



Chirurg*innen vs. Wissenschaftler*innen – Mind the Gap! DKOU Science-Slam 2023

Umfragestudie zu Biomaterialien bei Knochendefekten

Tina Frankenbach¹ · Susanne Mayer-Wagner¹ · Wolfgang Böcker¹ · Dietmar W. Huttmacher^{2,3} · Boris M. Holzapfel¹ · Markus Laubach^{1,3}

¹ Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Muskuloskelettales Universitätszentrum München (MUM), LMU Klinikum, LMU München, München, Deutschland

² Max Planck Queensland Centre (MPQC) for the Materials Science of Extracellular Matrices, Queensland University of Technology, Brisbane, Australien

³ Australian Research Council (ARC) Training Centre for Multiscale 3D Imaging, Modelling, and Manufacturing (M3D Innovation), Queensland University of Technology, Brisbane, Australien

Für wirksame und kosteneffiziente Knochendefektbehandlung ist es von Bedeutung, die Entscheidungsprozesse von Chirurg*innen und Wissenschaftler*innen in Bezug auf aktuelle Optionen und künftige Möglichkeiten der Biomaterial- und Implantatentwicklung zu verstehen. Im Rahmen des DKOU 2023 Science-Slam wurden, insbesondere für Strategieentscheidungen der Medizintechnologieindustrie und Forschungsinstitute, wegweisende Ergebnisse einer Umfragestudie und konkrete Konzeptempfehlungen vorgestellt.

Mind the Gap! Translationslücke im Bereich Biomaterialien und Implantate für Knochendefekte

Die Behandlung von Knochendefekten ist nach wie vor eine klinische Herausforderung, die mit hohen Reinterventionsraten, einer hohen Patientenmorbidity und erheblichen Kosten im Gesundheitswesen assoziiert ist [1]. Sowohl chirurgische Techniken als auch nichtstrukturelle und strukturelle Knochenersatzmaterialien werden ständig weiterentwickelt; so konnten etwa kürzlich erste klinische Erfahrungen mit biologisch abbaubaren 3D-gedruckten Knochengerüsten (sog. Knochenscaffolds) der Literatur entnommen werden [2–4]. Seit dem oft als bahnbre-

chend bezeichneten Workshop für die Biomaterialienwissenschaft im Jahr 1987 in Washington, D.C., USA, der von der National Science Foundation gesponsert wurde und bei dem der Begriff Tissue Engineering zum ersten Mal offiziell geprägt wurde [5], wurden beispielsweise mehr als 50.000 Studien zum Thema Scaffolds veröffentlicht, von denen sich mehr als 40 % auf das Tissue Engineering von Knochen beziehen [6]. Das Konzept des Knochen-Tissue-Engineering wurde erstmals 1993 von Langer und Vacanti vorgestellt und in einem wegweisenden Manuskript in *Science* veröffentlicht [7]. So bietet das patientenspezifische gerüstträgerbasierte Knochen-Tissue-Engineering („scaffold-guided bone regeneration“ [SGBR]) die Möglichkeit der Regeneration knöcherner Defekte [8]. Biodegradierbare bzw. bioresorbierbare Knochen-Scaffolds gewährleisten so lange strukturelle und biomechanische Stabilität, bis der Degradations- bzw. Resorptionsprozess einsetzt und körpereigenes Gewebe deren Funktion schrittweise übernimmt. Knochen-Scaffolds werden durch Verfahren der additiven Fertigung 3D-gedruckt, was die patientenspezifische Konfiguration der Implantatarchitektur ermöglicht [9]. So können die notwendige Gewebe(neu)formation und -regeneration über einen Zeitraum bis zu einigen Jahren



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

Infobox 1

Wissenschaft trifft Humor

Das ist das Prinzip eines Science-Slams. Bei diesem Kurzvortragswettbewerb präsentieren Forschende ihre Themen auf unterhaltsame Weise innerhalb einer vorgegebenen Zeit dem Publikum. Dieses entscheidet, wem es am besten gelingt, Unterhaltung und Erkenntnisgewinn in Einklang zu bringen. Der Science-Slam wird im Rahmen des DKOU jedes Jahr vom Jungen Forum O und U organisiert und veranstaltet. Das Siegerteam wird vom Publikum und einer wissenschaftlichen Jury nach den drei Kriterien Wissenschaftlichkeit, Spaßfaktor und Applauslautstärke gewählt. Die beste Darbietung wird mit dem Slam-Stipendium der DGOU in Höhe von 1000 € ausgezeichnet. Der Springer Medizin Verlag unterstützt den Science-Slam mit einem Jahresabos e.Med Orthopädie & Unfallchirurgie und drei Jahresabos e.Medpedia.

2023 ging der Science-Slam bereits in die 6. Runde, moderiert von Dr. Marie Samland. Alle vier Vorträge haben die „Slammer“ noch einmal in Form eines Beitrags für Sie aufbereitet.

Sie möchten sich selbst ein Bild von dem Format machen? Schauen Sie sich gerne den Science-Slam-Rückblick vom DKOU 23 an, Link: <https://dgou.de/aktuelles/detail/science-slam-dr-thomas-loy-ueberzeugt-mit-gschichten-vom-venusberg>.



kontrolliert werden, während simultan die entsprechende Knochenregeneration abläuft (■ **Abb. 1**; [10]).

