

Marktsegmente je Befähigertechnologiefeld (BTF)	Marktvolumen in Mio. USD 2021	CAGR bis 2030 in %	CAGR bis 2040 in %	Marktvolumen in Mio. USD 2030	Marktvolumen in Mio. USD 2040	Anfangsinvestitions- volumen in Mio. USD	Definition BTF/Marktsegment
Bioraffinerien und Bioreaktoren	20.020	8,1%	5,5%	40.260	55.660	1.100	Industrielle Einrichtungen zur Umwandlung biologischer Rohstoffe in Produkte und Wertstoffe sowie die Kultivierung von Zellen, Organismen in kontrollierter Umgebung.
Produktion von Chemikalien und Polymere	8.225	9,0%	6,0%	17.864	24.886		Bioraffinerien können Biomasse in chemische Grundstoffe umwandeln, die zur Herstellung von biobasierten Chemikalien und Polymeren verwendet werden. Diese Materialien können in der Kunststoffherstellung, der chemischen Industrie und in verschiedenen Produkten wie Verpackungsmaterialien eingesetzt werden.
Produktion von Nahrungs- und Futtermittel	2.450	8,0%	6,0%	4.898	7.413		Bioreaktoren können zur Kultivierung von Mikroorganismen und Algen verwendet werden, um Proteine, Vitamine oder andere Nährstoffe zu produzieren, die in Lebensmitteln und Futtermitteln verwendet werden. Dies trägt zur Steigerung der Nährstoffeffizienz in der Lebensmittelproduktion bei.
Produktion von Spezialwerkstoffen	2.500	7,8%	6,0%	4.915	7.564		Bioraffinerien können Biomasse zur Herstellung von Spezialwerkstoffen verwenden, die in verschiedenen Industriezweigen, wie der Elektronikproduktion oder der Halbleiterherstellung, benötigt werden. Diese biobasierten Spezialwerkstoffe können umweltfreundlichere Alternativen zu herkömmlichen Werkstoffen sein.
Produktion von Enzymen und Katalysatoren	6.845	7,0%	4,5%	12.584	15.797		Bioraffinerien können Enzyme und biologische Katalysatoren produzieren, die in der industriellen Chemie zur Beschleunigung von Reaktionen und zur Verringerung von Umweltauswirkungen eingesetzt werden. Diese Biokatalysatoren finden Anwendung in der Pharmazie, der Lebensmittelindustrie und anderen Bereichen.
Digitale Plattformen, Modelle und Zwillinge	5.670	12,5%	11,3%	16.327	43.587	1.400	Technologische Infrastrukturen und virtuelle Darstellung physischer Objekte, Systeme oder Prozesse mit Echtzeitüberwachung zum Einsatz in der biointelligenten Produktion. Auch ohne realen Zwilling können digitale Modelle bei der Akquise und dem Austausch von Informationen zu Optimierungszwecken eingesetzt werden.
Anwendung bei der Prozessoptimierung in Bioraffinerien, -reaktoren und -foundries	350	19,5%	17,5%	1.739	7.495		In der Industrie können digitale Zwillinge von Produktionsanlagen (v.a. Produktionsanlagen mit biointelligenter Wertschöpfung) erstellt werden, um die Fertigungsprozesse zu simulieren und zu optimieren. Diese digitalen Zwillinge ermöglichen es, Produktionsengpässe zu identifizieren, den Durchsatz zu erhöhen und die Produktionseffizienz zu steigern.
Anwendung bei der simulationsgestützten Produktentwicklung	650	12,1%	14,0%	1.817	7.836		Unternehmen in der Chemiebranche nutzen digitale Modelle und Plattformen, um die Entwicklung von neuen chemischen Verbindungen zu beschleunigen. Diese Plattformen ermöglichen die Vorhersage von Eigenschaften und Leistungen von chemischen Produkten, bevor sie physisch hergestellt werden.
Anwendung in der Qualitätskontrolle und Fehlererkennung	1.520	15,5%	13,0%	5.560	15.500		In der Elektronikfertigung (v.a. Fertigungen mit biointelligenter Wertschöpfung) können digitale Zwillinge verwendet werden, um Produkte in Echtzeit zu überwachen und Fehler zu erkennen. Diese Systeme analysieren Sensordaten und vergleichen sie mit digitalen Modellen, um Fehler oder Abweichungen zu identifizieren, bevor fehlerhafte Produkte die Produktionslinie verlassen.
Anwendung in der nachhaltigen Produktion von Biokraftstoffen	1.200	8,3%	7,0%	2.459	4.340		In der Energieindustrie können digitale Modelle und Plattformen eingesetzt werden, um den Prozess der Herstellung von Biokraftstoffen zu optimieren. Sie berücksichtigen verschiedene Rohstoffquellen und Produktionsparameter, um die Herstellung von Biokraftstoffen nachhaltiger und effizienter zu gestalten.
Anwendung in der Echtzeitüberwachung von biotechnologischen Prozessen	1.950	10,4%	8,0%	4.751	8.416		In biotechnologischen Produktionsanlagen werden digitale Zwillinge genutzt, um die biologischen Prozesse in Echtzeit zu überwachen und zu steuern. Dies ermöglicht eine präzise Kontrolle der Fermentation und Zellkulturprozesse, um die Produktqualität und -ausbeute zu verbessern.
Biofoundries und Hochdurchsatzscreening durch Laborautomatisierung	2.056	12,6%	9,6%	5.966	11.683	600	Automatisierte und standardisierte Einrichtungen zur Herstellung biologischer Produkte sowie der schnellen und effizienten Untersuchung/Testung einer großen Anzahl an Substanzen auf bestimmte Funktionen.
