
Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Vom Kontrast zur Konvergenz | 1 |
| 1.1 | Der Ursprung: Technik hilft beim Überlebenskampf | 1 |
| 1.2 | Neuer Ansatz: Natur und Technik kooperieren und konvergieren | 2 |
| 1.3 | Aktuell: Biologische und digitale Transformation befruchten und beflügeln einander | 4 |
| 1.4 | Das Ziel: Effiziente und nachhaltige Wertschöpfung | 5 |
| 1.5 | Biologische Transformation bei Fraunhofer und Ausblick | 6 |
| 2 | Biologische Transformation | 9 |
| 2.1 | Die Bedeutung der Biologischen Transformation | 9 |
| 2.2 | Die Natur als Inspiration für Innovationen „Made in Germany“ | 10 |
| 2.3 | Der Beitrag zu globalen Herausforderungen und Lösungen zu Nachhaltigkeit | 12 |
| 2.4 | Konzepte und Beispiele aus der Fraunhofer-Forschung zur Biologischen Transformation | 14 |
| 2.5 | Prozesse | 18 |
| 3 | Bionikforschung für die Medizintechnik | 21 |
| 3.1 | Einleitung | 22 |
| 3.1.1 | Bionik als Kreativitätstechnik | 22 |
| 3.1.2 | Bionik als Disziplin mit vielen Subdisziplinen | 22 |
| 3.2 | Hauptstränge der Bionik | 23 |
| 3.2.1 | Bionik – Paradigmenwechsel und radikale Innovationen | 24 |
| 3.2.2 | Bionik umfasst alles außer Biotechnologie | 25 |
| 3.3 | Die Rolle der Bionik in der Biologischen Transformation | 26 |
| 3.4 | Die Bionik in der Medizin(technik) | 27 |

V

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.4.1 | Chirurgische Knochenstanze nach Vorbild von Schlange und Katze | 28 |
| 3.4.2 | Bohren nach Vorbild der Insekten | 30 |
| 3.4.3 | Implantate (Endoprothesen) | 32 |
| 3.4.4 | Exoprothesen | 34 |
| 4 | Innovative Nahrungsmittel | 39 |
| 4.1 | Einleitung und Hintergrund | 40 |
| 4.2 | Pflanzliche Proteine als funktionelle Lebensmittelzutaten | 42 |
| 4.2.1 | Gewinnungsverfahren für pflanzliche Proteinzutaten | 43 |
| 4.2.2 | Modifikation pflanzlicher Proteinzutaten | 46 |
| 4.3 | Allergenität pflanzlicher Proteine und Strategien zur deren Reduktion | 49 |
| 4.3.1 | Lebensmittelallergien und Lebensmittelallergene | 49 |
| 4.3.2 | Strategien für betroffene Verbraucher | 50 |
| 4.3.3 | Möglichkeiten zur Reduktion des allergenen Potenzials von Proteinzutaten | 50 |
| 4.4 | Texturierung pflanzlicher Proteinzutaten mittels Kochextrusion .. | 54 |
| 4.4.1 | Extruder und Extrusionsparameter in der Lebensmittelverarbeitung | 55 |
| 4.4.2 | Herstellung pflanzlicher Fleischalternativen | 56 |
| 4.5 | Weitere Applikationen von Pflanzenproteinen | 60 |
| 5 | Technische Heimaten für menschliche Zellen | 67 |
| 5.1 | Einleitung | 68 |
| 5.2 | Anforderungen von biologischer Seite und Modellierung biologischer Prozesse | 69 |
| 5.3 | Mikrophysiologische Organ-on-a-Chip-Systeme als interdisziplinäre Plattform | 69 |
| 5.3.1 | Einleitung | 71 |
| 5.3.2 | Spezifische Organ-on-a-Chip-Systeme | 73 |
| 5.3.3 | Multi-Organ-Chips – All-In-One-Microfluidic | 75 |
| 5.3.4 | Ausblick | 79 |
| 5.4 | Sensorik und Aktorik für die Automatisierung in der Bioanalytik .. | 80 |
| 5.4.1 | Automatisierte Hochdurchsatz-Mikroskopie für die Zellproduktion | 80 |