Jedoch werden trotz intensiver Forschung – im Jahr 2023 wurden immerhin mehr als 20.000 Studien zum Thema Knochen-Scaffolds und Knochen-Tissue-Engineering veröffentlicht – nur eine Handvoll Innovationen insofern in die klinische Praxis umgesetzt, dass diese tatsächlich „from bench to bedside“ gelangen [11, 12]. Somit ist eine persistierende und kostspielige Translationslücke („translational gap“) zu beobachten ([13, 14]; ■ **Abb. 2**). Daher war es Ziel dieser dem Science-Slam-Beitrag zugrundeliegende Forschungsarbeit, diese Translationslücke näher zu untersuchen, um substanzielle Rahmenbedingungen für zielgerichtete

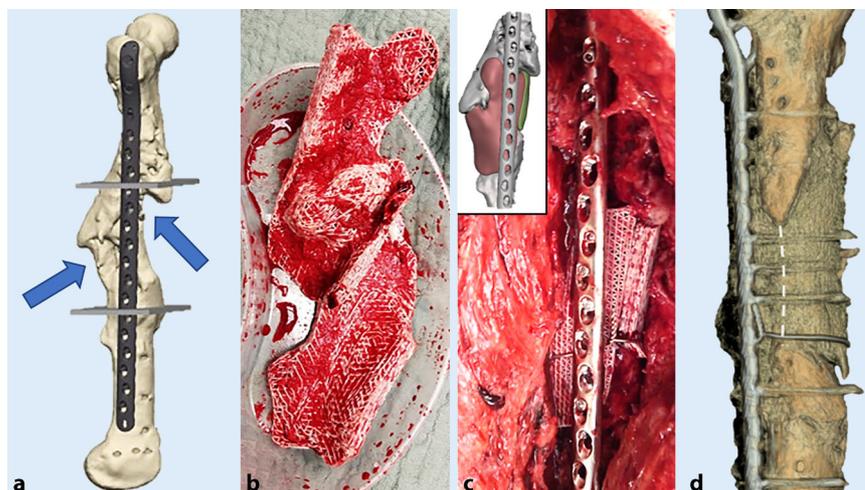


Abb. 1 ▲ Behandlung eines femoralen Knochendefekts mit modularen (zweiteiligen) patientenspezifischen, 3D-gedruckten, biologisch abbaubaren Scaffolds nach dem Konzept des gerüstträgerbasierten Knochen-Tissue-Engineering (SGBR). 3D-Rekonstruktion von Computertomographie(CT)-Bildern, die einen komplexen Femurdefekt infolge einer Mehrfragmentfraktur mit verheiltem Femur in Fehlstellung zeigen (a, *blaue Pfeile*). Zwei geometrisch angepasste 3D-gedruckte biologisch abbaubare Knochen-Scaffolds, die mit autologem Knochen-Transplantat beladen waren, wurden implantiert (b). Der korrekte Sitz der Knochen-Scaffolds im Knochendefekt gemäß der präoperativen Planung (siehe *Inset* in c) wurde intraoperativ bestätigt (c). 3D-Rekonstruktion der CT-Aufnahme 7 Monate nach der Implantation der Knochen-Scaffolds mit Knochenregeneration, die die erfolgreiche Behandlung des komplexen Knochendefekts nach dem SGBR-Konzept zeigt (d). (Quelle: Abbildung angepasst aus der Referenz [2])

und (kosten)effiziente zukünftige Forschungsanstrengungen im Bereich Knochenersatzmaterialien aufzuzeigen.

Chirurg*innen vs. Wissenschaftler*innen – sprechen wir überhaupt dieselbe Sprache?

Chirurg*innen und Wissenschaftler*innen verfügen, basierend auf ihrer akademischen und praktischen Ausbildung, über Expertise in höchst unterschiedlichen Gebieten. Der Arbeitsalltag beider Berufsgruppen gestaltet sich gleichermaßen spezifisch, sie interagieren regelmäßig mit Arbeitsgruppen mit unterschiedlicher Expertise und kommerziellen Interessen aus dem Gesundheitssektor und haben möglicherweise sogar unterschiedliche konzeptionelle und wissenschaftliche Sichtweisen [15]. Diese Herausforderungen sind insbesondere etwa in der Mitte des letzten Jahrhunderts entstanden, denn bis etwa zu den 1950er- und 1960er-Jahren waren Grundlagenforschung und klinische Forschung in Einrichtungen sehr eng miteinander verbunden [16]. So wurde etwa die medizinische Forschung weitgehend von ärztlichen Wissenschaftler*innen betrieben, die auch

Patient*innen behandelten. Das änderte sich mit der rasanten Zunahme und Spezialisierung, insbesondere im Bereich der Molekularbiologie in den 1970er-Jahren. Die klinische Forschung und die Grundlagenforschung begannen sich zu trennen, und die biomedizinische Forschung entwickelte sich zu einer eigenständigen Disziplin mit einer eigenen Ausbildung. So wird der größte Teil der biomedizinischen Forschung heute von hochspezialisierten (promovierten) Wissenschaftler*innen durchgeführt, während Mediziner*innen in diesen Forschungsgruppen in der Minderheit sind [16]. Ein weiterer wichtiger Faktor wurde erstmals von C. P. Snow in seiner Rede-Vorlesung (Rede Lecture) an der Universität Cambridge im Jahr 1959 thematisiert: In seinem berühmten Aufsatz „The Two Cultures“ bezeichnet er die Kommunikationsbarriere und das gegenseitige Unverständnis zwischen verschiedenen akademischen Disziplinen als Haupthindernisse für kollektives intellektuelles Wachstum und die Anwendung von umfassendem Wissen auf komplexe Probleme der realen Welt [17, 18].