Kultivierung von Enzymen für verschiedene Anwendungsfälle	300	12,1%	10,0%	835	1.835		Enzym-Biofoundries sind spezialisierte Forschungseinrichtungen, die sich auf die gezielte Entwicklung und Optimierung von Enzymen konzentrieren. Ihr Hauptziel besteht darin, die Aktivität, Stabilität und Spezifität von Enzymen für industrielle Anwendungen wie Bioproduktion, Biochemie und Umweltschutz zu verbessern.
Kultivierung von Bakterien für verschiedene Anwendungsfälle	200	10,7%	8,0%	497	863		Bakterien-Biofoundries sind Forschungseinrichtungen, die sich auf die gezielte Modifikation und Entwicklung von Bakterienstämmen für vielfältige Anwendungen in Biotechnologie, Bioproduktion und Umweltschutz spezialisiert haben.
Kultivierung von Algen für verschiedene Anwendungsfälle	150	13,0%	9,0%	451	771		Algen-Biofoundries sind Forschungseinrichtungen, die sich auf die zielgerichtete Entwicklung und Optimierung von Algenstämmen für verschiedene Anwendungen in den Bereichen Biokraftstoffe, Biokunststoffe, Umweltschutz und Biotechnologie konzentrieren.
Kultivierung von Hefen/Pflanzenzellen für verschiedene Anwendungsfälle	200	15,0%	11,0%	704	1.453		Hefe- und Pflanzenzellen-Biofoundries sind Forschungseinrichtungen, die sich auf die gezielte Entwicklung und Optimierung von Hefe- und Pflanzenzellstämmen für industrielle, agrarische und pharmazeutische Anwendungen spezialisiert haben.
Automatisierte Bioprozessentwicklung und Qualitätskontrolle	1.206	12,5%	9,5%	3.480	6.761		Hochdurchsatzscreening und Laborautomatisierungssysteme können in der industriellen Produktion für die automatisierte Bioprozessentwicklung und Qualitätskontrolle eingesetzt werden. Dies ermöglicht die schnelle Überprüfung der Produktqualität und die Identifizierung von Abweichungen, um die Einhaltung von Qualitätsstandards zu gewährleisten.
Smart Greenhouse und Smart Farming	15.988	9,8%	8,5%	37.154	74.994	900	Spezialisierte, automatisierte Anlagen und Techniken in der Landwirtschaft zur Erreichung hoher Ressourceneffizienz und Produktivität.
Herstellung und Verwendung von Ansätzen der vertikalen Landwirtschaft	2.088	17,5%	15,5%	8.914	32.269		Smarte Gewächshäuser können in der vertikalen Landwirtschaft eingesetzt werden, um Pflanzen in mehreren Ebenen zu züchten. Dies ermöglicht die effiziente Nutzung von Raum und Ressourcen. Produkte sind mehrere Ebenen von Gemüse oder Kräutern in einem vertikalen Smart-Gewächshaus.
Herstellung und von Verwendung von automatisierten Hydrokulturen für die Pflanzenzucht	1.900	14,0%	11,5%	6.179	15.031		Smarte Systeme können in Hydrokultur-Anlagen integriert werden, um Wasser, Nährstoffe, Licht und Temperatur automatisch zu überwachen und anzupassen. Dies führt zu einer effizienteren und ertragreicheren Produktion von Pflanzen, wie zum Beispiel Tomaten oder Paprika.
Kultivierung von Nutzpflanzen	12.000	7,0%	4,5%	22.062	27.694		Smarte Gewächshäuser können genutzt werden, um Pflanzen wie Bambus oder Hanf zu kultivieren, die zur Herstellung von biobasierten Materialien wie Bambusfurnier oder Hanffasern verwendet werden. Diese Materialien finden Anwendung in der Möbel- und Bauindustrie.

Marktsegmente je Befähigertechnologiefeld (BTF)	Marktvolumen in Mio. USD 2021	CAGR bis 2030 in %	CAGR bis 2040 in %	Marktvolumen in Mio. USD 2030	Marktvolumen in Mio. USD 2040	Anfangsinvestitionsvolumen in Mio. USD	Definition BTF/Marktsegment
Biobasierte Energieerzeugung und -speicherung	5.009	5,3%	4,7%	7.953	11.970	1.200	Industrielle Nutzung von erneuerbaren und biologischen Materialien und Vorgängen zur Erzeugung und Speicherung von Energie.
Herstellung und Verwendung von Wasserstoff-Produktionsanlagen und Brennstoffzellen	300	11,0%	9,0%	767	1.542		Mikroorganismen können Wasserstoffgas (H2) als Nebenprodukt ihres Stoffwechsels produzieren. Dieser biologische Wasserstoff kann als sauberer Brennstoff für industrielle Prozesse oder als Energiequelle für Brennstoffzellen verwendet werden.
Herstellung und Verwendung von Biogasanlagen	3.800	4,3%	4,0%	5.551	8.006		Biogasanlagen setzen biologische Prozesse ein, um organische Abfälle, wie landwirtschaftliche Reststoffe oder organische Abfälle aus der Lebensmittelproduktion, in Biogas umzuwandeln. Dieses Biogas kann zur Stromerzeugung, zur Erzeugung von Wärme oder als erneuerbare Energiequelle genutzt werden.
Herstellung und Verwendung von algenbasierten Kraftstoffen	500	5,5%	4,5%	810	1.154		Algen können zur Produktion von Biokraftstoffen wie Biodiesel oder Biokerosin verwendet werden. Dieser biologische Ansatz zur Kraftstoffproduktion hat das Potenzial, fossile Brennstoffe zu ersetzen und die industrielle Energieversorgung nachhaltiger zu gestalten.
