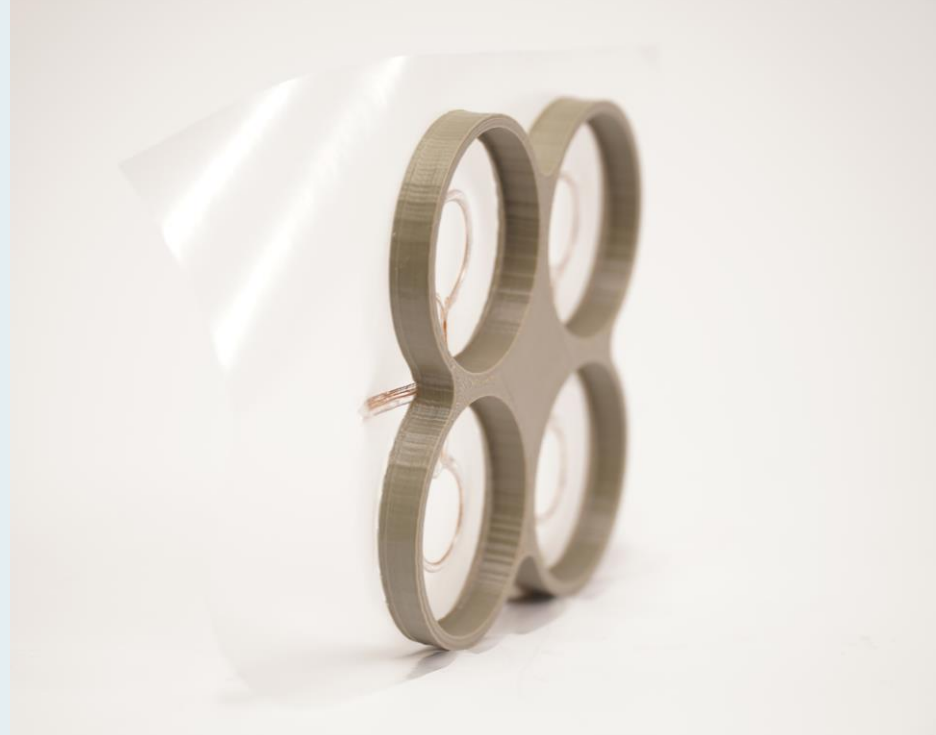
Merkmale Produktionsanlage und erreichbare Funktionen

MMAM und WEAM

MMAM Anlage



Features



Drahtablage auf **100 µm TPU Folie** mit Strukturaufdruck (grau): sensorierte Membranen und Dünnschichtlautsprecher

Merkmale Produktionsanlage und erreichbare Funktionen

MMAM und WEAM

Teilfunktionen

Werkzeugköpfe

Materialien

Features

MMAM Anlage

Strukturelemente generieren

Single Extrusion

Dual Extrusion

Leiterbahnen generieren (WEAM)

Hybridfilament

Co Extrusion

Fremdelemente platzieren

Pick&Place mech.

Pick&Place Vaku.

Halbzeuge fixieren

Vorspann Druckb.

Vaku. Druckbett

Polymere bis 500°C

TPU	TPE	TPC
PLA	PEEK	PA
PC	PET-G	ASA
ABS	HIPS	PVA
PP	POM	PMMA
WPC	ULTEM	...

Kupfer	Ø 0,2
Konstantan	Ø 0,5
NiTi	Ø 1,0

Folien	Gewindehülsen
Magnete	Crimps
Platinen	...

Folien, Platten

Textilien

Furnier



Individuelle, gedruckte **Induktionsspule**

Merkmale Produktionsanlage und erreichbare Funktionen

MMAM und WEAM

Teilfunktionen

Werkzeugköpfe

Materialien

Features

MMAM Anlage

Strukturelemente generieren

Single Extrusion

Dual Extrusion

Hybridfilament

Leiterbahnen generieren (WEAM)

Co Extrusion

Fremdelemente platzieren

Pick&Place mech.

Pick&Place Vaku.

Halbzeuge fixieren

Vorspann Druckb.

Vaku. Druckbett

Polymere bis 500°C

TPU	TPE	TPC
PLA	PEEK	PA
PC	PET-G	ASA
ABS	HIPS	PVA
PP	POM	PMMA
WPC	ULTEM	...

