

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-03-124
 Datum der Einreichung: 28.11.2025
 Datum der Annahme: 17.12.2025
 Datum der Veröffentlichung: 07.04.2026

Technologietransfer und Innovationsökosysteme für biointelligente Wertschöpfung

Von Invention zu Innovation: Biointelligenz-Transfer

A. Shoshi, M. Sonnenberg, R. Hauf, T. Bauernhansl, R. Miehe

ZUSAMMENFASSUNG Biointelligente Technologien an der Schnittstelle von Biologie, Technik und Informatik gelten als Schlüssel zu einer nachhaltigen Industrie. Trotz starker Forschung fehlen in Deutschland Infrastruktur und Transferwege, um sie in marktfähige Lösungen zu überführen. Der Beitrag skizziert ein Transferzentrum als strukturpolitisches Instrument, das Laborressourcen bündelt und den Übergang von Wissen zu wirtschaftlichem Nutzen beschleunigt.

STICHWÖRTER

Biologie & Technik, Nachhaltigkeit, Technologietransfer

From invention to innovation: Transfer centers as catalysts for biointelligent innovations

ABSTRACT Biointelligent technologies at the interface of biology, engineering, and computer science are considered key to a sustainable industry. Despite strong research, Germany lacks the infrastructure and transfer channels to translate these technologies into marketable solutions. This article outlines a transfer center as a structural policy instrument that pools laboratory resources and accelerates the transition from knowledge to economic benefit.

1 Einleitung

Die Transformation industrieller Wertschöpfung unterliegt zunehmend dem doppelten Druck ökologischer Grenzen und geopolitischer Wettbewerbsdynamiken. Während die digitale Transformation (etwa Industrie 4.0, KI, cyber-physische Systeme) in vielen Bereichen bereits tiefgreifende Veränderungen bewirkt hat, rücken nun technologische Ansätze in den Vordergrund, die biologische Prinzipien systematisch in industrielle Prozesse integrieren [1]. Dieser Paradigmenwechsel wird als biologische Transformation bezeichnet. Er verbindet Erkenntnisse und Methoden aus den Lebenswissenschaften, der Ingenieurtechnik und der Informationsverarbeitung, um nachhaltige, adaptive und ressourcenschonende Produktionssysteme zu entwickeln [1, 2]. Biointelligente Technologien sind ein Ergebnis dieser Konvergenz und zeichnen sich dadurch aus, dass sie biologische Mechanismen gezielt funktional integrieren, etwa in Form von selbstregulierenden Prozessen, biologisch inspirierten Materialien oder dezentralen Bioproduktionssystemen [3].

Der internationale Vergleich zeigt, dass die Biointelligenz kein theoretisches Zukunftskonzept mehr ist, sondern ein global emergierendes Technologiefeld. Länder wie die USA, Israel und Kanada investieren gezielt in Befähigertechnologien, Infrastruktur und Ökosysteme, um die technologische Führungsrolle in der Biointelligenz auszubauen [4]. Trotz hoher wissenschaftlicher Exzellenz und eines dichten Forschungsnetzwerks bestehen in Deutschland weiter strukturelle Defizite beim Transfer biointelligenter Technologien in marktfähige Anwendungen. Erstens fehlt eine durchgängige Infrastruktur, welche die Labor-, Daten- und Testressourcen systematisch zugänglich macht. Zweitens mangelt es an klaren Verantwortlichkeiten und intermediären Strukturen,

die den Übergang zwischen Forschung, Start-ups und Industrie koordinieren. Drittens verlangsamen regulatorische Unsicherheiten und fragmentierte Förderlogiken den Markteintritt innovativer Lösungen.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie ein Transferzentrum strukturiert werden muss, um die bestehenden Transferlücken zwischen Forschung, Start-ups und Industrie effektiv zu schließen.

2 Biointelligente Technologien im Kontext der industriellen Transformation

2.1 Biointelligenz

Die biologische Transformation ist ein Prozess, der drei Entwicklungsmodi unterscheidet, basierend auf dem Integrationsgrad von technischen und biologischen Systemen sowie Informationssystemen [1, 5] (**Bild 1**).

Unternehmen entwickeln mit diesem Ansatz neuartige Materialien und Strukturen (wie etwa Leichtbau), Funktionalitäten (zum Beispiel Biomechanik) sowie Organisations- und Kooperationslösungen (zum Beispiel neuronale Netze, evolutionäre Algorithmen). Die Integration ermöglicht die Einbindung biologischer Systeme in Produktionssysteme, beispielsweise durch den Ersatz chemischer Prozesse durch biologische Prozesse. Beispiele für diesen Modus sind die Verwendung von Mikroorganismen zur Rückgewinnung von Seltenerdelementen aus Magneten, die Funktionalisierung von Polymeren und die Herstellung von Biokunststoffen aus CO₂-Abfallströmen.

Biointelligenz wird über drei Strategien realisiert: Inspiration nutzt biologische Prinzipien als Vorbild für technische Lösungen, Integration bindet biologische Komponenten in technische Systeme

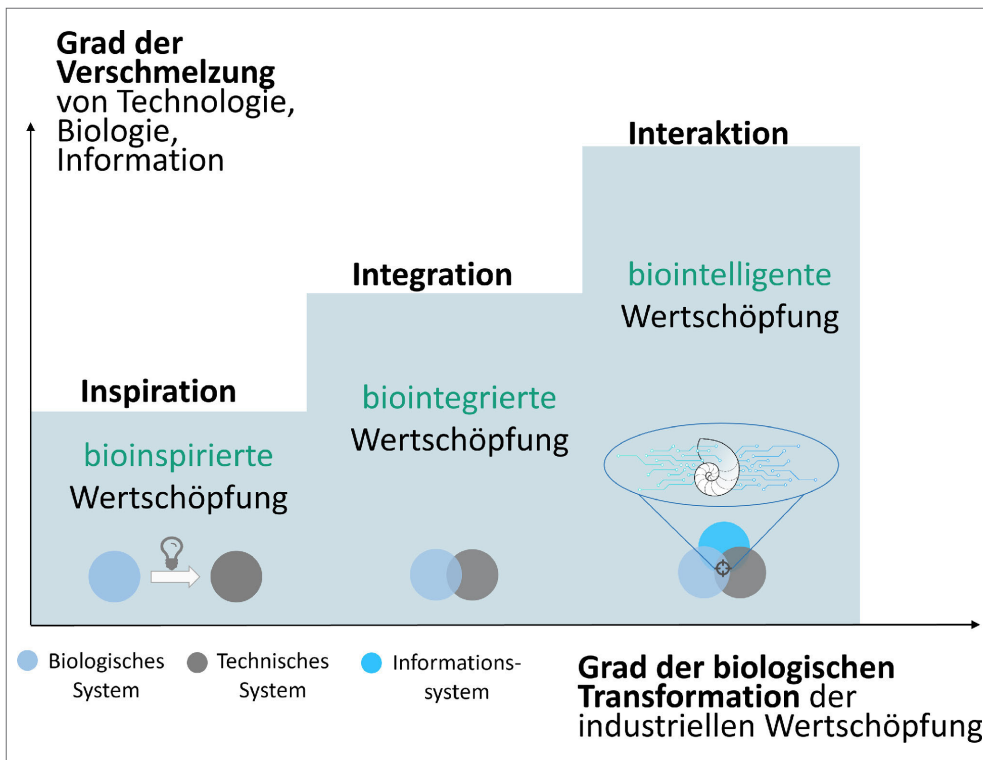


Bild 1 Entwicklungsmodi biologischer Transformation nach Mieke et al. [2]. Grafik: Fraunhofer IPA

me ein, und Interaktion beschreibt das umfassende Zusammenspiel von technischen, informationstechnischen und biologischen Systemen [6, 7]. Die Interaktion resultiert in der Entwicklung völlig neuer, autonomer Produktionstechnologien und -strukturen, die als biointelligente Systeme (BIS) bezeichnet werden [2].