Herstellung und Verwendung von biotechnischen Solarzellen	5	22,5%	17,5%	31	107		Biosolarzellen, auch bekannt als biophotovoltaische Zellen oder BPV-Zellen, sind eine Art von Solarzellen, die biologische Materialien oder Organismen nutzen, um Sonnenlicht in elektrische Energie umzuwandeln. Im Gegensatz zu herkömmlichen Solarzellen, die auf anorganischen Materialien wie Silizium basieren, verwenden Biosolarzellen biologische Komponenten, um den Photovoltaikprozess durchzuführen.
Herstellung und Verwendung von biotechnischen Energiespeicherlösungen	140	12,0%	8,0%	388	604		Entwicklung von Energiespeicherlösungen, die im Gegensatz zu herkömmlichen Speichern Energie biobasiert z.B. in Form von bakteriellen Stoffwechselprodukten speichern und bei Bedarf freisetzen können.
Herstellung und Verwendung von mikrobiellen Brennstoffzellen	264	4,9%	4,0%	406	556		Mikrobielle Brennstoffzellen (englisch: Microbial Fuel Cells, MFCs) sind eine Art von Brennstoffzelle, die biologische Organismen, insbesondere Mikroorganismen wie Bakterien, zur Energiegewinnung verwendet. Diese Brennstoffzellen wandeln organische Substanzen, wie etwa Abwasser oder organische Abfälle, in elektrische Energie um.
Bioprinting und Additives Biomanufacturing	5.723	16,0%	14,6%	21.700	76.368	1.000	Schichtweiser Aufbau von lebendem Material in 3D-Strukturen sowie weitere additive Technologien (z.B. Laser) in der Produktion um biologische Strukturen zu fertigen.
Herstellung und Verwendung von additiven Fertigungsansätzen für die Produktion von Implantaten und Prothesen	1.600	19,0%	15,0%	7.657	22.771		Bioprinting kann zur Herstellung von biobasierten Implantaten und Prothesen verwendet werden, die im medizinischen Bereich eingesetzt werden. Dies ermöglicht die Anpassung von Implantaten an die individuellen Bedürfnisse von
Herstellung und Verwendung von additiven Fertigungsansätzen für die Produktion von Gewebe und Organe	2.130	8,3%	6,0%	4.366	6.445		In der pharmazeutischen Industrie können biologische Gewebe- und Organmodelle mittels Bioprinting erstellt werden, um die Wirkung neuer Medikamente zu testen und die Entwicklung von Arzneimitteln zu beschleunigen. Ähnlich könnte das Anwendungsfeld auch in der Kosmetik zum Einsatz kommen.
Herstellung und Verwendung von additiven Fertigungsansätzen für die Produktion von Baustoffen	1.202	14,5%	12,0%	4.072	10.353		Biologisches Material kann beim Bioprinting zur Herstellung von biologischen Baustoffen verwendet werden, die z.B. in der Bauindustrie eingesetzt werden. Diese Baustoffe können umweltfreundlicher sein und bessere Dämm- oder Isolationseigenschaften bieten.
Herstellung und Verwendung von additiven Fertigungsansätzen für die Produktion von Lebensmitteln	201	35,0%	30,0%	2.994	29.385		Bioprinting kann verwendet werden, um Lebensmittel wie Schokolade, Teigwaren, Pürees und sogar Fleischersatzprodukte in verschiedenen Formen und Texturen herzustellen. Dies ermöglicht eine personalisierte Ernährung und die Schaffung von Lebensmitteln, die den Präferenzen und Ernährungsbedürfnissen der Verbraucher
Herstellung und Verwendung von additiven Fertigungsansätzen für die Produktion von Ersatzteilen	290	10,7%	9,0%	721	1.491		In der Fertigungsindustrie können Unternehmen maßgeschneiderte Ersatzteile für Maschinen und Ausrüstungen herstellen. Dies stellt sicher, dass die Ersatzteile perfekt passen und die Effizienz der Produktion aufrechterhalten bleibt.
Herstellung und Verwendung von additiven Fertigungsansätzen für die Produktion von Komponenten der Elektroindustrie	300	22,7%	17,0%	1.891	5.925		Die Erzeugung von elektronischen Komponenten durch Bioprinting bezieht sich auf die Nutzung biologischer Materialien und Technologien, um elektronische Bauteile wie Leiterbahnen, Sensoren oder Schaltkreise herzustellen.
Biosensoren und Bioaktuatoren	19.400	7,6%	5,8%	37.534	56.931	500	Biobasierte Vorrichtungen und Systeme der industriellen Produktion zur Detektion biologischer Signale oder Iteration biologischer Prozesse.
Herstellung und Verwendung in der Qualitätskontrolle von Lebensmittelproduktionen	6.610	9,2%	6,0%	14.595	19.999		Biosensoren können zur Überwachung der Qualität von Lebensmitteln und Getränken in Echtzeit eingesetzt werden. Sie erkennen Verunreinigungen, Bakterien oder Verderbnisprodukte und lösen automatisch Warnungen oder Maßnahmen aus, um die Produktqualität sicherzustellen.
Herstellung und Verwendung in der Umweltüberwachung und -reinigung	300	10,0%	8,0%	707	1.295		Biosensoren können in industriellen Anlagen zur Überwachung von Umweltauswirkungen, wie Schadstoffkonzentrationen oder Schadstofffreisetzung, verwendet werden. Bei Erkennung von Umweltverschmutzungen können sie Aktuatoren aktivieren, um Abfallbehandlungs- oder Reinigungsprozesse auszulösen. Die Sensoren sind auch z.B. in Produktionshallen anwendbar und schützen die Arbeitergesundheit.