Kupfer Ø 0,2

Konstantan Ø 0,5

NiTi Ø 1,0

Folien Gewindehülsen

Magnete Crimps

Platinen ...

Folien, Platten

Textilien

Furnier



Spulen mit **keiner bzw. selektiver** Polymerisation

Merkmale Produktionsanlage und erreichbare Funktionen

MMAM und WEAM

Teilfunktionen

Werkzeugköpfe

Materialien

Features

MMAM Anlage

Strukturelemente generieren

Single Extrusion

Dual Extrusion

Leiterbahnen generieren (WEAM)

Hybridfilament

Co Extrusion

Fremdelemente platzieren

Pick&Place mech.

Pick&Place Vaku.

Halbzeuge fixieren

Vorspann Druckb.

Vaku. Druckbett

Polymere bis 500°C

TPU	TPE	TPC
PLA	PEEK	PA
PC	PET-G	ASA
ABS	HIPS	PVA
PP	POM	PMMA
WPC	ULTEM	...

Kupfer	Ø 0,2
Konstantan	Ø 0,5
NiTi	Ø 1,0

Folien	Gewindehülsen
Magnete	Crimps
Platinen	...

Folien, Platten

Textilien

Furnier

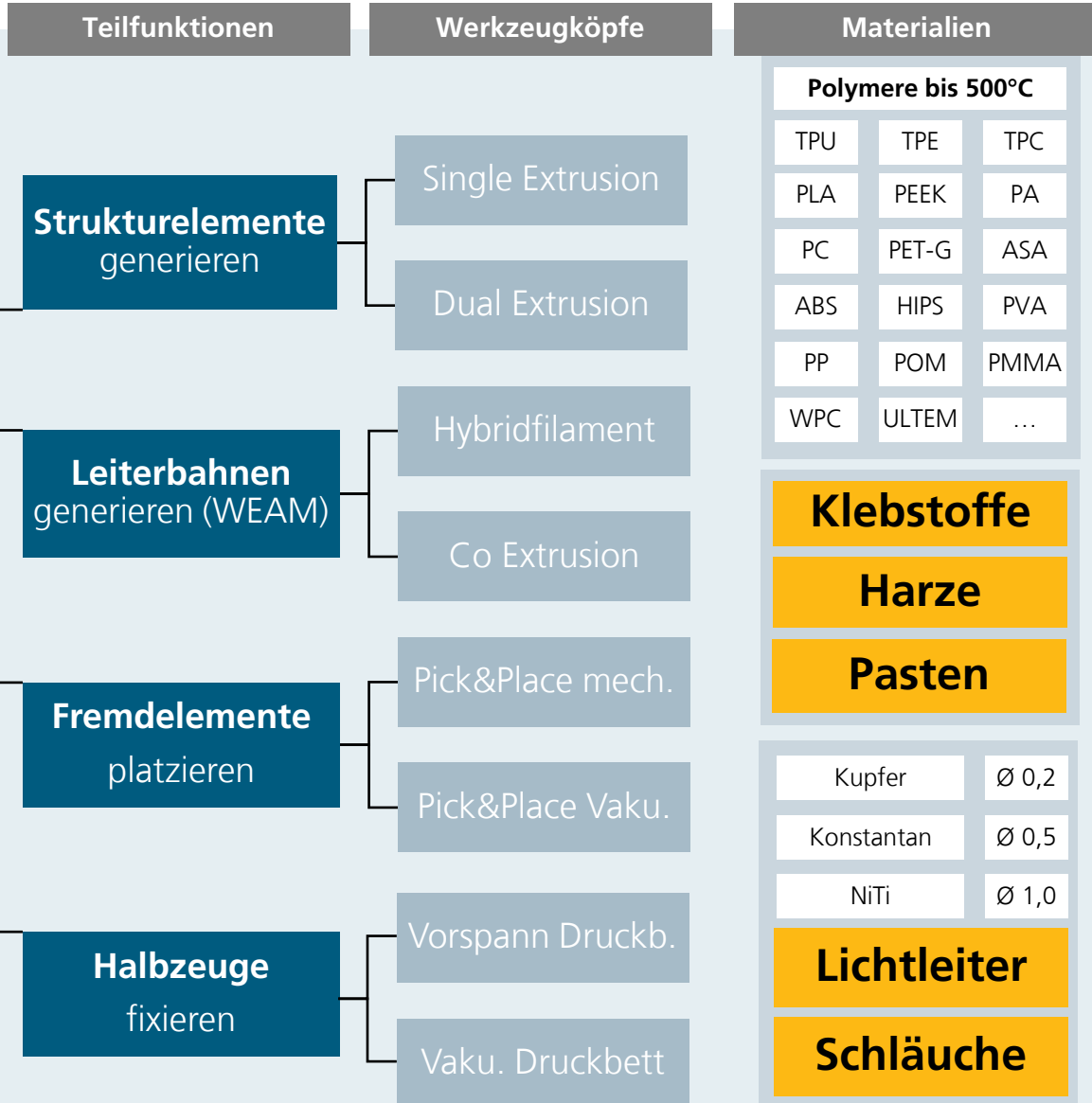


Vollautomatische Fertigung kompletter, funktionstüchtiger Lautsprecherkomponenten

Merkmale Produktionsanlage und erreichbare Funktionen

Neue Materialien in Entwicklung

MMAM Anlage



Features

Erweiterung der Materialien zur Funktionalisierung **beliebiger Oberflächen** mit hoher Varianz

- Klebstoffe**
- Harze**
- Pasten**

Kupfer	Ø 0,2
Konstantan	Ø 0,5