Diese Bewertungsdifferenzen zwischen Chirurg*innen und Wissenschaftler*innen

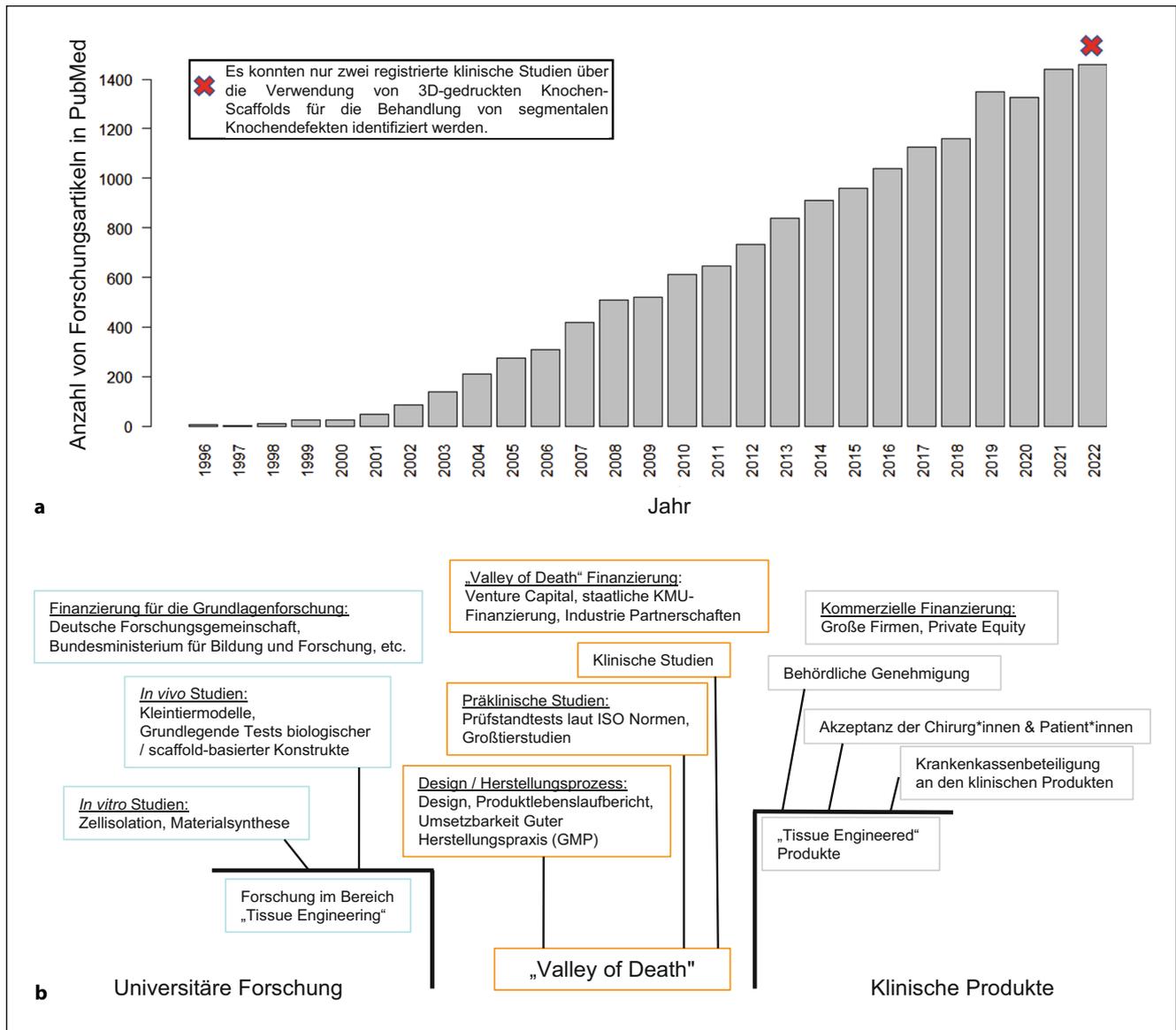


Abb. 2 ▲ Jährliche Zunahme der in PubMed zwischen 1996 und 2022 veröffentlichten Studien über Knochen-Scaffolds für Knochen-Tissue-Engineering und der „Valley of Death“ für Medizinprodukte. Die Auswertung erfolgte am 08.01.2023 unter Verwendung des RISmed-Pakets in der Software R (Version 4.0.2; R Foundation for Statistical Computing, Wien, Österreich) mit der Suchstrategie “((engineering) AND (bone)) AND (scaffold)”. Trotz tausender publizierter Artikel, existieren aktuell nur zwei registrierte klinische Studien zum Thema ([1] prospektive Studie „TRUMATCH“, registriert auf ClinicalTrials.gov, Identifier: NCT05668182 und [2] Phase-IIa-Studie, registriert im Australian New Zealand Clinical Trials Registry [ANZCTR], No. 12620001007921) (a). Die schematische Darstellung der Herausforderungen die traditionell als der Translationslücke zugrunde liegend beschrieben werden („Valley of Death“) (b). (Quelle: Abbildung a angepasst aus der Referenz [22] und Abbildung b angepasst aus den Referenzen [6, 26]. GMP Good Manufacturing Practice, ISO Internationale Organisation für Normung, KMU kleine und mittlere Unternehmen)

