

reACT Vertical 4 – Teilvorhaben 4.2

Teil I – Kurzbericht

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung und wissenschaftlich-technischer Stand

Ziel des Teilvorhabens 4.2 im Verbundprojekt *reACT* war die Entwicklung und Bewertung bioresorbierbarer metallischer Halbzeuge und Bauteile für endoluminale Anwendungen, insbesondere für Anastomosen- und Stützsysteme im Bereich der Weichgewebschirurgie. Der Fokus lag dabei auf dünnwandigen, ring- oder rohrförmigen Strukturen aus Magnesium- und Zinklegierungen, die hohe mechanische Anforderungen erfüllen müssen und sich gleichzeitig kontrolliert abbauen sollen. Die entwickelten Komponenten sollten als temporäre Stützstrukturen dienen und nach Abschluss der Heilungsphase vollständig resorbiert werden.

Zum Projektbeginn war der Stand der Technik durch mehrere wesentliche Einschränkungen gekennzeichnet. Zwar waren bioresorbierbare Metalle wie Magnesium und Zink bereits als grundsätzlich geeignete Werkstoffe bekannt, jedoch existierten kaum belastbare Konzepte für dünnwandige, hochpräzise Bauteile mit reproduzierbarer Geometrie und definiertem Degradationsverhalten. Insbesondere fehlten etablierte Fertigungs- und Umformprozesse, die eine ausreichende Maßhaltigkeit und Oberflächenqualität gewährleisten. Zusätzlich war das mechanische Verhalten dünnwandiger Strukturen unter realitätsnahen Belastungen nur unzureichend untersucht, ebenso wie das Zusammenspiel von Werkstoff, Geometrie, Oberfläche und Degradation. Für Zinklegierungen bestand zudem eine erhöhte Sprödigkeit, die die mechanische Bearbeitung und Umformung stark einschränkte.

Vor diesem Hintergrund bestand die Aufgabenstellung darin, geeignete Fertigungs- und Nachbearbeitungsprozesse zu identifizieren und zu bewerten, um funktionsfähige Demonstratoren für endoluminale Anwendungen herzustellen. Ergänzend sollten Oberflächenmodifikationen entwickelt und das Degradationsverhalten sowohl einzelner Werkstoffe als auch potenzieller Materialkombinationen untersucht werden.

2. Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben begann mit der Analyse der medizinischen Anforderungen an endoluminale Implantatstrukturen, insbesondere hinsichtlich Geometrie, Wanddicke, mechanischer Stabilität und temporärer Funktion. Auf dieser Basis wurden Zielgeometrien für ring- und rohrförmige Strukturen definiert, die als Demonstratoren für Anastomosen- und Stützsysteme dienen sollten.

In einem nächsten Schritt wurden geeignete Fertigungsrouten für dünnwandige Halbzeuge aus Magnesium- und Zinklegierungen untersucht. Hierzu zählten spanende Verfahren, Umformprozesse sowie hybride Prozessketten mit nachgelagerter Oberflächenbearbeitung. Parallel dazu wurden unterschiedliche Oberflächenmodifikationen erprobt, um sowohl die Oberflächenqualität als auch das spätere Degradationsverhalten gezielt beeinflussen zu können.

Begleitend erfolgte eine umfassende werkstofftechnische und mechanische Charakterisierung der hergestellten Proben. Besonderes Augenmerk lag auf der Bewertung der geometrischen Stabilität dünnwandiger Strukturen sowie auf der Analyse von Schädigungsmechanismen während Fertigung und Handhabung. Ergänzend wurden In-vitro-Degradationsuntersuchungen durchgeführt, um den zeitabhängigen Abbau der Werkstoffe unter physiologisch relevanten Bedingungen zu untersuchen.

Im Verlauf des Projekts zeigte sich, dass insbesondere die Fertigung sehr dünnwandiger Zinkstrukturen aufgrund der werkstoffimmanenten Sprödigkeit und der hohen Sensitivität gegenüber Kerben und Oberflächenfehlern mit erheblichen Herausforderungen verbunden war. Entsprechend wurden einzelne Arbeitsschritte angepasst und alternative Ansätze untersucht, um die Machbarkeit der Zielgeometrien zu bewerten. Nicht alle ursprünglich vorgesehenen Demonstratoren konnten bis zur finalen Geometrie umgesetzt werden, die wesentlichen wissenschaftlich-technischen Fragestellungen konnten jedoch bearbeitet und bewertet werden.

3. Wesentliche Ergebnisse

Im Rahmen des Vorhabens konnten wesentliche Erkenntnisse zur Eignung bioresorbierbarer Metalle für endoluminale Anwendungen gewonnen werden. Es wurde gezeigt, dass Magnesiumlegierungen grundsätzlich für dünnwandige Stützstrukturen geeignet sind, sofern Fertigung, Oberflächenzustand und Geometrie sorgfältig aufeinander abgestimmt werden. Für Magnesium konnten geeignete Prozessketten etabliert werden, die eine reproduzierbare Herstellung ringförmiger Strukturen mit ausreichender mechanischer Stabilität erlauben.

Für Zinklegierungen wurde deutlich, dass die Verarbeitung dünnwandiger Geometrien deutlich anspruchsvoller ist. Die erhöhte Sprödigkeit führte in mehreren Fällen zu Rissbildung oder Versagen während der Fertigung oder Handhabung. Diese Ergebnisse liefern wichtige Hinweise für die zukünftige Werkstoffauswahl und zeigen, dass Zinklegierungen für bestimmte Geometrien nur eingeschränkt geeignet sind oder weiter modifiziert werden müssen.

Die Untersuchungen zur Oberflächenmodifikation zeigten, dass chemische und elektrochemische Behandlungsverfahren geeignet sind, um Oberflächenhomogenität und Reproduzierbarkeit zu verbessern. Gleichzeitig wurde deutlich, dass Oberflächenzustand und Mikrostruktur einen erheblichen Einfluss auf das Degradationsverhalten besitzen. Die durchgeführten Degradationsuntersuchungen bestätigten materialabhängige Unterschiede in Abbaumechanismus und -kinetik und verdeutlichten die Bedeutung einer abgestimmten Material- und Geometrieauswahl.

Zusammenfassend konnte das Teilvorhaben zeigen, dass bioresorbierbare metallische Halbzeuge für endoluminale Anwendungen prinzipiell realisierbar sind, die technische Umsetzung jedoch stark von der Kombination aus Werkstoff, Geometrie und Prozessführung abhängt. Die gewonnenen Erkenntnisse stellen eine belastbare

Grundlage für nachfolgende Entwicklungsarbeiten dar und tragen wesentlich zur Bewertung der technologischen Machbarkeit resorbierbarer endoluminaler Implantate bei.