Herstellung und Verwendung für Energieeffizienzsteigerung	400	10,5%	9,5%	982	2.244		Biosensoren können in industriellen Produktionsanlagen installiert werden, um den Energieverbrauch zu überwachen. Bei Unterschreitung bestimmter Energieeffizienzwerten können sie Aktuatoren aktivieren, um den Energieverbrauch zu optimieren oder Maschinen abzuschalten, wenn sie nicht benötigt werden.
Herstellung und Verwendung in der Materialprüfung und -kontrolle	600	9,5%	8,0%	1.358	2.589		In der Fertigungsindustrie können Biosensoren zur Echtzeitüberwachung von Materialeigenschaften, wie Festigkeit oder Zusammensetzung, verwendet werden. Bei Abweichungen von den Spezifikationen können sie automatisch Maßnahmen ergreifen, um die Produktqualität sicherzustellen.
Herstellung und Verwendung im Abfallmanagement	400	10,5%	9,5%	982	2.244		Biosensoren können in Abfallmanagement-Systemen eingesetzt werden, um die Abfallproduktion in industriellen Prozessen zu überwachen. Sie können Aktuatoren steuern, um Abfallströme zu minimieren oder recyclingfähige Materialien zu trennen.
Herstellung und Verwendung für die Messung von Echtzeit-Produktionsparameter	300	9,5%	8,0%	679	1.295		Biosensoren können in industriellen Anlagen zur Überwachung von Produktionsparametern wie Temperatur, Druck oder chemischer Zusammensetzung verwendet werden. Bei Abweichungen von den vorgegebenen Werten können sie Aktuatoren aktivieren, um den Produktionsprozess anzupassen oder zu stoppen.
Herstellung und Verwendung zur Überwachung von Gesundheitsparametern	10.790	6,0%	5,0%	18.229	27.266		Biosensoren und Bioaktuatoren können eingesetzt werden, um Gesundheitsparameter wie pH- oder Glukosewerte zu messen. Mit Hilfe von Bioaktuatoren können auf Basis der gemessenen Parameter chemische Aktionen (z.B. die Freigabe von Medikamenten) ausgelöst werden.

Marktsegmente je Befähigertechnologiefeld (BTF)	Marktvolumen in Mio. USD 2021	CAGR bis 2030 in %	CAGR bis 2040 in %	Marktvolumen in Mio. USD 2030	Marktvolumen in Mio. USD 2040	Anfangsinvestitionsvolumen in Mio. USD	Definition BTF/Marktsegment
Human-Biomachine-Interfaces	1.461	19,2%	16,3%	7.079	25.808	1.500	Biometrische Schnittstellen in der Produktion, die mit Nervensystem von lebenden Organismen (v.a. Menschen) verbunden sind, diese erkennen und darauf reagieren können.
Herstellung und Verwendung für Arbeitergesundheit	250	15,0%	12,0%	879	2.153		Bio-Human-Interfaces können in der industriellen Produktion zur Überwachung der Gesundheit und Sicherheit von Arbeitern eingesetzt werden. Dies kann die kontinuierliche Erfassung von Vitalparametern wie Herzfrequenz, Körpertemperatur und Stresslevel umfassen, um potenzielle Gesundheitsrisiken zu erkennen und Unfälle zu verhindern.
Herstellung und Verwendung für körperliche Leistungssteigerungen	700	25,3%	20,0%	5.329	22.364		In Fabriken und Produktionsanlagen können Bio-Human-Interfaces eingesetzt werden, um die körperliche Leistungsfähigkeit der Arbeiter zu steigern. Exoskelette oder tragbare Geräte können verwendet werden, um die körperliche Belastung zu reduzieren und die Effizienz bei schweren Aufgaben zu erhöhen.
Herstellung und Verwendung für Mensch-Maschine-Kollaboration	511	6,1%	5,0%	871	1.291		Bio-Human-Interfaces ermöglichen eine nahtlose Zusammenarbeit zwischen Menschen und Maschinen. In der industriellen Produktion können sie verwendet werden, um Roboter und Automatisierungssysteme zu steuern und zu überwachen, wodurch die Effizienz und Präzision in der Produktion gesteigert werden. Fernwartung von Geräten oder gar das komplett ortsunabhängige Arbeiten ("Homeoffice für Produktionsangestellte") können hierdurch ebenfalls ermöglicht werden.
Biobasierte/hybride Mikro- und Nanotechnik	3.851	10,8%	9,3%	9.677	20.940	800	Integration von biologischem Material in Ansätze der industriellen Nano- bzw. Mikrotechnik.
Herstellung und Verwendung von Nanopartikeln	351	20,1%	17,0%	1.825	6.932		Biobasierte Nanopartikel können in der Produktion von Materialien wie Beschichtungen, Kunststoffen oder Verbundwerkstoffen eingesetzt werden, um verbesserte Eigenschaften wie Haltbarkeit, Wärmeleitfähigkeit oder Leichtbau zu erzielen.
Herstellung und Verwendung von Nanorobotern für präzise Montage	150	18,0%	15,0%	665	2.135		Mikro- und Nanoroboter, die biologische oder hybride Komponenten enthalten, können in der industriellen Produktion eingesetzt werden, um präzise Montage- oder Manipulationsaufgaben durchzuführen. Diese Roboter können aufgrund ihrer geringen Größe in enge Räume gelangen und präzise Aufgaben ausführen.