In diesem biokonvergenten Verständnis stellt die Biointelligenz den nächsten Entwicklungsschritt cyber-physischer Systeme dar, wie sie aus der Industrie 4.0 bekannt sind. Diese Systeme bieten ein erhebliches Potenzial für disruptive Innovationen und Wettbewerbsvorteile in nahezu allen Industriezweigen. Die jüngsten Fortschritte in der Biotechnologie (zum Beispiel Biocomputing, Nutzung enzymatischer Prozesse, Bioreaktoren, Biosensorik) und der Informationstechnologie (wie etwa künstliche Intelligenz) tragen wesentlich zur Realisierung dieses Potenzials bei [8]. Ziel ist eine nachhaltige, adaptive und dezentrale Wertschöpfung durch BIS, die eine lokale, bedarfsgerechte Herstellung von Produkten und Dienstleistungen ermöglicht. Somit beschreibt die Biointelligenz auch eine verstärkte Automatisierung von Systemen der biologischen Transformation, als ein wichtiger Baustein hin zu einer nachhaltigkeitsorientierten Bioökonomie [9].

2.2 Forschungsperspektiven für biointelligente Produktionssysteme

Die Perspektiven für Forschung und Entwicklung in biointelligenten Produktionssystemen gliedern sich in vier Domänen, die aus technik- und innovationsmanagementbezogener Sicht die wesentlichen Pfade strukturieren [6].

Jede Domäne bündelt spezifische Forschungsfelder und adressiert komplementäre Herausforderungen. Die Primärdomäne konzentriert sich auf die technologischen Grundlagen, die für eine erfolgreiche Skalierung unerlässlich sind. Dazu zählen nachhaltige zelluläre Schnittstellen zwischen biologischen und technischen Einheiten, wie etwa bidirektionale Informationsflüsse in Echtzeit

[10] sowie systemtheoretische Verhaltensmodelle und Lernalgorithmen [11]. Parallel werden Werkstoffpfade verfolgt, die erneuerbare Ressourcen substituieren und intelligente Materialien mit responsiven Eigenschaften bereitstellen. Prognose und Steuerung der Degradation sind notwendig, um Einsatzzyklen mit Materiallebensdauern zu synchronisieren und Grundlagen für Bioelektronik, Biocomputing und Sensorsysteme zu legen. In der Fertigung liegt ein kurzfristiger Fokus auf Verbesserungen in Bioprinting und der Skalierbarkeit biogener Systeme, während langfristig beispielsweise die Integration zu Smart Biomanufacturing Devices (SBMDs) für eine autonome Produktion angestrebt wird [12]. Dies erfordert Konnektivität und Interoperabilität, etwa durch Kopplung von Biosensorik mit digitalen Zwillingen (englisch: Digital Twin, DT) für ortsnahe Prozessketten [10, 11, 13]. Somit können beispielsweise nachhaltige Energiesysteme adressiert werden, in denen mikrobiologische Systeme mit Sensorik und intelligenter Steuerung kombiniert werden [12].

Die Sekundärdomäne konzentriert sich auf intra-organisatorische Gestaltung und Optimierung, um technologische Optionen in Wertschöpfungsroutinen zu überführen. Methodisch fundierte Organisations- und Geschäftsmodelle integrieren ökonomische, soziale und ökologische Anforderungen und passen Entscheidungslogiken an. Netzstrategien und kundennahe Konfigurationen sind Treiber der Akzeptanz und Diffusion [6]. Die menschenzentrierte Arbeit wird untersucht, um die Interaktion von Menschen mit bioproduktiven Zellen und Anlagen effektiv zu gestalten. Schwerpunkte sind Mensch-Maschine-Interaktion, Ergonomie und biokompatible Schnittstellen in zellulären Produktionseinheiten. Methoden des systemorientierten Lebenszyklusdenkens werden organisationsintern operationalisiert, indem das Life Cycle Assessment (LCA) für autonome Systeme angepasst und durch erweiterte Datenbestände sowie prädiktive Ansätze ergänzt wird [14]. Somit werden ökologische, ökonomische und soziale Auswirkungen technologie- und standortspezifisch abgebildet.

Die Tertiärdomäne adressiert die interorganisationale Koordination und Mechanismen zur Skalierung von BIS [6]. Forschungsbedarfe entstehen zwischen Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Infrastrukturanbietern. Zentral sind Datenmodelle und Schnittstellenstandards zur Sicherung der Interoperabilität in Produktionsnetzwerken, einschließlich Governance-Regeln für Datenteilung und Transparenz. Die überbetriebliche Orchestrierung durch DT und SBMD-Logistiken erhöht Resilienz und Effizienz [12]. Zudem werden kooperative Bewertungsrahmen aufgebaut, damit Lebenszyklusanalysen, Sicherheitsanforderungen und Qualitätsstandards über Organisationsgrenzen konsistent angewendet werden können.

Die Quartärdomäne umfasst soziopolitische Initiativen und den Prozess der normativen Rahmensetzung. Gesellschaftliche Dialogformate, Partizipationsprozesse und Wissenschaftskommunikation werden entwickelt, um die Auswirkungen biointelligenter Technologien zu erfassen und zu diskutieren [6]. Ethische, rechtliche und politische Aspekte werden in Leitlinien überführt, die Datensouveränität, Transparenz und Sicherheit adressieren. LCA-basierte Bewertungsinstrumente werden für regulative Zwecke weiterentwickelt und dienen als Grundlage für Produktpolitik, öffentliche Beschaffung und Zulassungsprozesse. Die Verknüpfung von Teilnehmungsformaten mit evidenzbasierten Bewertungsverfahren soll die Handlungsfähigkeit von Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft stärken und den Weg für die Einführung disruptiver Entwicklungen ebnen.

2.3 Herausforderungen und Voraussetzungen zur Entwicklung biointelligenter Systeme

Den Grundbaustein biointelligenter Wertschöpfungssysteme bilden BIS. Ihre Entwicklung ist, vor allem aufgrund der Verschiedenartigkeit der involvierten Teildisziplinen, mit vielseitigen Herausforderungen verbunden. Die Verschiedenartigkeit der Disziplinen und ihrer Komponenten kommt auf unterschiedliche Weisen zu tragen.

