

Nadja Mendrzyk**Biodruck****Anwendungen, Potenziale und Herausforderungen**

Der Biodruck ist eine junge, interdisziplinäre Technologie, die sich an der Schnittstelle von Biotechnologie, Medizin und Technik bewegt. Ziel des Verfahrens ist es, mithilfe von 3D-Drucktechniken lebende Zellen und Biomaterialien so zu kombinieren, dass funktionale Gewebe oder sogar ganze Organe entstehen können. Anders als beim klassischen 3D-Druck, bei dem mit Kunststoffen oder Metallen gearbeitet wird, verwendet der Biodruck sogenannte Biotinten. Es wird also eine Mischung aus Zellen, biokompatiblen Trägerstoffen (z.B. Hydrogele) und Nährstofflösung gedruckt. Je nach Verfahren funktioniert der Druck unterschiedlich. Beim Extrusionsdruck wird das Material durch eine feine Nadel gepresst, während das Auftragen mittels Inkjet in gesprühten Tropfen erfolgt. Eine besonders präzise Methode stellen die licht- und laserunterstützten Drucke dar. Bei der Stereolithografie beispielsweise wird UV-Licht an bestimmte Stellen projiziert, um lichtempfindliche Hydrogele Schicht für Schicht zu polymerisieren. Hier muss allerdings die Lebensfähigkeit der Zellen beachtet werden, die durch wiederholte Exposition mit UV-Licht beeinträchtigt sein kann. Beim 2-Photonen-Polymerisations-Druck hingegen polymerisiert das Hydrogel nur im Fokusbereich, was eine besonders hohe Auflösung im Nanometer-Bereich und das Drucken komplexer 3D-Strukturen ermöglicht.

Medizinische Anwendungen

Das größte Zukunftspotenzial des Biodrucks liegt in der Medizin. Bislang basierten gängige Vorgehensweisen in der Arzneimittelentwicklung auf der Untersuchung von 2D-Kulturen gezüchteter menschlicher Zellen gefolgt von Tests an Nagetieren. Allerdings unterscheidet sich eine solche 2D-Kultur stark vom physiologischen Gewebe, da weder der exakte Aufbau des zu untersuchenden Gewebes konkret widerspiegelt wird noch die Interaktion mit umliegenden Zellen. Zudem ist auch die Reproduzierbarkeit der Tests an Nagetieren in Bezug auf den Menschen

oft nicht gegeben. Es wird dementsprechend intensiv an organischem Ersatzgewebe geforscht. Erste 3D-Ansätze inkludieren Mini-Organoiden, winzige Zellverbände, die der räumlichen Struktur von Organen schon näherkommen als 2D-Kulturen. Der 3D-Druck als nächster Schritt ermöglicht es, komplexere menschliche Gewebe zu erzeugen, und damit die Arzneimitteltestung zu verbessern. Zudem hat die Technologie das Potenzial, um etwa mit gedrucktem Leber-, Herz- oder Nierengewebe in Zukunft Patient:innen mit Organversagen zu helfen. Ein ausschlaggebender Vorteil gegenüber gespendeten Organen hierbei ist die Verwendung körpereigener Zellen, wodurch Abstoßungsreaktionen verhindert werden können.

Eine zentrale Herausforderung ist jedoch die Vaskularisierung – also die Einbindung funktionierender Blutgefäße auf Dauer, um größere Gewebestrukturen am Leben zu erhalten, sowie die Zellzahl. Wenn ein menschliches Herz aus mehr als 100 Milliarden (in Zahlen 100.000.000.000) Zellen besteht, wird enorm viel Platz für die Kultivierung ebenjener Zellen für den Druck benötigt, was ganz klar eine logistische Herausforderung darstellt.