Herstellung und Verwendung von hybriden Mikrofluidiksystemen	250	14,0%	12,0%	813	2.153		Hybride Mikrofluidiksysteme können in der industriellen Produktion zur Steuerung von Flüssigkeitsströmen und Reaktionen in kleinen Maßstäben eingesetzt werden. Sie ermöglichen präzise Dosierung, Mischung und Analyse von Flüssigkeiten und Chemikalien.
Herstellung und Verwendung von Nanokatalysatoren	3.000	8,1%	5,5%	6.022	8.297		Nanokatalysatoren, die biologische Enzyme oder Komponenten enthalten, können in der chemischen Industrie eingesetzt werden, um Reaktionsgeschwindigkeiten zu erhöhen und Energieeffizienz zu verbessern. Sie können auch in der Umwelttechnik zur Abwasserreinigung verwendet werden.
Herstellung und Verwendung von Elektronik Self Assembly Ansätzen	100	15,0%	15,0%	352	1.423		Organisch-Elektronische Bauelemente werden auf Mikro- oder Nanoebene so hergestellt, platziert bzw. kontaktiert, dass sie sich selbstständig zusammensetzen. "Nano-Klettverschlüsse" funktionieren nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip und sind für viele verschiedene Anwendungen einsetzbar.
Biofunktionale Materialien und Oberflächen	4.650	8,4%	7,5%	9.622	18.343	700	Herstellung und industrielle Nutzung von Substanzen und Strukturen, um biologische Funktionen auszuführen oder biologische Prozesse zu unterstützen.
Herstellung und Verwendung von biofunktionalisierten Beschichtungen zur Materialhaftung	500	14,2%	12,5%	1.652	4.687		In der Fertigungsindustrie können biofunktionale Beschichtungen zur Verbesserung der Haftung von Materialien wie Farben, Klebstoffen oder Beschichtungen auf Oberflächen verwendet werden. Dies führt zu einer besseren Produktqualität und Haltbarkeit.
Herstellung und Verwendung von biofunktionalisierten Rohstoffen/Zwischenprodukte	1.350	8,2%	7,0%	2.744	4.882		Biofunktionale Produkte sind Produkte, die biologische oder bioähnliche Eigenschaften aufweisen und spezifische biotechnologische oder medizinische Funktionen erfüllen. Sie finden Anwendung in verschiedenen Bereichen, darunter Medizin, Lebensmittelindustrie und Biotechnologie.
Herstellung und Verwendung von biofunktionalisierten Verpackungen	500	9,0%	8,0%	1.086	2.158		Biofunktionalisierte Materialien können in Lebensmittelverpackungen verwendet werden, um die Haltbarkeit und Frische von Produkten zu verbessern. Sie können beispielsweise zur Aktivierung von antimikrobiellen oder antioxidativen Eigenschaften in Verpackungen dienen und so z.B. der Bildung von Schimmel vorbeugen.
Herstellung und Verwendung von biofunktionalisiertem Korrosionsschutz	300	8,0%	7,0%	600	1.085		Biofunktionalisierte Materialien können verwendet werden, um Oberflächen von Industrieanlagen vor Korrosion und Verschleiß zu schützen. Die Beschichtungen können so konzipiert sein, dass sie selbstreparierend sind oder Schutz vor aggressiven Umgebungsbedingungen bieten.
Herstellung und Verwendung von biofunktionalisiertem Anti-Fouling-Mittel	2.000	6,6%	5,5%	3.540	5.531		Biofunktionale Materialien können in der Schifffahrt und bei Unterwasseranlagen eingesetzt werden, um das Anhaften von Algen, Muscheln und anderen Organismen an den Oberflächen zu verhindern. Dies reduziert den Reibungswiderstand und den Energieverbrauch. Herkömmliche und oft toxische Antifouling-Mittel können so ersetzt
Tissue Engineering	2.574	18,0%	15,3%	11.433	38.562	900	Künstliche Kultivierung biologischen, funktionsfähigen Gewebes im Labor mithilfe von Zellen und biomaterialbasierten Gerüststrukturen.
Herstellung und Verwendung von biologischen Filtern	200	8,0%	6,0%	400	605		Tissue Engineering kann zur Herstellung von biologischen Filtern verwendet werden, die in der Industrie zur Reinigung von Luft, Wasser oder Abwasser eingesetzt werden. Biologische Filter bestehen aus lebenden Mikroorganismen oder Geweben, die Schadstoffe abbauen oder entfernen.
Herstellung von Lebensmittel	274	31,3%	25,0%	3.172	18.978		Durch die Herstellung von tierfreien Bioprodukten wie Fleisch, Milch oder Eiern mit Hilfe von Tissue Engineering können Lebensmittelhersteller nachhaltigere und ethischere Produktionsmethoden entwickeln.
Herstellung und Verwendung von biologischen Rohstoffen/Zwischenprodukten	1.100	10,5%	8,0%	2.702	4.747		Hierbei werden lebende Zellen, extrazelluläre Matrizen und andere biologische Komponenten in Materialstrukturen integriert, um nachhaltige Alternativen zu herkömmlichen Materialien zu schaffen.
Herstellung und Verwendung menschlichen Gewebes	1.000	20,0%	15,0%	5.160	14.232		Kultivierung von menschlichem Gewebe für verschiedene Anwendungsfälle. Zum Beispiel für Toxizitätstest in Kosmetik oder Pharma. Nutzung von Muskelzellen für Aktuatoren oder Soft-Robotik.