können eine mögliche Erklärung dafür sein, dass so wenige Innovationen tatsächlich „from bench to bedside“ gelangen. Dementsprechend wurde die Hypothese aufgestellt, dass diese Translationslücke auf die Tatsache zurückzuführen ist, dass Chirurg*innen und Wissenschaftler*innen sehr unterschiedliche Präferenzen und Sichtweisen in Bezug auf den Stand der

Technik und das Innovationspotenzial von Behandlungsmöglichkeiten, insbesondere von (3D-gedruckten) Biomaterialien für Knochendefekte, haben. Um unsere Hypothese zu prüfen, haben wir eine webseitenbasierte Umfragestudie durchgeführt.

Ergebnisse der webseitenbasierten Umfragestudie unter Chirurg*innen und Wissenschaftler*innen

Es erfolgte eine webseitenbasierte Querschnittserhebung mittels elektronischer Fragebögen. Chirurg*innen und Wissenschaftler*innen wurden über Netzwerk



Abb. 3 ◀ T. Frankenbach und M. Laubach werden beim DKOU Science-Slam 2023 als „die Wissenschaftlerin“ und „der Chirurg“ vorgestellt. (Copyright © Intercongress)

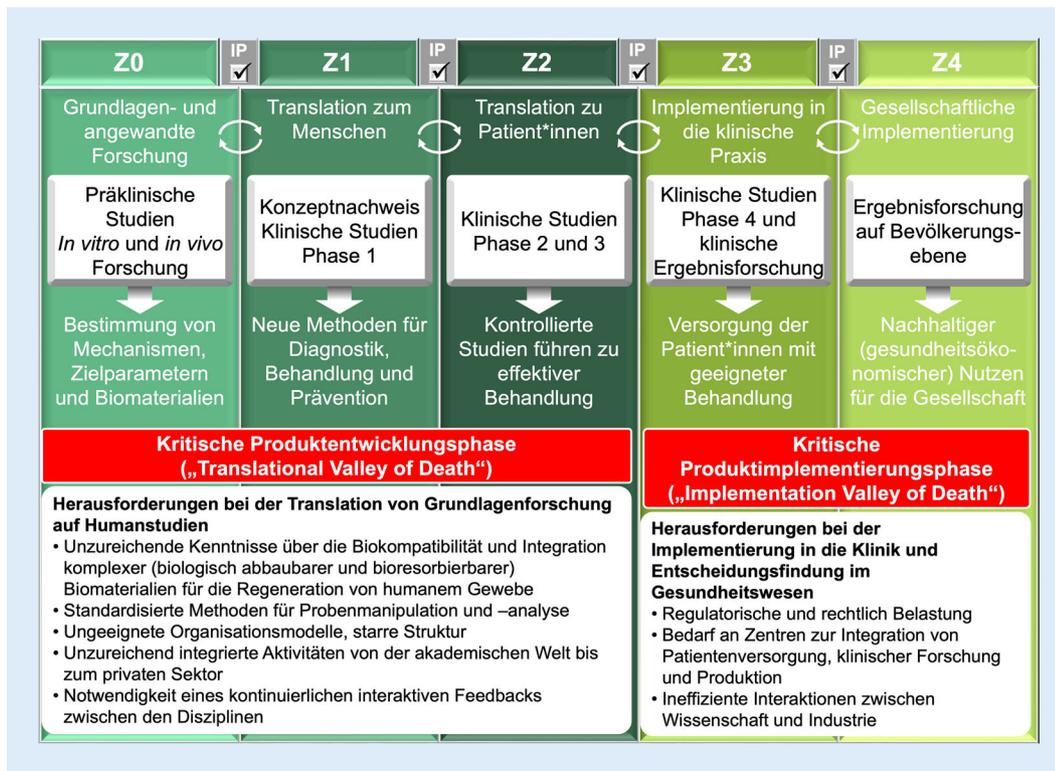


Abb. 4 ◀ Die translationale Forschung ist ein iterativer, dynamischer und vielschichtiger Prozess. Die grobe Einteilung kann beispielsweise in fünf verschiedene Zeitintervalle erfolgen (Z0–Z4). IP umschreibt die vorgeschlagenen Zeitpunkte, zu denen eine interdisziplinäre Produktevaluation erfolgt. Die kritische Produktentwicklungsphase („Translational Valley of Death“) umfasst die Forschung im Zusammenhang mit den Zeitintervallen Z0, Z1 und Z2 und die kritische Produktimplementierungsphase umfasst die Forschung im Zusammenhang mit den Zeitintervallen Z3 und Z4 („Implementation Valley of Death“). (Abbildung angepasst aus Referenzen [27, 28]. IP Interdisziplinäre Produktevaluation, Z Zeitintervall)