Ein Bereich, in dem der Biodruck bereits Anwendung findet, ist die Hauttransplantation. Hier werden gedruckte Hautmodelle zur Behandlung von Verbrennungen oder chronischen Wunden eingesetzt. Als Teil der personalisierten Medizin werden bei dieser Vorgehensweise ebenfalls körpereigene Zellen als Basis für das Hauttransplantat genutzt. Diese individuelle Herstellung von patient:innenspezifischem Gewebe und Implantaten ist ein Durchbruch für die Zukunft der regenerativen Medizin.

Biodruck in der Kosmetik und Lebensmittelproduktion

Der Biodruck findet auch außerhalb der klassischen Medizin Anwendung. In der Kosmetikindustrie werden biogedruckte Hautmodelle zur tierversuchsfreien Testung von Produkten eingesetzt – eine wichtige Alternative seit dem Verbot von Tierversuchen für Kosmetik in der EU.

Ein wachsendes Feld ist zudem der Lebensmitteldruck, besonders im Bereich zellbasierten Fleisches. Hierbei werden tierische Muskelzellen kultiviert und mithilfe von Biodruckverfahren zu Fleischprodukten verarbeitet. Diese gelten als ethisch und ökologisch nachhaltiger als herkömmliche Fleischproduktion, da keine Tiere getötet und weniger Ressourcen verbraucht werden. Aktuell sind die Kosten für zellbasiertes Fleisch noch zu hoch (10 Euro/Labor-Patty für einen Rindfleischburger), doch das Ziel ist eine langfristige Senkung auf marktfähige Preise.

Neben zellbasierten Varianten gibt es auch pflanzenbasierte Alternativen, bei denen pflanzliche Proteine durch Biodruck in fleischähnliche Strukturen gebracht werden. Diese sind kostengünstiger und bereits kommerziell verfügbar, erreichen jedoch bislang nicht die gleiche Textur wie echtes Fleisch.

Ethische Aspekte und Ausblick

Mit dem technischen Fortschritt gehen auch ethische Fragen einher: Wer erhält Zugang zu gedruckten Organen? Ist es moralisch vertretbar, tierische Zellen für Fleisch zu züchten? Und wie viel Vertrauen hat die Gesellschaft in synthetisch hergestellte biologische Produkte?

Zudem bestehen noch technologische Herausforderungen wie das Überleben der Zellen während und nach dem Druck, die Langzeitstabilität gedruckter Gewebe sowie die regulatorische Zulassung solcher Produkte, die in vielen Ländern noch in Entwicklung ist.

Dennoch zeigt sich: Der Biodruck hat das Potenzial, Medizin, Lebensmittelproduktion und Forschung grundlegend zu verändern. Ob sich die Technologie durchsetzen kann, wird nicht nur von wissenschaftlichen Fortschritten, sondern auch von gesellschaftlicher Akzeptanz und ethischer Reflexion abhängen.

Literaturverzeichnis

- Hagenbuchner J, Nothdurfter D, Ausserlechner MJ. 3D bioprinting: novel approaches for engineering complex human tissue equivalents and drug testing. *Essays Biochem.* 2021 Aug 10;65(3):417-427. doi: 10.1042/EBC20200153. PMID: 34328185; PMCID: PMC8365325
<https://www.openscience.or.at/de/wissen/medizin-mensch-ernaehrung/2025-03-24-was-ist-in-vitro-fleisch/> [Zugriff: 16.06.2025]
- <https://www.3d-grenzenlos.de/magazin/forschung/3d-gedruckte-haut-mit-lebenden-zellen-tierversuche-271157883/> [Zugriff: 08.04.2025]
- Stephens N, Sexton AE, Driessen C. Making Sense of Making Meat: Key Moments in the First 20 Years of Tissue Engineering Muscle to Make Food. *Front Sustain Food Syst.* 2019 Jul 10;3:45. doi: 10.3389/fsufs.2019.00045. PMID: 34250447; PMCID: PMC7611147.
- Xu K, Huang Y, Wu M, Yin J, Wei P. 3D bioprinting of multi-cellular tumor microenvironment for prostate cancer metastasis. *Biofabrication.* 2023 Jun 9;15(3). doi: 10.1088/1758-5090/acd960. PMID: 37236173.