| 5.4.2 | Deep Learning für Klassifizierung in der Zellmikroskopie | 83 |

| | | |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.4.3 | Optische Kohärenztomographie (OCT) als Sensorik im Tissue Engineering | 84 |
| 5.5 | Die Laborautomatisierung als Grundlage für den Prozesstransfer in der biologischen Transformation | 87 |
| 5.6 | Fazit und Ausblick | 92 |
| 6 | Phäno- und Genotypisierung von Pflanzen | 95 |
| 6.1 | Einleitung | 95 |
| 6.2 | Motivation | 97 |
| 6.3 | Genereller Ansatz und Beispiele umgesetzter Lösungen | 99 |
| 6.4 | Ausblick | 104 |
| 7 | Zellen als Sensoren | 109 |
| 7.1 | Einleitung | 109 |
| 7.2 | Die Bedeutung zellbasierter Bioanalytik | 111 |
| 7.3 | Zellkulturmodelle für verschiedene bioanalytische Anwendungen | 113 |
| 7.4 | Nichtinvasive physikalische Signalwandler zum Monitoring lebender Zellen | 116 |
| 7.5 | Zellen als Sensoren – Anwendungsbeispiele einer integralen Effektanalytik | 122 |
| 7.5.1 | Impedanzbasierte Analyse der Zellformänderung unter Einfluss externer Faktoren | 123 |
| 7.5.2 | Analyse zytomechanischer Veränderungen durch Piezoresonatoren | 126 |
| 7.5.3 | Quantitative Wirkstofftestung mit Sensorzellen und evaneszenten Feldern | 128 |
| 7.6 | Schlussbemerkung | 129 |
| 8 | Biopolymere – vielseitige Funktionsträger in der interdisziplinären Materialforschung | 133 |
| 8.1 | Einleitung | 134 |
| 8.2 | Einführung zu biologischen Bausteinen/Funktionen | 135 |
| 8.3 | Integration biologischer Funktionen in Materialien | 138 |
| 8.3.1 | Integration auf molekularer Ebene | 138 |
| 8.3.2 | Neue biologische Funktionen in thermoplastischen Biokunststoffen | 148 |
| 8.4 | Biomaterialien für die Medizin | 154 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 9 Biogene Kunststoff-Additive | 165 |
| 9.1 Einleitung | 165 |
| 9.2 Weichmacher auf der Basis von nachwachsenden Rohstoffen ... | 167 |
| 9.3 Antioxidantien aus Pflanzenextrakten | 170 |
| 9.4 Lichtschutzmittel aus Pflanzenextrakten | 173 |
| 9.5 Flammenschutzmittel aus nachwachsenden Rohstoffen | 174 |
| 9.6 Sonstige Kunststoff-Additive aus nachwachsenden Rohstoffen ... | 176 |
| 9.7 Ausblick | 178 |
| | |
| 10 Organismen als Produzenten | 183 |
| 10.1 Produktion von Nahrungsmittelproteinen in mikrobiellen Zellfabriken | 184 |
| 10.1.1 Einleitung und Hintergrund | 184 |
| 10.1.2 Auswahl und Optimierung eines geeigneten Phenylalaninfreien Nahrungsmittelproteins | 185 |
| 10.1.3 Produktion und Testung des Phenylalanin-freien Proteins | 186 |
| 10.1.4 Ausblick | 187 |
| 10.2 Pflanzliche Stammzellen für die kosmetische Industrie | 188 |
| 10.2.1 Einleitung und Hintergrund | 188 |
| 10.2.2 Herstellung und Produktion pflanzlicher Stammzellen ... | 188 |
| 10.2.3 Optimierung der Produktionsbedingungen | 190 |
| 10.2.4 Fazit | 191 |
| 10.3 Wertstoffe aus Mikroalgen – Erhöhung der Wertschöpfung durch Kaskadennutzung und Fraktionierung | 191 |
| 10.3.1 Einleitung | 191 |
| 10.3.2 Mikroalgeninhaltsstoffe und Anwendungsgebiete | 193 |