kontakte und Konferenztreffen rekrutiert und eingeladen, eine Online-Umfrage zum Thema Entscheidungsfindung bei Knochendefektbehandlung („Decision making in bone defect treatment – What is your opinion?“) auszufüllen. Dabei wurde untersucht, inwieweit sich die Präferenzen und Perspektiven in Bezug auf die Möglichkeiten und die Entwicklung von autologen Knochentransplantaten und Knochenersatzprodukten, die regulatorischen und medikolegalen Herausforderungen von 3D-gedruckten Knochen-Scaffolds und die Hindernisse für die Einführung von

3D-gedruckten Medizinprodukten zur Behandlung von Knochendefekten zwischen diesen beiden Gruppen unterscheiden. Alle Daten wurden im Zeitraum vom 22.10.2022 bis 13.03.2023 gesammelt und unter anderem auf dem Deutschen Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU) 2023 im Rahmen des Science-Slam vorgestellt (▣ Abb. 3).

Wie in unserem Science-Slam-Beitrag herausgearbeitet, konnten wir beobachten, dass obwohl die Wissenschaftler*innen im Vergleich zu den Chirurg*innen deutlich jünger waren, beide

Gruppen über umfangreiche Erfahrungen mit der Behandlung von Knochendefekten und im Umgang mit Biomaterialien, inklusive solcher aus dem Bereich des Knochen-Tissue-Engineering, hatten. Die Ergebnisse der Umfragestudie haben aufgezeigt, dass insbesondere Wissenschaftler*innen seltener an interdisziplinären Treffen teilnehmen, in deren Rahmen Patientenkasuistiken mit komplexen Knochendefekten besprochen werden. Wissenschaftler*innen waren häufiger der Meinung, dass autologe Knochentransplantate in Zukunft durch

Tab. 1 Langwieriger und kostspieliger Weg für die Entwicklung und Translation medizinischer Produkte, hier insbesondere für 3D-gedruckte Knochen-Scaffolds, in die Klinik. Definition Produkt an dieser Stelle: Produkte, die in erster Linie strukturelle, physikalische, Reparatur- oder Wiederherstellungszwecke haben. IDE/PMA: Eine „investigational device exemption“ (IDE) erlaubt die Verwendung des Prüfprodukts in einer klinischen Studie, um Daten zur Sicherheit und Wirksamkeit zu sammeln. Diese Daten werden dann zur Unterstützung des „premarket approval“ (PMA) verwendet [29]. 510K-Genehmigungsverfahren: Beim 510K-Genehmigungsverfahren handelt es sich um einen Antrag vor dem Inverkehrbringen, mit dem nachgewiesen werden soll, dass das Produkt mindestens ebenso sicher und wirksam, d. h. im Wesentlichen gleichwertig, ist, wie ein bereits rechtmäßig in Verkehr gebrachtes Produkt [29]. (Quelle: Tabelle angepasst aus der Referenz [30])

FDA-Zulassung: Produkte			
	Zulassung vor dem Inverkehrbringen (IDE/PMA)		FDA – 510(k)
	Präklinische Studien	Klinische Studien	Präklinische Studien
Zeit (in Jahren)	3–4	2–4	3–6
Kosten (in Millionen US-Dollar)	5–50	40–100	1–50
Ziel	Konzeptentwicklung, <i>in vitro</i> und <i>in vivo</i> Tests zur Bestimmung der Wirksamkeit und Sicherheit sowie zum Nachweis des Produktkonzeptes	Sicherheit und Wirksamkeit des Produkts, Bedingungen für die Verwendung des Produkts und seine Zuverlässigkeit	Nachweis der weitgehenden Gleichwertigkeit mit vorherigen 510(k) Produkten

FDA United States Food and Drug Administration

Knochenersatzprodukte ersetzt werden können und die entsprechende Knochenersatzproduktentwicklung vielversprechend sei. Sowohl Chirurg*innen als auch Wissenschaftler*innen schätzen die Notwendigkeit von vermehrten präklinischen (Groß)Tierstudien, klinischen Studien als auch der medikolegalen Rechtssicherheit als sehr groß ein, bevor 3D-gedruckte Scaffolds zur Knochenregeneration regelhaft eingesetzt werden können.