NiTi	Ø 1,0

- Lichtleiter**
- Schläuche**

Ausgewählte Anwendungsfälle

WEAM in Application

FlexiBrace – Adaptive Orthetik

- Patientenindividuelle Fußgelenksstütze durch **thermische Anformung** am Patienten
- **Aufbau der Orthese:**
 - Abwicklung der gewünschten Form in **planare Struktur**
 - Additive Fertigung aus Facilan Ortho Polymer (**Glasübergangstemperatur 60°C**)
 - Integration von **8 Heizzonen durch 0,2mm Konstatandrähte**
 - **Aufdruck auf geschäumtes TPU** als Polstermaterial



Fußorthese zur reversiblen, individuellen An- und Abformung durch thermisch induzierten Phasenwechsel des Polymers

Ausgewählte Anwendungsfälle

WEAM in Application

FlexiLink – vereinfachte Produktion

- Fertigung durch funktionalisierte Folien als **Ersatz für Kabelsätze**
- **Konzept für Powertools:**
 - Planen der Elektronikkomponenten auf als **Abwicklung** des Gesamtsystems
 - Bedrucken der Folien mit allen **Leiterbahnen** und **Strukturelementen** → inkl. Kontakten
 - Bestücken mit allen Funktionselementen via **Pick and Place**
 - **Einlegen und Fixieren** in der Werkzeugschale



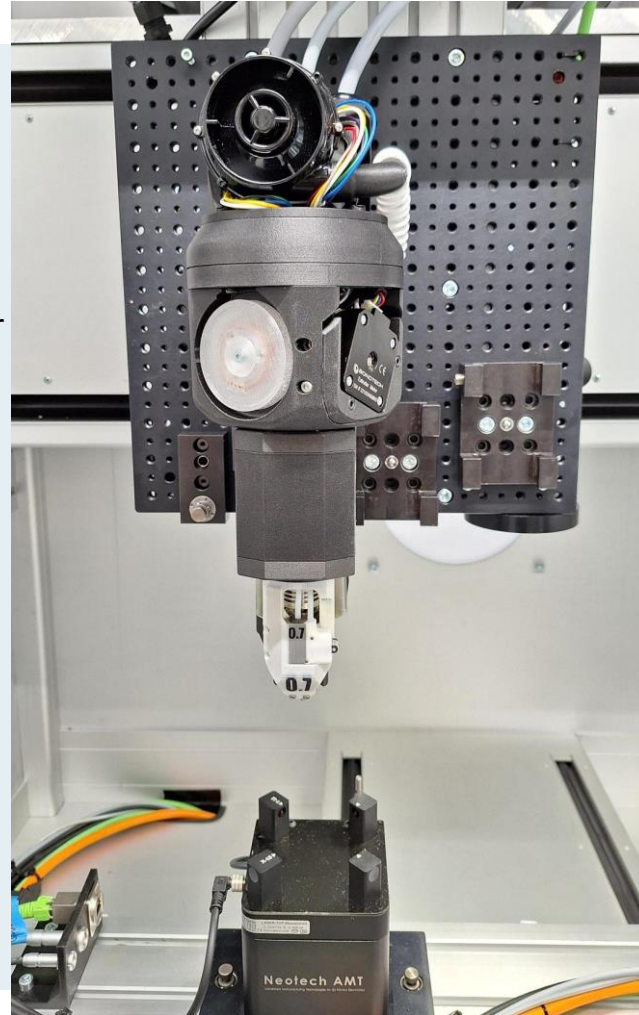
Technologieausblick – Wie geht es weiter?