| 10.3.3 Mikroalgenkultivierung | 194 |
| 10.3.4 Biomasseaufarbeitung | 197 |
| 10.3.5 Ausblick | 199 |
| | |
| 11 Biologisierte Robotik und Biomechatronik | 203 |
| 11.1 Einleitung | 204 |
| 11.2 Mensch-Roboter-Kollaboration: Überblick, Chancen und Herausforderungen | 204 |
| 11.3 Einsatzpotenziale, Klassifikation der Mensch-Roboter- Kollaboration, Normenwerke | 205 |
| 11.3.1 Interaktionsformen | 205 |
| 11.3.2 Gefahren und Schutzprinzipien | 206 |

| | | |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------|------------|
| 11.4 | Gefährdungsbeurteilung bei Kollaboration mit Robotern | 207 |
| 11.4.1 | Aktueller Bedarf an Belastungsgrenzen | 208 |
| 11.4.2 | Unterscheidung von Belastungsgrenzen | 209 |
| 11.4.3 | Studien zur Erarbeitung von Belastungsgrenzen | 211 |
| 11.5 | Roboter-Applikation mit MRK: Heute und morgen | 212 |
| 11.6 | Exoprothesen und Exoskelette | 218 |
| 11.6.1 | Von der mechanischen zur mechatronischen Mensch-Technik-Schnittstelle | 218 |
| 11.6.2 | Neue Wege der Biosignalaufnahme | 221 |
| 11.7 | Zusammenfassung und Ausblick | 223 |
| 12 | Future AM | 229 |
| 12.1 | Einleitung | 230 |
| 12.2 | Defizite und daraus abgeleitete Handlungsfelder für Metall AM | 234 |
| 12.3 | Zielsetzung | 236 |
| 12.4 | Stand der Technik | 240 |
| 12.5 | Aktuelle Ergebnisse | 247 |
| 12.6 | Ausblick | 248 |
| 13 | Insektenbiotechnologie | 251 |
| 13.1 | Einleitung | 252 |
| 13.2 | Antibiotika aus Insekten | 252 |
| 13.3 | Virulenzblocker aus Insekten | 254 |
| 13.4 | Insektenenzyme für die industrielle Biotechnologie | 255 |
| 13.5 | Insekten als alternative Proteinquelle | 258 |
| 13.6 | Insektenbiotechnologie im Pflanzenschutz | 259 |
| 13.6.1 | RNA-Interferenz (RNAi) im Pflanzenschutz | 261 |
| 13.6.2 | Sterile-Insekten-Technik (SIT) | 262 |
| 14 | Das Wertstoff-Prinzip | 265 |
| 14.1 | Einleitung | 266 |
| 14.2 | Holz als Werkstoff | 268 |
| 14.2.1 | Struktur und Zusammensetzung | 268 |
| 14.2.2 | Pflanzenfasern | 270 |
| 14.2.3 | Holz- und Faserverbundwerkstoffe | 273 |
| 14.3 | Hybridwerkstoffe mit Holz- und Pflanzenfasern | 275 |
| 14.3.1 | Holzbasierte Hybridwerkstoffe | 275 |
| 14.3.2 | Hybride Materialien aus pflanzlichen Fasern | 279 |

| | | |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 14.4 | Hierarchische Holzstruktur und Umwandlung in neue Materialien | 282 |
| 14.5 | Holz als Quelle für chemische Verbindungen | 285 |
| 14.6 | Technologiebewertung | 285 |
| 14.7 | Die Aufschlussverfahren im Überblick | 288 |
| 14.7.1 | Mechanische Vorbehandlung (Strukturerhaltendes Verfahren) | 288 |
| 14.7.2 | Autohydrolyse/Hydrothermolyse/Dampfdruckaufschluss (Strukturerhaltendes Verfahren) | 288 |
| 14.7.3 | Alkalische Aufschlussverfahren (Strukturerhaltende Verfahren) | 292 |
| 14.7.4 | Sulfitaufschluss/Ligninsulfonierung (Strukturerhaltendes Verfahren) | 293 |
| 14.7.5 | Aufschluss mit Alkoholen, Organosolv-Verfahren (Strukturerhaltendes Verfahren) | 294 |
| 14.7.6 | Aufschluss mit organischen Säuren (Strukturerhaltendes Verfahren) | 295 |