Diskussion und Ausblick

Die wertvollen Eigenschaften wie Automatisierung, Geschwindigkeit, Reproduzierbarkeit, Flexibilität bei kleinen Chargen und (potenziell) niedrige Herstellungskosten machen prinzipiell die jüngsten Entwicklungen im Bereich Knochenersatzprodukte und im 3D Druck für orthopädisch-unfallchirurgische Anwendungen sehr attraktiv und schaffen damit die Grundlage für die erfolgreiche Umsetzung vom Labor in die klinische Praxis. Bemerkenswerterweise konnten relevante unternehmerische Herausforderungen für die erfolgreiche Translation in die klinische Anwendung von Knochenersatzprodukten und 3D-gedruckten Knochen-Scaffolds, die noch vor etwa 15 Jahren im „translationalen Tal des Todes“ („Translational Valley of Death“) ([11]; **Abb. 2 und 4**) beschrieben wurden, inzwischen erfolgreich adressiert werden: (1) die behördliche Zulassung in vielen Ländern konnte verhandelt und patienten-

orientierte Lösungen gefunden werden und (2) sinnvoll eingesetzte Drittmittelallokationen mit der Finanzierung von (konfirmatorischen) Großtierstudien [19, 20] sowie klinischen Studien [21] können zunehmend beobachtet werden. Nichtsdestotrotz klafft weiterhin zwischen den unzähligen präklinischen Studien und der Anzahl an klinisch tatsächlich verwendeten Knochenersatzprodukten und 3D-gedruckten Knochen-Scaffolds für die Behandlung von Knochendefekten noch eine große Lücke [22]. Diese Translationslücke ist insbesondere relevant vor dem Hintergrund, wie langwierig und kostspielig der Produktentwicklungsprozess ist (**Tab. 1**). Selbst wenn der steinige Instanzenweg von Forschung, Entwicklung und Zulassung erfolgreich durchlaufen wird, ist das noch keine Garantie dafür, dass ein Produkt klinisch erfolgreich ist oder es überhaupt in die routinemäßige klinische Anwendung schafft, denn Einflussfaktoren wie die Entscheidungsprozesse von Chirurg*innen und Wissenschaftler*innen müssen erst im Detail verstanden werden, um auch die „kritische Produktimplementierungsphase“ („Implementation Valley of Death“) erfolgreich zu gestalten (**Abb. 4**; [22]).

Unsere prospektive Umfrage zur Einschätzung der Entwicklung künftiger Biomaterialien und (3D-gedruckter) Implantate für Knochendefekte war daher ein passendes Instrument, um relevante Informationen hinsichtlich des Status quo, für die strategische Vorausschau und die

politische Entscheidungsfindung zu sammeln und mehr über künftige Entwicklungen, Meinungen und Verhaltensweisen von Chirurg*innen und Wissenschaftler*innen zu erfahren. Künftige Strategien und Produkte zur Knochenregeneration sollten nachweislich folgendes bieten (1) eine überlegene Knochenregeneration mit ausgezeichneten klinischen Langzeitergebnissen und (2) vergleichbare Kosten zu bestehenden Methoden [23]. Daher ist das Verständnis der Entscheidungsprozesse von Chirurg*innen und Wissenschaftler*innen in Bezug auf aktuelle Optionen und künftige Möglichkeiten zur Behandlung von Knochendefekten von entscheidender Bedeutung für eine (kosten-)effektive Produktentwicklung.

Um zukünftige Fehlallokationen von Arbeitsleistungen und Finanzmitteln zu vermeiden, sollten die aufgezeigten Diskrepanzen zwischen Chirurg*innen und Wissenschaftler*innen in Bezug auf die klinische Umsetzung von Biomaterialien und Implantate für Knochendefekte wie folgt angegangen und potenzielle Möglichkeiten zwischen den verschiedenen Fachbereichen genutzt werden:

- Da der globale Markt für Knochen-transplantate und -ersatzprodukte signifikant wachsen wird, sind verstärkte Interaktionen und regelmäßige interdisziplinäre Treffen zwischen Chirurg*innen und Wissenschaftler*innen mit Vertreter*innen der Medizinprodukteindustrie eine Notwendigkeit. Das Ziel sollte sein, Fehlinvestitionen

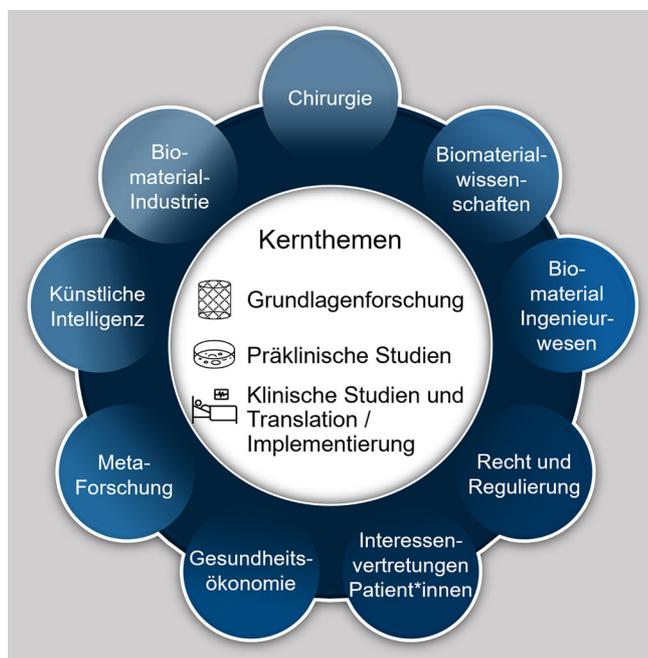


Abb. 5 ◀ Konzept für die vorgesehene interdisziplinäre Konsenssitzung inklusive der Darstellung fachdisziplinübergreifender Teilnehmergruppen und zu bearbeitender Kernthemen. (Abb. in EP)