WEAM-Integration bei Neotech AMT

Anlagenintegration Neotech AMT:

- Integration in 5-Achs Multifunktionsanlage für Elektronikfertigung
- Vollständig integrierter Werkzeugkopf im Testbetrieb
- Werkzeugkopf wird in der nächsten Maschinengeneration Standardkomponente

Marktverfügbar vrstl. 2025



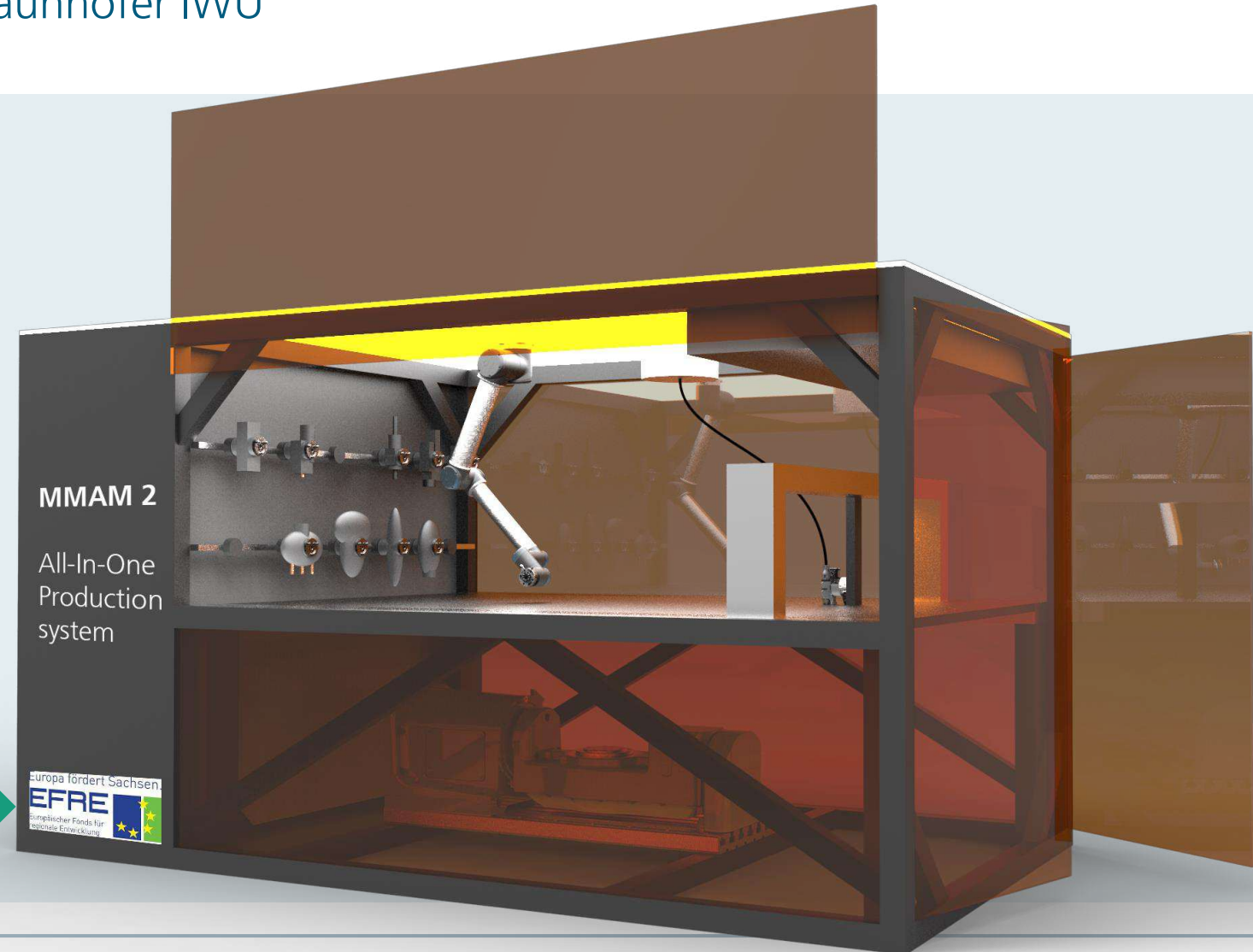
Technologieausblick – Wie geht es weiter?