Marktsegmente je Befähigertechnologiefeld (BTF)	Marktvolumen in Mio. USD 2021	CAGR bis 2030 in %	CAGR bis 2040 in %	Marktvolumen in Mio. USD 2030	Marktvolumen in Mio. USD 2040	Anfangsinvestitionsvolumen in Mio. USD	Definition BTF/Marktsegment
Gensequenzierung und -editierung	12.358	14,2%	11,3%	40.960	95.139	1.000	Entschlüsselung und gezielte Veränderung von DNA-Sequenzen in (Mikro-) Organismen zur Erschließung und Optimierung von neuen Produktionsprozessen.
Herstellung von Mikroorganismen für die Produktion von Pharmazeutika	3.000	15,5%	12,0%	10.974	25.838		In der Herstellung von biopharmazeutischen Produkten wie Antikörpern oder Impfstoffen wird die Gensequenzierung und -editierung eingesetzt, um Produktionsstämme von Mikroorganismen oder Zelllinien zu entwickeln, die eine höhere Ausbeute und Qualität der gewünschten Produkte ermöglichen.
Herstellung von Mikroorganismen für die Produktion von Biokatalysatoren	1.100	11,6%	8,5%	2.954	5.183		Gensequenzierung und -editierung werden in der industriellen Chemie eingesetzt, um Mikroorganismen oder Enzyme zu entwickeln, die als Biokatalysatoren bei chemischen Reaktionen verwendet werden können. Diese maßgeschneiderten Biokatalysatoren verbessern die Effizienz und Nachhaltigkeit chemischer Produktionsprozesse.
Herstellung von Mikroorganismen für die Produktion von biologischen Polymeren	2.000	12,5%	10,0%	5.773	12.232		In der Kunststoffindustrie wird die Gensequenzierung und -editierung verwendet, um Mikroorganismen zu entwickeln, die biobasierte Polymere produzieren. Diese nachhaltigen Materialien können in verschiedenen Produkten von Verpackungen bis zu Textilien verwendet werden.
Herstellung von Mikroorganismen für die Anwendung in der Grund- und Spezialchemie	3.758	15,6%	12,5%	13.809	35.221		Die Technologie wird genutzt, um Mikroorganismen zu entwickeln, die biotechnologisch hergestellte Chemikalien wie Aromastoffe, Farbstoffe oder Lösungsmittel produzieren können. Dies ermöglicht eine umweltfreundlichere und nachhaltigere Produktion chemischer Produkte.
Herstellung von Mikroorganismen für die Produktion von Kraftstoffen	2.500	12,9%	10,5%	7.451	16.666		Gensequenzierung und -editierung werden verwendet, um Mikroorganismen zu entwickeln, die biologische Rohstoffe effizient in Biokraftstoffe umwandeln können. Diese Technologie trägt zur Reduzierung der Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen und zur Förderung erneuerbarer Energien bei.
Metabolic Engineering und Synthetische Biologie	17.508	7,8%	5,7%	34.518	50.611	950	Metabolic Engineering umfasst die Optimierung von biologischen Stoffwechselprozessen durch genetische Eingriffe in den Stoffwechsel eines Organismus. Der Stoffwechsel wird so verändert, dass technisch nutzbare Produkte oder Varianten der natürlicherweise gebildeten Produkte mit neuen Eigenschaften entstehen. Synthetische Biologie beschreibt die komplette Neuschaffung, die Veränderung bzw. der Nachbau von biologischen Systemen.
Produktion von Pharmazeutika	915	12,4%	10,0%	2.620	5.596		Durch die gezielte Manipulation von Stoffwechselwegen in Mikroorganismen können Metabolic Engineering und Synthetic Biology dazu beitragen, pharmazeutische Wirkstoffe und biotechnologische Medikamente in hoher Reinheit und Effizienz herzustellen.
Produktion von Grundchemikalien und Polymere durch Mikroorganismen	5.000	9,0%	6,0%	10.859	15.128		Metabolic Engineering und Synthetic Biology können verwendet werden, um Mikroorganismen so zu modifizieren, dass sie Chemikalien, einschließlich Feinchemikalien, Biokunststoffe und Farbstoffe, in großem Maßstab produzieren können. Dies bietet eine nachhaltige Alternative zur petrochemischen Produktion.
Produktion von Spezialwerkstoffen durch Mikroorganismen	3.000	8,0%	6,0%	5.997	9.077		Die maßgeschneiderte Synthese von Spezialwerkstoffen, die in der Elektronik- oder Halbleiterindustrie benötigt werden, kann mithilfe dieser Technologien realisiert werden. Dies ermöglicht die Herstellung von maßgeschneiderten Werkstoffen mit hoher Reinheit und Effizienz.
Produktion von Aromastoffen und Aromen durch Mikroorganismen	2.000	7,0%	6,0%	3.677	6.051		Metabolic Engineering und Synthetic Biology können eingesetzt werden, um Mikroorganismen zur Herstellung von Aromastoffen und Aromen zu optimieren. Dies ist in der Lebensmittelindustrie und in der Produktion von Duftstoffen von Bedeutung.
Produktion von Enzymen	6.345	6,0%	4,0%	10.720	13.368		Enzyme, die in der industriellen Produktion als Katalysatoren eingesetzt werden, können mithilfe von Metabolic Engineering und Synthetic Biology in großen Mengen produziert werden. Diese Enzyme werden in verschiedenen Branchen, einschließlich der Lebensmittelindustrie und der Textilherstellung, benötigt.