von (Forschungs-)Mitteln in Knochendefektprojekte ohne praktische Relevanz zu vermeiden und Projekte stärker auf die klinische und wirtschaftliche Umsetzbarkeit auszurichten. Es gilt also die Zusammenarbeit fachdisziplinübergreifend, insbesondere zwischen Chirurg*innen und Wissenschaftler*innen, zu intensivieren. Dieses Credo ist nicht neu und wird seit mindestens 75 Jahren von einzelnen Schlüsselfiguren gefordert [24]. Eine fachdisziplinübergreifende Zusammenarbeit bedeutet nicht nur einen regelmäßigen Austausch, sondern das Eintauchen in den Alltag der jeweils anderen Disziplin, um die „Sprache“ zu erlernen, die entscheidend ist, um eine Basis für einen hochwertigen interdisziplinären Austausch zu schaffen [24]. Dazu ist es nicht zwingend erforderlich, in der jeweils anderen Disziplin ein „Meister“ zu werden, wie schon Goethe feststellte: „Wer mit unzulänglichem Talent sich der Musik bemüht, wird freilich nie ein Meister werden, aber er wird dabei lernen, dasjenige zu erkennen und zu schätzen, was der Meister gemacht hat.“ [25]. Im Rahmen dessen ist es möglicherweise auch eine Option, wissenschaftlich tätige Chirurg*innen und insbesondere Wissenschaftler*innen nicht nur nach ihren Publikationen, sondern

auch nach betriebswirtschaftlichen Kriterien wie Meilensteinen und der Fähigkeit, in multidisziplinären Gruppen zu arbeiten, zu beurteilen [16]. Um entsprechend bereits jetzt in der Produktentwicklungs- und Implementierungsphase zu unterstützen, könnte es hilfreich sein, konkrete Ablaufschemata zur Anwendung zu bringen, um wichtige Meilensteine insbesondere durch interdisziplinären Austausch zu faszilitieren (▣ Abb. 4).

- Eine interdisziplinäre Konsenssitzung ist dringend erforderlich, um prospektive Untersuchungen von Knochenersatzprodukten und (3D-gedruckten) Implantaten wie zum Beispiel Knochen-Scaffolds für die Behandlung von Knochendefekten anzugehen und spezifische chirurgische Indikationen, durchzuführende (prä-)klinische Studien, relevante medikolegale Aspekte und Lösungen für die Kostenerstattung zu diskutieren. Wissenschaft und Innovation sind zu komplex geworden, als dass Chirurg*innen und Wissenschaftler*innen ohne die notwendigen Synergien von fachdisziplinübergreifenden Kooperationen erfolgreich die Translation und Implementierung von Produkten in die klinische Praxis vorantreiben können [16]. Diese Kultur der fachdisziplinübergreifenden Zusammenarbeit

zu etablieren und intensivieren ist substanziell, um Forschungsanstrengungen für die nächsten Jahrzehnte zu gestalten. Deshalb haben wir mit unserer Forschungsgruppe eine mehrtägige multidisziplinäre Konsenssitzung für Februar 2024 terminiert (▣ Abb. 5).

Fazit für die Praxis

- Wir haben eine webseitenbasierte Umfrage durchgeführt, die signifikante Diskrepanzen zwischen Chirurg*innen und Wissenschaftler*innen in der Einschätzung von für die Knochendefektbehandlung relevanten Therapien mittels autologen Knochentransplantaten, Knochenersatzprodukten und 3D-gedruckten Implantaten aufzeigte.
- Basierend auf den Ergebnissen, scheint eine Fehlallokation von Arbeitsleistung und Finanzmitteln in der Medizintechnologieindustrie und in Forschungsinstituten im Bereich Biomaterialien und 3D-gedruckter Implantate für Knochendefekte wahrscheinlich.
- Um die erfolgreiche Erforschung und Translation von Innovationen auf dem Gebiet der Biomaterialien und 3D-gedruckten Implantate für Knochendefekte unmittelbar zu unterstützen, wurde in unserer translationalen Forschungsgruppe ein Ablaufschema zur iterativen Evaluation der notwendigen Interdisziplinarität und ein Konzept für eine interdisziplinäre Konsenssitzung erstellt.

Korrespondenzadresse

Tina Frankenbach, M.Sc.
 Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie,
 Muskuloskelettales Universitätszentrum
 München (MUM), LMU Klinikum, LMU
 München
 München, Deutschland
 Tina.Frankenbach@med.uni-muenchen.de

Dr. med. Markus Laubach, MBA
 Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie,
 Muskuloskelettales Universitätszentrum
 München (MUM), LMU Klinikum, LMU
 München
 München, Deutschland
 Markus.Laubach@med.uni-muenchen.de

Funding. Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. D.W. Hutmacher ist Mitgründer der BellaSeno GmbH und Anteilseigner bei Osteopore International, beides Medizintechnikunternehmen. T. Frankenbach, S. Mayer-Wagner, W. Böcker, B.M. Holzapfel und M. Laubach geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Die dem Science-Slam-Beitrag zugrundeliegende Studie wurde gemäß den Grundsätzen der Deklaration von Helsinki durchgeführt und hat ein positives Votum der zuständigen Ethikkommission der Queensland University of Technology (Brisbane, Australien) erhalten.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