Konträr zu den technischen Komponenten kennzeichnen sich biologische Systeme durch ein scheinbar nicht-deterministisches Verhalten und eine ausgeprägte Variabilität, die eine präzise Regelung oder Skalierung von Prozessen, inklusive der Reproduzierbarkeit von Qualitätsmerkmalen, drastisch erschwert [15]. Hinzu kommen zusätzliche ethische Verantwortlichkeiten und Regulatorik, die es zu navigieren gilt. Schwierigkeiten zeigen sich auch in entwicklungsmethodischen Barrieren. Klassische ingenieurwissenschaftliche Ansätze sind plangetrieben und folgen einer sequenziellen Entwicklungslogik, während agile Rahmenwerke adaptiv und iterativ-inkrementell ablaufen und biologische Komponenten oder Prozesse wiederum meist nach einem explorativ experimentellen oder evolutiven Ansatz entwickelt werden [16]. Verschärft werden diese Unterschiede durch interdisziplinäre Kompetenzlücken, welche sich in unterschiedlichen Fachsprachen und Denkmodellen manifestieren. Ebenso hemmt der Mangel an vermittelnden Rollen (englisch: boundary spanner) derzeit die Zusammenarbeit. Auf technischer Ebene zeigen sich Digitalisierungs- und Automatisierungsdefizite in unzureichenden Fähigkeiten zum Echtzeit-Monitoring, einem fehlenden bidirektionalen Informationsfluss zwischen Biologie, Technik und proprietären Schnittstellen, was die Realisierung von DT verhindert [17].

Als notwendige Voraussetzungen erweisen sich spezialisierte Infrastrukturen mit Biosicherheitsstufen (englisch: biosafety

level). Hinzu kommen interdisziplinäre Fachkräfte. Für systemübergreifende Interoperabilität sind offene Datenstandards erforderlich. Darüber hinaus bedarf es regulatorischer Klarheit. Ebenso wichtig ist die Zusammenarbeit von Wissenschaft und Industrie. Schließlich ist Risikokapital für frühe Entwicklungsphasen nötig. Diese strukturellen Anforderungen verdeutlichen den Bedarf an Transferstrukturen, in denen wissenschaftliche und technologische Erkenntnisse mit geeigneter Infrastruktur und Netzwerken verknüpft werden.

3 Internationale Benchmarks und strukturelle Lücken im deutschen Innovationssystem

Internationale Vergleiche legen nahe, dass biointelligente Technologien in mehreren Ländern als strategische Zukunftsfelder priorisiert werden. In Kanada, Israel, den USA, Singapur, dem Vereinigten Königreich und den Niederlanden sind differenzierte Förder- und Infrastrukturlandschaften etabliert, die transdisziplinäre Forschung, technologiebezogene Entwicklung und frühe Markterschließung systematisch integrieren [4]. Charakteristisch sind intermediäre Einrichtungen wie Pilotanlagen, Testfelder und „Living Labs“ sowie konvergente Ausbildungsformate, die Kompetenzen entlang kompletter Wertschöpfungsketten aufbauen. Diese Ausrichtung wird in nationalen Roadmaps operationalisiert und durch standardisierte Monitoring-Instrumente flankiert. Im Gegensatz dazu lassen sich für Deutschland spezifische Strukturdefizite identifizieren.

Erstens sind Förderprogramme überwiegend disziplinär ausgerichtet und adressieren Konvergenzanforderungen biointelligenter Technologien nur punktuell, was zu Pfadabhängigkeiten führt, welche die Integration biologischer, technischer und informationstechnischer Komponenten erschweren.

Zweitens ist der Zugang zu translationalen Infrastrukturen eingeschränkt. Demonstratoren, regulatorisch abgestimmte Realexperimente und skalierbare Testumgebungen sind institutionell gebunden, standortabhängig und nur unzureichend systematisiert. Überregionale, sichtbare Transferstrukturen mit spezieller Ausrichtung auf biointelligente Anwendungen sind bislang nicht etabliert [4].

Drittens ergeben sich aus der laborgestützten Natur vieler biointelligenter Entwicklungen spezifische Zugangshürden. Universitäre Labore sind primär den Angehörigen der jeweiligen Institution zugänglich. Mit der Konkretisierung von Gründungsvorhaben und dem Verlassen der Institution entfällt häufig der Zugang zu sicherheitsrelevanter und kostenintensiver Infrastruktur. Dies führt dazu, dass Projekte mit hohem Reifegrad nicht ausgegründet werden, während bestehende Laborressourcen lange gebunden bleiben, was zu einem Innovationsstau führt. Diese Hürden betreffen nicht nur potenzielle Ausgründungen, sondern auch etablierte Unternehmen, die erste Schritte in Richtung biointelligenter Technologien erwägen.

Viertens besteht ein erheblicher Druck in Bezug auf Kosten, Regulierung und Organisation bei der Bereitstellung geeigneter Räumlichkeiten. Aufbau und Betrieb laborintensiver Infrastruktur erfordern hohe Anfangsinvestitionen, spezifische Genehmigungen und dauerhaftes Fachpersonal. In Verbindung mit Engpässen beim Wagniskapital und Schwächen in den Vertriebskapazitäten werden zentrale Wachstumsbarrieren sichtbar [18, 19]. Parallel dazu fehlt ein integratives, technologieoffenes Monitoring, das

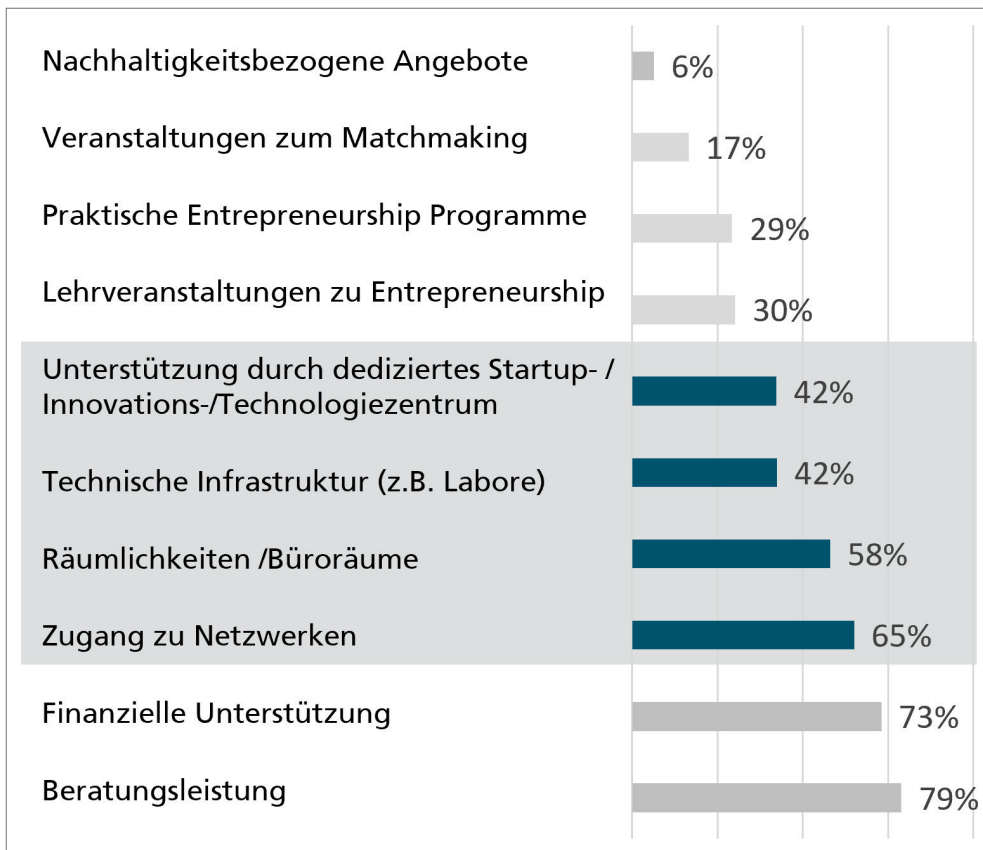


Bild 2 Die wichtigsten Unterstützungsleistungen von Hochschulen/ Forschungseinrichtungen [21].
Grafik: Fraunhofer IPA

Anwendungsfelder, gesellschaftliche Bedarfe und potenziell disruptive Entwicklungen konsistent erfasst und für politische sowie unternehmerische Entscheidungen nutzbar macht [4].