Produktion von Mikroorganismen für die Trennung Anorganischer Stoffe	248	11,2%	9,5%	645	1.391		Mikroorganismen können so angepasst, verändert werden, dass sie anorganische Stoffe aus einem Stoffgemisch heraustrennen und abscheiden können, sodass diese für den Wiedereinsatz sortenrein vorliegen. Beispielsweise Metalle aus dem Batterienrecycling oder mineralische Stoffe beim Abbruch von Gebäuden können so getrennt werden.
Bio-(Hybrid-) und Soft-Robotik	12.155	10,6%	8,2%	30.072	54.786	1.300	Integration von Eigenschaften lebender Organismen (nicht biologischer Materialien) in Roboter, welche Teil von industriellen Produktionsprozessen sind.
Produktion und Verwendung von Robotern zur Handhabung empfindlicher Produkte	3.155	8,0%	7,0%	6.307	11.410		Soft-Roboter mit taktilen Sensoren und adaptiven Greifvorrichtungen können in der Elektronikproduktion eingesetzt werden, um empfindliche Bauteile z.B. in der Mikromechanik, der Mikrofluidik oder der Mikro-Optik (Justierung) sicher zu greifen und zu handhaben, ohne sie zu beschädigen.
Produktion und Verwendung von Robotern zur Montage und Fertigung in engen Räumen	1.500	12,7%	8,0%	4.400	6.474		Bio-Hybrid-Roboter mit flexiblen Strukturen und mikroskaligen Bewegungsfähigkeiten können in der Halbleiterindustrie eingesetzt werden, um winzige Bauteile in engen Räumen zu montieren und zu verbinden.
Produktion und Verwendung von Robotern zur Oberflächenreinigung und Inspektion	2.000	11,7%	9,0%	5.414	10.283		Weiche Roboter können zur Reinigung und Inspektion von Oberflächen in industriellen Anlagen verwendet werden. Dies kann das Reinigen von Pipelines, Tanks oder anderen schwer zugänglichen Bereichen umfassen.
Produktion und Verwendung von Robotern zum Materialtransport und Logistik	3.000	12,1%	10,0%	8.386	18.348		Bio-Hybrid-Roboter können in automatisierten Lagerhäusern und Fabriken eingesetzt werden, um Materialien und Produkte effizient zu transportieren. Beispiele sind autonome Roboter in der Logistik und Fließband-Transportroboter, die sich ggf. über KI selbstständig neuen Rahmenbedingungen anpassen oder evtl. mit Hilfe von Bio-Human-Interfaces ferngesteuert werden.
Produktion und Verwendung von Robotern zur Montage und Demontage von Produkten	2.500	9,3%	6,5%	5.566	8.271		Soft-Roboter können in der Automobilindustrie eingesetzt werden, um komplexe Montage- und Demontageaufgaben durchzuführen, insbesondere bei der Fertigung von Elektrofahrzeugen mit empfindlicher Elektronik.

Marktsegmente je Befähigertechnologiefeld (BTF)	Marktvolumen in Mio. USD 2021	CAGR bis 2030 in %	CAGR bis 2040 in %	Marktvolumen in Mio. USD 2030	Marktvolumen in Mio. USD 2040	Anfangsinvestitionsvolumen in Mio. USD	Definition BTF/Marktsegment
Bio-Computing und Data Storage	1.463	29,9%	19,9%	15.449	46.031	800	Verwendung von biologischen Materialien und Prozessen zur Verarbeitung, Speicherung und Übertragung von Informationen in der industriellen Produktion.
Herstellung und Verwendung von biologischer Datenspeicherung	303	43,6%	27,0%	7.854	28.379		Die Forschung im Bereich der biologischen Datenspeicherung zielt darauf ab, Informationen in DNA zu kodieren und zu speichern. In der industriellen Produktion könnten biologische Datenspeicher aufgebaut und verwendet werden, um langfristige Aufzeichnungen von Prozessen, Produktspezifikationen und Qualitätskontrolldaten zu archivieren. Hierbei ist auch die Produktion der notwendigen Infrastruktur Teil des Marktsegments.
Herstellung und Verwendung von biologischen Simulationsplattformen	750	21,8%	15,0%	4.425	10.674		Fortgeschrittene biologische Simulationsplattformen, die Biocomputing und maschinelles Lernen kombinieren, um Produktionsprozesse in Echtzeit zu optimieren. Diese Plattformen könnten autonom arbeiten und kontinuierlich Anpassungen vornehmen, um Effizienz, Produktqualität und Ressourcennutzung zu maximieren.
Herstellung und Verwendung von Quantenbiocomputer	50	40,0%	20,0%	1.033	1.597		Quantenbiocomputer sind hypothetische Computer, die Quantencomputing-Technologien mit biologischen Systemen oder Prozessen integrieren. Sie könnten in der Lage sein, komplexe biologische und biochemische Probleme zu lösen, die für herkömmliche Computer unzugänglich sind, indem sie die Eigenschaften der Quantenmechanik nutzen.
Herstellung und Verwendung von neuromorphen Hybrid-Computer	100	30,6%	17,0%	1.105	1.975		Neuromorphe Hybridcomputer sind so konzipiert, dass sie die Funktionsweise von neuronalen Netzwerken imitieren oder echte biologische Zellen und Gewebe in die Rechenprozesse integrieren können. Dies kann auch in Kommunikationsanwendungen (Biokommunikation) eingesetzt werden, wobei z.B. neuronale Übertragung zwischen Synapsen oder symbiotische Kommunikation zwischen Organismen eingesetzt werden könnte.