Ausbau des Forschungsequipments am Fraunhofer IWU

EFRE-Vorhaben - WEAM 2.0:

- Arbeitsraum 2 x 3 m
- Bis zu 2 m/s
Arbeitsgeschwindigkeit
- 5-Achs-Bearbeitung
- Cobot für zusätzliche
Prozessschritte
- Komplexe In-Line
Prozessüberwachung

Fertigstellung vrstl. 2026



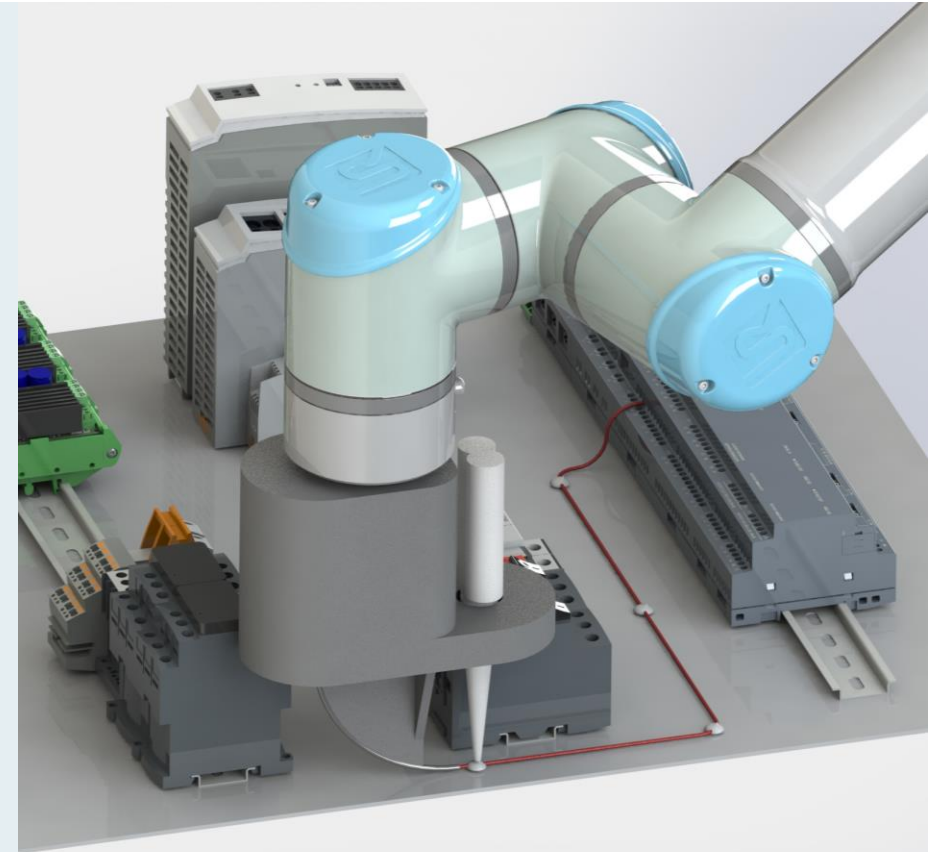
Technologieausblick – Wie geht es weiter?