Fünftens ist eine geringe Verbindung zwischen etablierten Unternehmen und technologieorientierten Gründungen zu beobachten. Obwohl ein signifikanter Anteil der jungen Unternehmen als „Deep-Tech“ klassifiziert werden kann, sind akquisitionsgetriebene Diffusionsmechanismen nur schwach ausgeprägt [19, 20]. Interne Kooperationseinheiten wie Inkubatoren und Acceleratoren weisen oft eine geringe strategische Tiefe auf, was zu einem Verlust der Anschlussfähigkeit an externe Technologiepfade führt. Dies steht im Gegensatz zu internationalen Ökosystemen, in denen großvolumige Übernahmen und kooperative Entwicklungsmodelle als skalierende Integrationsmechanismen fungieren. Die Nachfrageseite bestätigt diese Befunde. Start-ups in Deutschland identifizieren zentrale Bedarfe bei Zugängen zu Netzwerken (65%) und zu geeigneten Räumlichkeiten beziehungsweise Büroräumen (58%). Zusätzlich werden technische Infrastruktur wie Labore (42%) sowie die Unterstützung durch dedizierte Startup-, Innovations- oder Technologiezentren (42%) genannt (Bild 2) [21].

Diese Angaben deuten auf systemische Lücken an den Übergängen von der Idee in den experimentellen Betrieb, vom Prototyp in regulierte Testumgebungen und von dort in skalierte Anwendungen hin. Nahezu 60% der Unternehmen arbeiten forschungsnah, benötigen lange Entwicklungszeiträume vor dem Markteintritt und verstehen sich in großer Zahl als Übersetzer wissenschaftlicher Ergebnisse in marktfähige Technologien. Daraus ergibt sich ein erhöhter Bedarf an institutionalisierter Vernetzung mit Hochschulen und Forschungseinrichtungen sowie an stabilen Technologietransfermechanismen [19].

Die analysierten Studien verdeutlichen, dass Förderstrategien für Deep-Tech-Technologien und interdisziplinäre Ansätze eine verbesserte Vernetzung von Forschungseinrichtungen, Start-ups und Unternehmen durch effiziente Kooperationsstrukturen als wesentlich erachten. Dabei sind drei Handlungsfelder im Fokus. Zunächst ist die verstärkte Fokussierung von Förderstrategien auf die Entwicklung konvergenter Technologien und interdisziplinärer Ansätze wichtig. Auch ist der gezielte Ausbau von Infrastrukturen, die sowohl translational als auch sicherheitskonform Infrastrukturen, die sowohl translational – also auf den Forschungstransfer ausgerichtet – als auch sicherheitskonform und skalierbar sind, essenziell. Schließlich ist die systematische Vernetzung von Forschungseinrichtungen, Start-ups und etablierten Unternehmen durch effiziente Kooperations- und Übernahmestrukturen zu erwähnen.

4 Transferzentrum für biointelligente Technologien: Anforderungen, Funktionen und Wirkung

4.1 Internationale Referenzmodelle und übertragbare Prinzipien

Transferzentren für biointelligente Technologien fungieren als intermediäre Einrichtungen, die den Übergang von der Grundlagenforschung zur Anwendung strukturieren und beschleunigen. Sie werden vor allem dort relevant, wo labor- und datenintensive Entwicklung, interdisziplinäre Integration und regulatorische Anschlussfähigkeit zusammenfallen und für Unternehmen hohe Vorlaufkosten sowie Unsicherheit erzeugen. Die Referenzlandschaft lässt sich dabei weniger als ein einheitliches Modell beschreiben, sondern als Bündel wiederkehrender Ausprägungen, welche sich

Tabelle Transferzentren für biointelligente Technologien. Vergleich von Trägerschaft/Finanzierung, Infrastruktur- und Serviceportfolio, adressierten Zielgruppen sowie zentralen Erfolgsfaktoren.

Zentrum (Standort)	Governance / Trägerschaftstyp	Finanzierungs- & Nutzungslogik	Kerninfrastruktur	Funktionsschwerpunkte (Auswahl)
IZB (München, DE) [22]	Hochschulnah, überwiegend öffentlich getragen (u.a. Freistaat Bayern, LMU, Max-Planck)	Basissicherung über öffentliche Mittel; Erlöse über Vermietung/ Services	Voll ausgestattete Labor- und Büroflächen; gemeinsamer Gerätepark	Vernetzung/Community-Formate; Unterstützung bei Finanzierung und Geschäftsentwicklung; IP-Rahmung
Bayer Co.Lab (Berlin, DE) [27]	Corporate-getragenes Modell (Bayer AG als Einzelunternehmen als Träger)	Unternehmensfinanziert; Kooperationen häufig über gemeinsame Entwicklungsprojekte	Labore/Testumgebungen; Nähe zu industrieller Forschung; klinische Netzwerke	Mentoring/Coaching; regulatorische Expertise; Corporate-Venture-Anbindung
Technologiepark Heidelberg (Heidelberg, DE) [28]	Non-Profit-Struktur (Stadt Heidelberg / IHK Rhein-Neckar)	Vermietung von Labor-/ Büroflächen; Services/ Netzwerk	Labor- und Büroflächen; Konferenz- und Serviceinfrastruktur	Standort-/ Netzwerkfunktion; Gründungsunterstützung; Partner- & Investorenanbindung
TTR – Technologiepark Tübingen-Reutlingen (Tübingen, DE) [29]	Betreiber: TTR GmbH (L-Bank-Tochter)	Miet-/Nutzungskonzepte für Labor- und Büroflächen	S1-/S2-Labore; Büroflächen; Sonderausbauten	Niedrigschwelliger Infrastrukturzugang; Gründungsbegleitung; regionale Vernetzung
BioLabs (Boston, USA) [24]	Privatwirtschaftlich (Lab-as-a-Service)	Mitglieds-/Mietmodell und Dienstleistungsbasis; ggf. Sponsoring	Modulare Laborplätze; Shared Equipment; zentral organisiertes Labormanagement	Niedrigschwellige Nutzung; Mentoring/Netzwerkformate (Community)
LabCentral (Cambridge/ Boston, USA) [25]	Public-Private-Partnership / privat organisiert mit Partnernetz	Nutzungs-/Mietmodelle; Services als Paket	Plug-and-Play-Labore; gemeinsame Geräte; Compliance-nahe Infrastruktur	Compliance-Support; starke Community-/ Vernetzungslogik
FutuRx (Tel Aviv, Israel) [26]	Konsortium (Industrie + Forschung + VC/öffentliche Mittel)	Risikoteilung über Konsortialfinanzierung; Seed-Funding; mehrjährige Frühphasenbegleitung	Co-Creation-Labs; experimentnahe Umgebungen	IP-Support; enge Industrie-/ VC-Begleitung in frühen Phasen
BioBAY (Suzhou, CN) [30]	Betreiber im Suzhou Industrial Park (öffentlich geprägte Betreibergesellschaft)	Vermietung von Labor-/ Büroflächen; servicebasierte Plattformen	Biomedizinischer Campus; Inkubations- und F&E-Flächen	Clusteraufbau; günstiger Infrastrukturzugang; Kooperations- & Ansiedlungsunterstützung
adMare Innovation Centres (Vancouver, CA) [31]	Non-Profit (adMare BioInnovations)	Multi-Tenant-Modell; Flächen + Services; teilweise öffentliche Kofinanzierung	Flexible Wet-Labs; Office; geteilte technische Services	Skalierung von Frühphasen; Venture/ Business-Support; Ecosystem-Aufbau
BioInnovation Institute – BII (Kopenhagen, DK) [32]	Gemeinnützige Stiftung (u. a. Novo Nordisk Foundation)	Kombination aus Programmen + Infrastruktur; selektive Aufnahme	Labor- und Büroflächen; Venture- & Business-Support	Programmbasierte Reifung; Coaching; Zugang zu Kapital- und Partnernetzwerken
Stevenage Bioscience Catalyst – SBC (Stevenage, UK) [33]	Betreiber-/ Campusmodell (öffentlich-industrielle Partnerschaften)	Vermietung; Accelerator-/ Programmformate; flexible Mietmodelle	Labor/Officeflächen; Shared Facilities; „Lab Hotel“	Frühphasen-Inkubation; Kommerzialisierung; Standortvernetzung