Herstellung und Verwendung von Biokommunikationstechnologie	260	16,6%	14,5%	1.032	3.406		Biologische Übertragungswerte können in industriellen Kontexten zum Einsatz kommen um z.B. Informationen zwischen Anlagen oder Produkten auszutauschen. Hierbei sind beispielsweise neuronale Übertragungen zwischen Synapsen, symbiotische Kommunikation zwischen Organismen oder biochemischer Austausch zwischen Mycel denkbar.
Soft-Sensorik und KI	3.732	19,5%	16,1%	18.488	63.339	1.200	Virtuelle, nicht physische Sensoren zur indirekten Messung/Simulation von biointelligenten Produktionsdaten basierend auf alternativen Daten sowie Echt-Zeit-Überwachung und Vorhersagen durch KI. Z.B. Überwachung chemischer Reaktionen oder Kraftwerke.
Anwendung in der Qualitätskontrolle der Lebensmittelproduktion	800	24,2%	18,0%	5.605	18.572		Soft-Sensoren und KI können in Lebensmittelproduktionsanlagen eingesetzt, um die Qualität von Lebensmitteln zu überwachen. Sie können beispielsweise in Echtzeit die Farbe, Textur und Feuchtigkeit von Backwaren wie Brot oder Keksen überwachen, um sicherzustellen, dass sie den Qualitätsstandards entsprechen. Dies führt zu weniger Ausschuss und höherer Produktqualität. Auch bei anderen Produktionsstätten mit Biokomponenten (z.B. Pharma, Tierfutter, Biowerkstoffe) ist der Einsatz möglich. Darüber hinaus sind auch Anwendungen in weiteren Lebensphasen (z.B. Transport und Lager mit Einhaltung der Kühlkette) denkbar.
Anwendung in der Predictive Maintenance	1.000	21,5%	18,0%	5.749	23.214		Durch die Integration von Soft-Sensoren und KI können Unternehmen den Zustand ihrer Produktionsmaschinen in Echtzeit überwachen. Dies ermöglicht die Vorhersage von Wartungsbedarf und Ausfällen, bevor sie auftreten. Beispiele sind Predictive-Maintenance-Systeme für Industrieroboter in Fertigungsanlagen.
Anwendung in der Bioprozessoptimierung	800	12,0%	9,5%	2.218	4.487		In biopharmazeutischen Produktionsanlagen werden Soft-Sensoren und KI verwendet, um Bioprozesse zu überwachen und zu optimieren. Dies umfasst die Echtzeitüberwachung von Zellkulturen und Fermentationen, um die Produktionsausbeute und -qualität zu steigern. Produkte sind hochwertige biopharmazeutische Produkte wie Impfstoffe und biotechnologische Arzneimittel.
Anwendung im Umweltmonitoring	475	14,3%	12,0%	1.575	4.091		In der chemischen Industrie werden Soft-Sensoren und KI verwendet, um die Umweltauswirkungen von Produktionsprozessen zu überwachen. Sie können beispielsweise den Gehalt an Schadstoffen in Abwasserströmen oder Luftemissionen kontinuierlich überwachen und auf Abweichungen reagieren, um die Einhaltung von Umweltauflagen sicherzustellen. Auch die Arbeitergesundheit kann so gewährleistet werden.
Anwendung bei der Energieeffizienzsteigerung in Bioraffinerien, -reaktoren und -foundries	657	19,8%	17,0%	3.339	12.975		Soft-Sensoren und KI können zur Optimierung des Energie- und Materialverbrauchs bzw. -bestandes in Produktionsanlagen eingesetzt werden. Sie überwachen Produktionsparameter von Maschinen, Anlagen sowie Lagerstädten und passen diese in Echtzeit an, um Verschwendung zu reduzieren und die Nachhaltigkeit der Produktion zu verbessern.
Rückverfolgbarkeit und Blockchain	6.292	28,0%	15,9%	57.851	104.502	800	Lückenlose, sichere und transparente Aufzeichnung/Verwaltung von Produkt- und Materialdaten in der biointelligenten Produktion. z.B. Herkunft von Rohstoffen/Produktgeschichte in einem digitalen Produktpass hinterlegen.
Anwendung in der Produktsicherheit und Qualitätskontrolle	1.466	40,0%	20,0%	30.279	46.820		Blockchain ermöglicht eine lückenlose Rückverfolgung von Produkten in der gesamten Lieferkette. Dies verbessert die Produktsicherheit und die Qualitätssicherung, indem es Unternehmen und Verbrauchern ermöglicht, den Weg eines Produkts von der Herstellung bis zum Verkauf zu verfolgen.
Anwendung beim Tracken von Energie- und Ressourcenverbrauch	1.657	19,0%	15,0%	7.929	23.582		In der Industrie kann Blockchain zur Überwachung des Energie- und Ressourcenverbrauchs eingesetzt werden. Dies fördert nachhaltige Produktionspraktiken und ermöglicht die Herstellung von Produkten mit geringerem ökologischem Fußabdruck.
Anwendung bei der Nachhaltigkeit in der Bioproduktion	2.250	6,0%	4,0%	3.801	4.740		Blockchain ermöglicht es, Nachhaltigkeitsaspekte in der biotechnologischen Produktion zu dokumentieren und zu verifizieren. Dies kann Nachhaltigkeitszertifikate für biobasierte Produkte wie Biokunststoffe oder Biochemikalien unterstützen.
Anwendung in der Verfolgung von Bioinformationsdaten	919	37,2%	20,0%	15.841	29.360		In der Bioinformatik und Genomik können Blockchain und Rückverfolgbarkeit zur sicheren Speicherung und Verwaltung von genetischen Daten und Sequenzierungsdaten verwendet werden. Dies gewährleistet den Datenschutz und die Integrität der Daten.