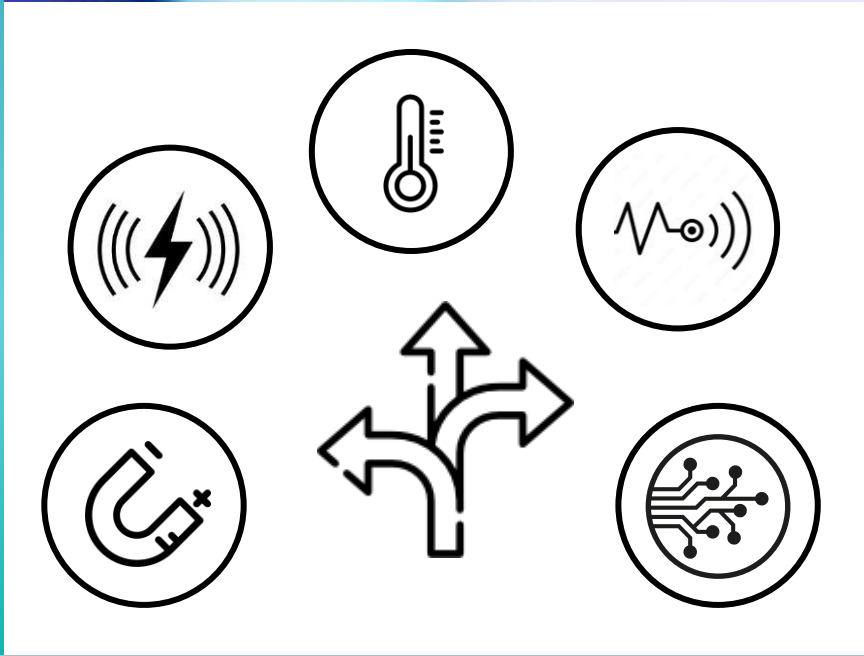
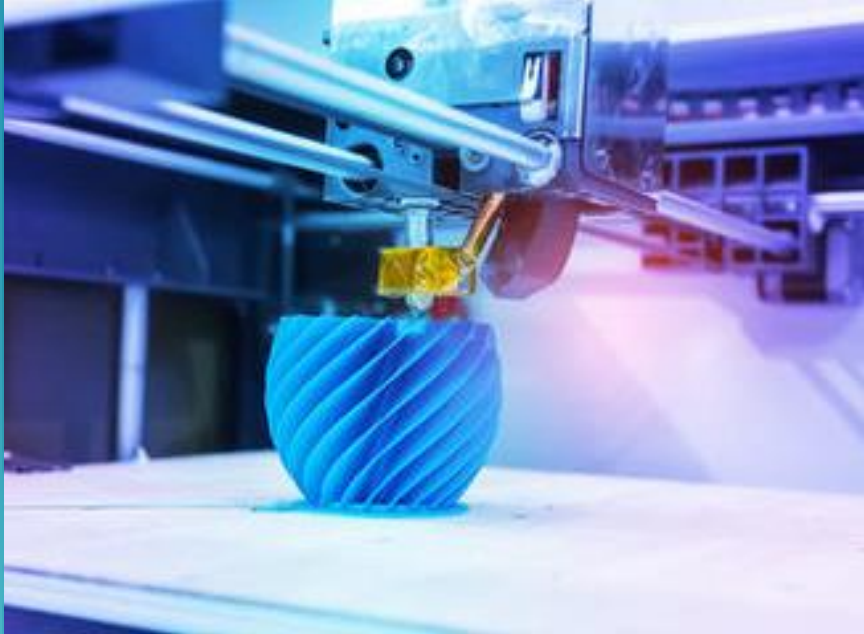
Automatisierte Kabelbäume im angepassten WEAM-Verfahren

CablePrint – automatisierte Kabelbäume:

- Roboterbasierte Ablage von 1-8 Kabeln durch Robotersystem
- Automatisierte Fixierung durch Aufbringen eines Matrixmaterials in einstellbaren Intervallen / Mengen
- Automatisierte Kontaktierung und Anschluss an Peripheriesysteme

Umsetzung in öffentlichen Projekten, sowie Direktkooperation ab 2025





MMAM - Multi Material Additive Manufacturing

Wird disruptive Auswirkungen in der Produktentwicklung, auf das Design und die Produktperformance entfalten.

Maximale Geometriefreiheit



Maximale Funktionsflexibilität

Kontakt

Dipl. - Ing. Fabian Ziervogel

Wissenschaftlicher Mitarbeiter - Themenfeldentwicklung

Abteilung Biomechatronics

E-Mail: fabian.ziervogel@iwu.fraunhofer.de

M.A. Lukas Boxberger

Abteilungsleiter Biomechatronics

E-Mail: lukas.boxberger@iwu.fraunhofer.de