entlang Trägerschaft, Finanzierungslogik und Leistungsportfolio unterscheiden. Die **Tabelle** fasst einige nationale und internationale Referenzmodelle systematisch entlang dieser Vergleichsdimensionen zusammen.

Anhand dieser Gegenüberstellung lassen sich mehrere typische Konfigurationen unterscheiden: Hochschulnahe, überwiegend öffentlich getragene Zentren [22], die Niedrigschwelligkeit und infrastrukturelle Grundversorgung priorisieren; industrienah Corporate-Setups [23], die Transfer über unmittelbare Anwendungsnähe und Kooperationsprogramme organisieren; privatwirtschaftlich organisierte "Shared-Labs" [24, 25], die über modulare Miet- und Serviceangebote eine schnelle Skalierung von Frühphasenaktivitäten ermöglichen; sowie konsortiale Formen [26], in

denen mehrere Partner Risiken, Infrastruktur und Programmgestaltung teilen. Diese Typen unterscheiden sich weniger in der generellen Zielsetzung als in der Art, wie sie Zugang, Steuerung und Anreizsysteme ausgestalten.

Über die Beispiele hinweg wird sichtbar, dass die Wirksamkeit solcher Zentren an wiederkehrenden Gestaltungsfragen hängt. Erstens stellt sich die Frage nach Neutralität und Governance, denn je heterogener die Akteure, desto stärker müssen Zugangsregeln, IP-Arrangements und Verantwortlichkeiten operationalisiert werden, damit Kooperation nicht an impliziten Interessenkonflikten scheitert. Zweitens prägt die Finanzierungsarchitektur die Angebotslogik des Zentrums: Öffentliche Basissicherung erhöht Stabilität und senkt Eintrittshürden, während nutzungs-

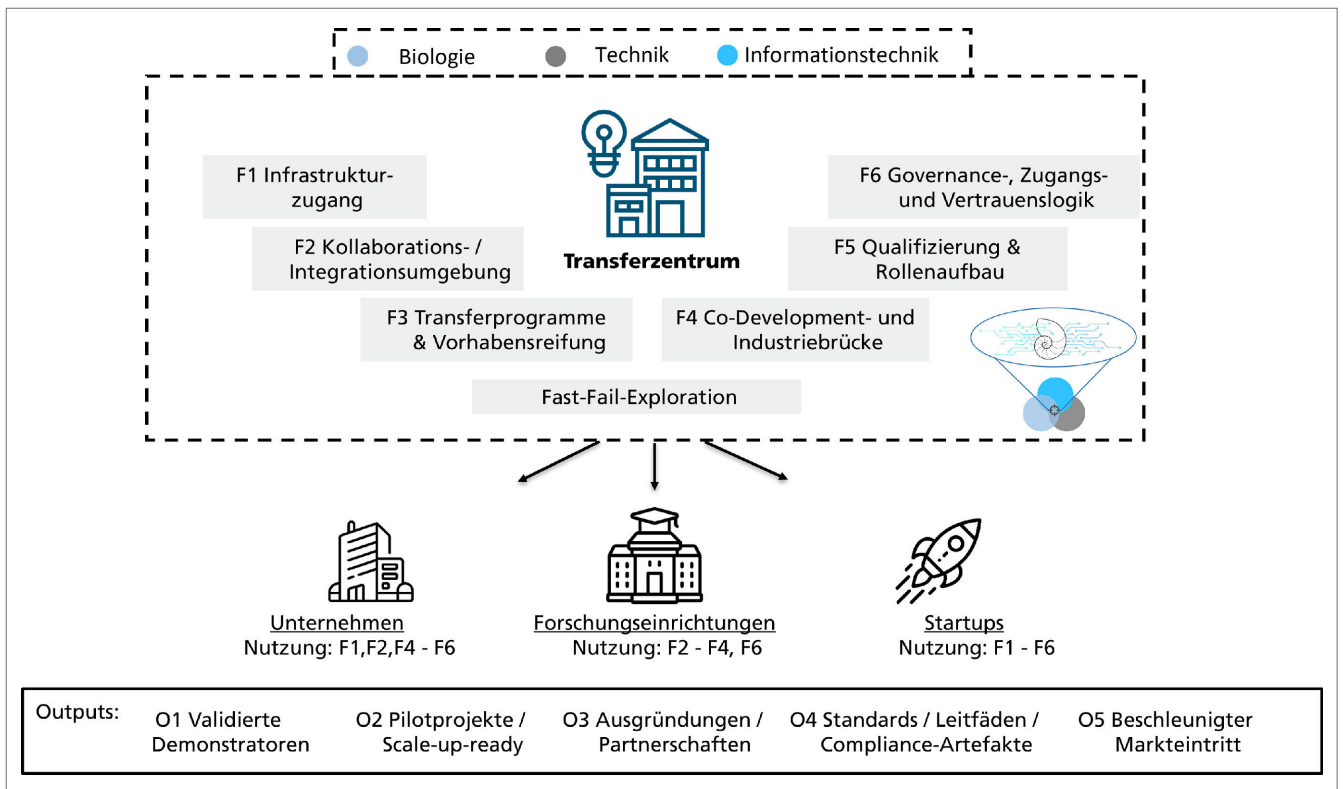


Bild 3 Akteursgruppen und Leistungsportfolio (F1–F7) eines Biointelligenz-Transferzentrums zur Operationalisierung der Transferpfade und zur Generierung transferrelevanter Outputs. *Grafik: Fraunhofer IPA*

und projektbezogene Einnahmen Effizienzreize setzen, jedoch ohne klare Leitplanken zu einer Verengung auf kurzfristig „zahlungsfähige“ Themen führen können. [27–33]