1. Mills LA, Simpson AHRW (2013) The relative incidence of fracture non-union in the Scottish population (5.17 million): a 5-year epidemiological study. *BMJ Open* 3:e2276
2. Laubach M, Suresh S, Herath B et al (2022) Clinical translation of a patient-specific scaffold-guided bone regeneration concept in four cases with large long bone defects. *J Orthop Translat* 34:73–84
3. Laubach M, Herath B, Bock N et al (2023) In vivo characterization of 3D-printed polycaprolactone-hydroxyapatite scaffolds with Voronoi design to advance the concept of scaffold-guided bone regeneration. *Front Bioeng Biotechnol* 11:
4. Finze R, Laubach M, Russo Serafini M et al (2023) Histological and Immunohistochemical Characterization of Osteoimmunological Processes in Scaffold-Guided Bone Regeneration in an Ovine Large Segmental Defect Model. *Biomedicines* 11:
5. O'Brien FJ (2011) Biomaterials & scaffolds for tissue engineering. *Mater Today* 14:88–95
6. Hutmacher DW, Tandon B, Dalton PD (2023) Chapter 11—Scaffold design and fabrication. In: De Boer J, Blitterswijk CAV, Uquillas JA, Malik N (Hrsg) *Tissue Eng*. Academic Press, S 355–385
7. Langer R, Vacanti JP (1993) Tissue engineering. *Science* 260:920–926
8. Holzapfel BM, Rudert M, Hutmacher DW (2017) Gerüstträgerbasiertes Knochen-Tissue-Engineering [Scaffold-based bone tissue engineering. *Orthopäde* 46:701–710
9. Hutmacher DW (2000) Scaffolds in tissue engineering bone and cartilage. *Biomaterials* 21:2529–2543
10. Henkel J, Woodruff MA, Epari DR et al (2013) Bone regeneration based on tissue engineering conceptions—A 21st century perspective. *Bone Res* 1:216–248
11. Hollister SJ, Murphy WL (2011) Scaffold translation: barriers between concept and clinic. *Tissue Eng Part B Rev* 17:459–474
12. Hollister SJ (2009) Scaffold design and manufacturing: from concept to clinic. *Adv Mater* 21:3330–3342
13. Keramaris NC, Kanakaris NK, Tzioupis C et al (2008) Translational research: From benchside to bedside. *Injury* 39:643–650
14. Woodruff MA, Lange C, Reichert J et al (2012) Bone tissue engineering: from bench to bedside. *Mater Today* 15:430–435
15. Basson MD (2014) The role of the investigative surgeon: Asking questions and questioning answers. *JAMA Surg* 149:1188–1190
16. Butler D (2008) Translational research: Crossing the valley of death. *Nature* 453:840–842
17. Snow CP (1959) *The rede lecture 1959*. Cambridge University Press, Cambridge
18. Snow CP (2012) *The two cultures*. Cambridge University Press
19. BMBF (Bundesministerium Für Bildung Und Forschung) (2018) Preclinical studies and reviews (Fördermaßnahme Präklinische Studien und Reviews). <https://www.gesundheitsforschung-bmbf.de/de/praklinische-studien-und-reviews-10436.php>; Zugegriffen: 8. Jan. 2023
20. Vogel AL, Knebel AR, Faupel-Badger JM et al (2021) A systems approach to enable effective team science from the internal research program of the National Center for Advancing Translational Sciences. *J Clin Transl Sci* 5:e163
21. BMBF (Bundesministerium Für Bildung Und Forschung) (2018) Early clinical studies (Fördermaßnahme Frühe klinische Studien). <https://www.gesundheitsforschung-bmbf.de/de/fruhe-klinische-studien-12627.php>; Zugegriffen: 8. Jan. 2023
22. Laubach M, Hildebrand F, Suresh S et al (2023) The concept of scaffold-guided bone regeneration for the treatment of long bone defects: Current clinical application and future perspective. *J Funct Biomater* 14:341
23. Cengiz IF, Pereira H, De Girolamo L et al (2018) Orthopaedic regenerative tissue engineering en route to the holy grail: disequilibrium between the demand and the supply in the operating room. *J Exp Orthop* 5:14
24. Malkin SAS (1949) The scientific approach to orthopaedic surgery. *J Bone Joint Surg Br* 31-B:5–9
25. Eckermann JP, Goethe JWV (1885) *Gespräche mit Goethe in den letzten Jahren seines Lebens*. Brockhaus, Deutschland
26. Hollister SJ (2009) Scaffold engineering: a bridge to where? *Biofabrication* 1:12001
27. Fernandez-Moure JS (2016) Lost in translation: The gap in scientific advancements and clinical application. *Front Bioeng Biotechnol* 4:43
28. Blumberg RS, Dittel B, Hafler D et al (2012) Unraveling the autoimmune translational research process layer by layer. *Nat Med* 18:35–41
29. Gillman CE, Jayasuriya AC (2021) FDA-approved bone grafts and bone graft substitute devices in bone regeneration. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl* 130:112466
30. Pashuck ET, Stevens MM (2012) Designing regenerative biomaterial therapies for the clinic. *Sci Transl Med* 4(160):sr164

Hinweis des Verlags. Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.