Aus der Gegenüberstellung lassen sich folgende Gestaltungsprinzipien ableiten (vergleiche Tabelle):

1. Geteilte Labor- und Geräteinfrastruktur reduziert Investitionshürden und senkt Eintrittskosten insbesondere in frühen Entwicklungsphasen.
2. Klar definierte Governance-Strukturen sind eine Voraussetzung für Vertrauen, weil sie Zugangsregeln zum Zentrum, IP-Fragen und Verantwortlichkeiten zwischen heterogenen Akteuren operationalisieren.
3. Mischfinanzierungen aus öffentlicher Basissicherung und projekt- beziehungsweise nutzungsbezogenen Einnahmen erhöhen die Stabilität, ohne die Angebotslogik auf einzelne Stakeholder zu verengen.
4. Eine gezielte industrielle Anbindung kann Marktzugang und Co-Development erleichtern, sofern sie als Brücke in Anwendungspfade wirkt und nicht zu einer einseitigen Vereinnahmung des Zentrums führt.
5. Flexible Nutzungskonzepte ermöglichen fast-fail-fähige Exploration, indem sie zeitlich begrenzte Tests und Meilensteinlogiken organisatorisch absichern.
6. Community- und Kooperationsformate wirken als Beschleuniger, weil sie Partner-Matching, Pilotanbahnung und informellen Wissensaustausch in wiederholbare Routinen überführen.

4.2 Konzeption eines Transferzentrums für biointelligente Technologien

Die Anforderungen an ein Transferzentrum für biointelligente Technologien lassen sich weniger als starres Idealmodell fassen, sondern über wiederkehrende Gestaltungsmerkmale und typische Ausprägungen. Im Kern basiert ein solches Zentrum auf der Verbindung von Kompetenzen aus Lebens- und Ingenieurwissenschaften, Informatik und Wirtschaft. Biointelligente Fragestellungen entlang der Wertschöpfungskette lassen sich nicht disziplinär getrennt bearbeiten, sondern verlangen eine abgestimmte Betrachtung biologischer Anforderungen, technischer Realisierbarkeit und informatorischer Modelle, die nur im Zusammenspiel konsistent gestaltet werden kann. Damit ein Transferzentrum nicht nur als zusätzliche Infrastruktur neben bestehenden Strukturen wirkt, muss es an die in Abschnitt 2.2 skizzierten Bereiche biointelligenter Wertschöpfung anschließen und seine Angebote so ausrichten, dass sie diese Pfade tatsächlich bedienen.

Die konkrete Ausgestaltung ist kontextabhängig. Regionale Industriestärken, vorhandene Forschungskapazitäten und thematische Schwerpunkte bestimmen, ob ein Zentrum eher technologie- oder anwendungsfeldzentriert arbeitet oder mehrere Domänen bündelt. Entsprechend variiert die Infrastruktur: In manchen Fällen stehen Labor- und Pilotanlagen im Vordergrund, andernorts ergänzen Demonstrationsumgebungen sowie digitale Plattformen für Daten- und Modellsharing die physische Ausstattung. Ziel ist es, Entwicklungs- und Validierungsprozesse zu verkürzen und Ergebnisse wiederverwendbar zu machen. Ergänzend kommen Beratungsleistungen, Technologieradare, Qualifizierung und

Netzwerkveranstaltungen hinzu, nicht verstanden als „Add-on“, sondern als begleitende Elemente entlang der Entwicklungskette.

Auch die Geschäftsmodelle folgen meist einer Mischlogik. Eine öffentliche Grundfinanzierung bildet die Basis, sichert den langfristigen Betrieb und ermöglicht niedrigschwellige Zugänge. Projektbezogene Einnahmen aus Unternehmensbeiträgen, Verbundvorhaben oder Förderprogrammen stabilisieren das Modell zusätzlich. Nutzungsabhängige Entgelte für Labor- und Serviceleistungen setzen Anreize für effiziente Ressourcennutzung. Mitgliedsbeiträge, Sponsoring sowie Beteiligungen an Ausgründungen oder Start-ups erweitern das Finanzierungsportfolio je nach Zentrumstyp.

Zentral ist zudem eine neutrale, vertrauenswürdige Träger-schaft. Sie wirkt nicht als technisches Governance-Detail, sondern als institutionelle Voraussetzung, um Zugangshürden zu senken und heterogene Akteure zu beteiligen. In landesfinanzierten Gründerzentren werden Basiskosten oft über öffentliche Mittel getragen, während Start-ups über kostendeckende Mieten beteiligt werden. Wichtig ist zudem die Offenheit gegenüber unterschiedlichen Unternehmensgrößen – insbesondere die gleichzeitige Ansprache von Start-ups und etablierten Unternehmen. Dies gewinnt vor dem Hintergrund an Gewicht, dass Kooperationen zwischen beiden Gruppen von 71,8% im Jahr 2020 auf 56% im Jahr 2025 zurückgegangen sind [19]. In einem Transferzentrum können etablierte Unternehmen risikoreiche Vorhaben im Fast-Fail-Modus in einem geschützten Umfeld testen, ehe sie in eigene Anlagen, Personal und Compliance-Strukturen investieren.

Damit diese Konzeption trägt, braucht es Governance-Strukturen, die die Transparenz und Beteiligung relevanter Anspruchsgruppen sichern. Beiräte mit Vertreterinnen und Vertretern aus Wissenschaft, Industrie, Politik und Investoren unterstützen die strategische Ausrichtung und helfen, disziplinäre und institutionelle Brüche zu überbrücken, die Transferprozesse verzögern. Orientiert an internationalen Referenzmodellen bietet sich häufig eine gemeinsame Einrichtung von Forschungseinrichtungen, Hochschulen und industriellen Partnern an, etwa in Form einer eigenständigen Trägergesellschaft mit geteilter Verantwortung für Strategie, Infrastruktur und Programmentwicklung. Ergänzend adressieren Qualifizierungs- und Kompetenzaufbauformate die Notwendigkeit neuer Rollenprofile für BIS.

4.3 Funktionen eines Transferzentrums für biointelligente Technologien

Die in Abschnitt 2.2 beschriebenen Forschungs- und Innovationspfade lassen sich nicht allein durch zusätzliche Projektförderung oder punktuelle Kooperationen stabilisieren, weil biointelligente Entwicklung typischerweise an Schnittstellen scheitert, an denen biologische Variabilität, technische Robustheitsanforderungen und informatorische Modellierung zugleich handhabbar gemacht werden müssen (siehe Abschnitt 2.3). Ein Transferzentrum wirkt in dieser Konstellation nicht als weiterer Akteur „neben“ den bestehenden Strukturen, sondern als intermediäre Einrichtung, die Ressourcen, Zugänge und wiederkehrende Unterstützungsformate so bündelt, dass aus interdisziplinären Ideen reproduzierbare Entwicklungs- und Validierungspfade entstehen. **Bild 3** verdichtet dieses Leistungsportfolio als Funktionsbündel (F1–F6) und ordnet es den zentralen Akteursgruppen zu.

Im Kern beruht die Funktionslogik auf einem niedrigschwelligen Zugang zu geteilter experimenteller Infrastruktur und Pilot-

umgebungen, in denen Proof-of-Concept, prototypische Integration und frühe Validierung unter realistischen Randbedingungen stattfinden können (F1). Diese Infrastruktur entfaltet Wirkung aber erst dann, wenn sie als Kollaborations- und Integrationsumgebung verstanden wird, in der interdisziplinäre Teams arbeitsfähig werden und Abstimmung zwischen Biologie, Technik und Informationstechnik praktisch geleistet werden kann (F2).

Transfer wird zusätzlich durch klar strukturierte Unterstützungsprogramme entlang zentraler Entwicklungsschritte gefördert: von frühen Konzepten über Prototypen bis hin zur Vorbereitung von Pilotprojekten. Hierzu zählen begleitende Beratungsangebote, Technologieradare und Formate zur Vorbereitung von Pilotierungen mit Industriepartnern (F3). Eine gezielte industrielle Anbindung dient dabei als Brücke in Anwendungspfade und erlaubt Co-Development sowie die Anbahnung belastbarer Pilot- und Umsetzungspartnerschaften, ohne dass einzelne Unternehmen das Zentrum inhaltlich dominieren oder seine Ausrichtung einseitig bestimmen (F4). Qualifizierung und Rollenaufbau adressieren die in Abschnitt 4.2 skizzierte Notwendigkeit organisationaler Aufnahmekapazität für BIS, indem sie Kompetenzen an den relevanten Schnittstellen systematisch entwickeln (F5). Schließlich bleibt die Funktionsfähigkeit des Gesamtarrangements an Governance-, Zugangs- und Vertrauensmechanismen gebunden, die IP-Regelungen, Verantwortlichkeiten und Nutzungsbedingungen transparent machen und bei Bedarf auch dialog- und standardisierungsbezogene Begleitstrukturen bereitstellen, ohne selbst regulatorische Autorität zu beanspruchen (F6).

Der Effekt dieser Funktionsbündel zeigt sich für Unternehmen weniger in einer einzelnen Nutzenkategorie als in einer Bündelung konkreter Outputformen. Dazu zählen validierte Demonstratoren und prototypische Systemintegrationen, Pilotierungen mit belastbaren Prozessfenstern und dokumentierbaren Ergebnissen, tragfähige Co-Development-Arrangements bis hin zu Ausgründungen sowie Standardisierungs-, Leitfaden- und Compliance-Artefakten, die Implementierungspfad und Anschlussfähigkeit absichern. Als querschnittlicher Output tritt zudem ein beschleunigter Markteintritt (Time-to-Market) auf, der dort entsteht, wo geteilte Infrastruktur und programm-basierte Reifungslogiken iterative Lernschleifen verdichten und Entscheidungen früher evidenzbasiert getroffen werden können. In dieser Logik ist „Fast-Fail“ weniger eine eigenständige Leistung als ein Betriebsmodus, der aus niedrigschwelliger Ressourcennutzung und meilensteinbasierter Exploration hervorgeht und damit ermöglicht, risikoreiche Pfade früh zu selektieren oder zu beenden, bevor irreversibles Kapital in eigene Anlagen, Personal oder Compliance-Strukturen gebunden wird.

5 Fazit und Ausblick

Transferzentren für biointelligente Technologien sind als intermediäre Einrichtungen zu verstehen, die eine Transferlücke adressieren, die weniger aus fehlenden Forschungsimpulsen als aus mangelnder Anschlussfähigkeit zwischen experimenteller Entwicklung, organisatorischer Umsetzung und regulatorischer Einbettung entsteht. Die Gegenüberstellung nationaler und internationaler Referenzmodelle zeigt, dass wirksame Zentren nicht primär über einzelne Angebote, sondern über die konsistente Bündelung von Infrastruktur, Programmlogiken und Governance-Strukturen funktionieren. Aus Unternehmenssicht wird der Mehrwert dort besonders sichtbar, wo Entwicklung unter Un-

sicherheit in wiederholbare Validierungs- und Pilotierungspfade überführt wird.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass Transferzentren die Schnittstellenprobleme zwischen Forschung, Start-ups und Industrie nicht durch isolierte Einzelmaßnahmen, sondern durch die Bündelung komplementärer Funktionsbündel adressieren. Die Analyse legt nahe, dass vor allem geteilter Zugang zu Labor- und Pilotumgebungen, eine arbeitsfähige Kollaborationsumgebung für interdisziplinäre Übersetzungsarbeit sowie programm-basierte Reifungslogiken entlang der Entwicklungskette als zentrale Wirkhebel zu betrachten sind.

Für Unternehmen ergibt sich ein konkreter Nutzen, weil diese Funktionsbündel zu validierten Demonstratoren, Pilotierungen mit belastbaren Prozessfenstern, tragfähigen Co-Development-Arrangements und zu begleitenden Standardisierungs- beziehungsweise Compliance-Artefakten führen und damit Investitions- und Implementierungsentscheidungen früher evidenzbasiert getroffen werden können.

Für die Ausgestaltung erscheint eine akzeptierte Träger- und Governance-Struktur in Kombination mit einer Mischfinanzierung aus öffentlicher Basissicherung und projekt- oder nutzungsbezogenen Einnahmen als zentrale Voraussetzung, um Niedrigschwelligkeit, Legitimation und langfristige Wirkung zu sichern.

Weiterer Forschungsbedarf besteht darin, die Wirksamkeit einzelner Funktionsbündel empirisch zu operationalisieren und zu prüfen, unter welchen institutionellen Bedingungen Transferzentren skalierbar und langfristig verstetigbar sind.


LITERATUR

- [1] Miehe, R.; Bauernhansl, T.; Schwarz, O. et al.: The biological transformation of the manufacturing industry – envisioning biointelligent value adding. *Procedia CIRP* 72 (2018), pp. 739–743
- [2] Miehe, R.; Bauernhansl, T.; Beckett, M. et al.: The biological transformation of industrial manufacturing – Technologies, status and scenarios for a sustainable future of the German manufacturing industry. *Journal of Manufacturing Systems* 54 (2020), pp. 50–61
- [3] Full, J.; Shoshi, A.; Gamero, E. et al.: Biointelligent Waste-to-X systems: A novel concept for sustainable, decentralized and interconnected value creation. *Procedia CIRP* 116 (2023), pp. 576–581
- [4] Baumgarten, Y.; Full, J.; Gaißler, A. et al.: Benchmark Biointelligenz. Stand und Perspektiven einer nachhaltigen industriellen Wertschöpfung. Stand: 2024. Internet: publica.fraunhofer.de/bitstreams/315c5245-707b-4de8-96b5-5fe9ad36f8ae/download. Zugriff am 28.01.2026
- [5] Byrne, G.; Dimitrov, D.; Monostori, L. et al.: Biologicalisation: Biological transformation in manufacturing. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 21 (2018), pp. 1–32
- [6] Miehe, R.: Biointelligence. Basic considerations for sustainable production. München: Hanser Verlag 2024
- [7] Bauernhansl, T.; Brecher, C.; Drossel, W.-G. et al. (Hrsg.): Biointelligenz. Eine neue Perspektive für nachhaltige industrielle Wertschöpfung: Ergebnisse der Voruntersuchung zur biologischen Transformation der industriellen Wertschöpfung (BIOTRAIN). Stuttgart: Fraunhofer Verlag 2019
- [8] Miehe, R.; Buckreus, L.; Kiemel, S. et al.: A Conceptual Framework for Biointelligent Production – Calling for Systemic Life Cycle Thinking in Cellular Units. *Clean Technologies* 3 (2021) 4, pp. 844–857
- [9] Herrmann, C.; Hauschild, M.; Gutowski, T. et al.: Life Cycle Engineering and Sustainable Manufacturing. *Journal of Industrial Ecology* 18 (2014) 4, pp. 471–477
- [10] Shoshi, A.; Miehe, R.; Bauernhansl, T.: Conceptual Thoughts on Biointelligent Embedded Systems and Operating Systems Architecture. *Procedia Computer Science* 217 (2023), pp. 969–978
- [11] Miehe, R.; Horbelt, J.; Baumgarten, Y. et al.: Basic considerations for a digital twin of biointelligent systems: Applying technical design patterns to biological systems. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 31 (2020), pp. 548–560
- [12] Full, J.; Miehe, R.; Kiemel, S. et al.: The Biological Transformation of Energy Supply and Storage – Technologies and Scenarios for Biointelligent Value Creation. *Procedia Manufacturing* 39 (2019), pp. 1204–1214
- [13] Miehe, R.; Fischer, E.; Berndt, D. et al.: Enabling bidirectional real time interaction between biological and technical systems: Structural basics of a control oriented modeling of biology-technology-interfaces. *Procedia CIRP* 81 (2019), pp. 63–68
- [14] Miehe, R.; Waltersmann, L.; Sauer, A. et al.: Sustainable production and the role of digital twins–Basic reflections and perspectives. *Journal of Advanced Manufacturing and Processing* 3 (2021) 2, e10078, doi.org/10.1002/amp2.10078
- [15] Xie, W.; Pedrielli, G.: From Discovery to Production: Challenges and Novel Methodologies for Next Generation Biomanufacturing. 2022 Winter Simulation Conference (WSC), Singapore, 2022, pp. 238–252
- [16] Lallement, C.; Madec, M.: Challenges in design-oriented modeling in biology. 2015 MIXDES – 22nd International Conference “Mixed Design of Integrated Circuits & Systems”, Torun, Poland, 2015, pp. 17–22
- [17] Mächtlen, S.; Baumgarten, Y.; Müller, A. et al.: Towards a sustainability-oriented development of biointelligent products. *Procedia CIRP* 125 (2024), pp. 201–206
- [18] Hess, S.; Wahl, A.; Engels, J.: DEEM Panel Survey. Dynamic Entrepreneurial Ecosystem Monitoring. E-Book: 2025, doi.org/10.18419/DA-RUS-4050
- [19] Hirschfeld, A.; Gilde, J.; Walk, V.: Deutscher Startup Monitor. Stand: 2025. Internet: [startupverband.de/fileadmin/startupverband/mediaarchiv/research/dsm/Deutscher_Startup_Monitor_2025.pdf](https://www.startupverband.de/fileadmin/startupverband/mediaarchiv/research/dsm/Deutscher_Startup_Monitor_2025.pdf). Zugriff am 28.01.2026
- [20] Laguna de la Vera, Rafael; Honold, D.; Ramge, T.: Goliath braucht David. Die deutsche Industrie “kauft” zu wenig Innovation. *Die Politische Meinung* (2025) 592, S. 75–80
- [21] Kollmann, T.; Kleine-Stegemann, L.; Strauss, C. et al.: Deutscher Startup Monitor 2021. Nie war mehr möglich. Duisburg, Essen: Universität Duisburg-Essen 2021
- [22] Innovations- und Gründerzentrum Biotechnologie IZB: Hotspot for Life Sciences. Homepage. Internet: www.izb-online.de/hotspot-for-life-sciences/. Zugriff am 28.01.2026
- [23] Fernández, C. R.: The 25 Best Biotech Incubators Hatching Startup Stars in Europe. Stand: 25.06.2022. Internet: www.labiotech.eu/best-biotech/biotech-incubators-europe/. Zugriff am 28.01.2026
- [24] BioLabs: BioLabs 2024 Impact Report. Stand: 19.11.2025. Internet: www.biolabs.io/2024-impact-report Zugriff am 28.01.2026
- [25] LabCentral: Lab Facilities. Shared Biotech Lab Space in Cambridge. Stand: 19.11.2025. Internet: www.labcentral.org/labs-and-facilities Zugriff am 28.01.2026
- [26] Leaps by Bayer: FutuRx. Stand: 2026. Internet: leaps.bayer.com/companies/health/futurx/. Zugriff am 29.01.2026
- [27] Bayer Co.Lab: Bayer Co.Lab. Stand: 19.11.2025. Internet: <https://colab.bayer.com/en/>. Zugriff am 28.01.2026
- [28] Technologiepark Heidelberg: Heidelberg Technologiepark. Internet: www.technologiepark-heidelberg.de/fileadmin/broschueren/Technologiepark_Heidelberg_Web.pdf. Zugriff am 28.01.2026
- [29] Technologiepark Tübingen-Reutlingen: TTR. Homepage. Stand: 2026. Internet: www.ttr-gmbh.de/. Zugriff am 28.01.2026
- [30] Chik, H.: China’s biotech hub Suzhou is thriving. Can it become the next Boston? *South China Morning Post*. Stand: 20.08.2025. Internet: www.scmp.com/news/china/science/article/3321794/chinas-biotech-hub-suzhou-thriving-can-it-become-next-boston. Zugriff am 28.01.2026
- [31] adMare BioInnovations: Who we are. Stand: 28.11.2025. Internet: www.admarebio.com/en/who-we-are. Zugriff am 28.01.2026
- [32] Ngo-Andersen, D.: BioInnovation Institute. Venture Lab. Internet: [bii.dk/media/uhpj1n2q/guidelines-for-applicants_venture-lab.pdf](https://www.bii.dk/media/uhpj1n2q/guidelines-for-applicants_venture-lab.pdf). Zugriff am 28.01.2026
- [33] Stevenage Bioscience Catalyst: A Leading Location For Therapeutic Innovation. Stand: 2025. Internet: www.stevenagecatalyst.com/about/. Zugriff am 28.01.2026

Arber Shoshi 
arber.shoshi@ipa.fraunhofer.de

Manuel Sonnenberg

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl 

Dr. Ing. Robert Miede 

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik
und Automatisierung IPA 
Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart
www.ipa.fraunhofer.de

Dipl.-Oec. Ronny Hauf

r.hauf@valuedata.io

ValueData GmbH
Wankelstr. 14, 70563 Stuttgart
valuedata.io

LIZENZ



Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons
Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)