| 14.7.7 | Aufschluss mit ionischen Flüssigkeiten (Strukturerhaltendes Verfahren) | 297 |
| 14.7.8 | Aufschluss durch Kalziumoxid (Strukturerhaltendes Verfahren) | 298 |
| 14.7.9 | Vorbehandlungen für eine anschließende Hydrolyse und Verwertung der Zuckerfraktionen (teilweise strukturabbauende Verfahren) | 298 |
| 14.7.10 | Verwertung der Ligninfraktion | 302 |
| 14.8 | Pyrolyse zu Öl (Nicht-Strukturerhaltendes Verfahren) | 304 |
| 14.9 | Pyrolyse mit anschließender Vergasung (Nicht-Struktur- erhaltendes Verfahren) | 306 |
| 14.10 | Vergärung (Nicht-Strukturerhaltendes Verfahren) | 308 |
| 15 | Kognitive Sensorik der Biologie | 317 |
| 15.1 | Einleitung und Motivation | 318 |
| 15.2 | Lernen aus der Biologie | 320 |
| 15.2.1 | Insektenschwärme als multi-modale Sensornetzwerke .. | 320 |
| 15.2.2 | Beyond Human Vision – Multispektral und Polarisation | 323 |
| 15.3 | Lernen für die Biologie | 326 |
| 15.3.1 | Digitalisierung der Wahrnehmung – Campus der Sinne .. | 326 |
| 15.3.2 | Digitalisierung selbstähnlicher biologischer Strukturen .. | 330 |

| | | |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 15.4 | Das Kognitive Internet | 333 |
| 16 | Schutz vor Biofouling | 337 |
| 16.1 | Einleitung | 338 |
| 16.2 | Entstehung und Bekämpfung von Biofouling | 340 |
| 16.3 | Marktentwicklung | 345 |
| 16.4 | Beispiel: Antifouling durch elektrisch leitfähige Schiffslacke | 346 |
| 16.5 | Beispiel: Low-Fouling-Membranmodule für die Umkehrosmose | 351 |
| 16.6 | Ausblick | 355 |
| 17 | Urban Agriculture | 359 |
| 17.1 | Einleitung | 360 |
| 17.2 | Neue Ansätze zur wissensbasierten urbanen Landwirtschaft | 360 |
| 17.3 | Lokale Produktionsstandorte | 361 |
| 17.4 | Kreislaufbasierte Agrarwirtschaft | 363 |
| 17.5 | Digitaler Gartenbau | 366 |
| 17.6 | Ausblick | 368 |
| 18 | Digitale Dörfer | 371 |
| 18.1 | Einleitung | 372 |
| 18.2 | Smart Ecosystems als Basis Digitaler Ökosysteme | 374 |
| 18.2.1 | Die Plattformstrategie – mehr als die Summe aller Teile | 375 |
| 18.2.2 | Von Plattformen zu Smart Ecosystems | 375 |
| 18.3 | Das Smart Ecosystem der Digitalen Dörfer | 377 |
| 18.4 | Erfolgsfaktoren einer Smart Rural Area | 378 |
| 18.5 | Smart Rural Areas – Mehr als ein theoretisches Konstrukt | 379 |
| 18.6 | Eine einheitliche Plattform mit flexibel nutzbaren Diensten | 380 |
| 18.7 | Das Smart Ecosystem „Rural Areas“ | 382 |
| 18.8 | Ausblick | 385 |
| 19 | Alternativen zum Wachstum | 389 |
| 19.1 | Einleitung: Grenzen des Wachstums, Grenzen der Wachstumsökonomie? | 390 |
| 19.2 | Der populationsökologische Blick: Wachstumsstrategie versus Kapazitätsstrategie | 392 |
| 19.2.1 | Die Wirtschaftsentwicklung aus Ressourcensicht | 393 |
| 19.2.2 | Eigenschaften von Klimaxökosystemen | 394 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 19.3 Übertragung auf die Wirtschaft: Eigenschaften der Klimaxökonomie wie Nischen, Vernetzung, Stoffkreisläufe | 395 |
| 19.4 Land- und Forstwirtschaft als Vorreiter der Klimaxökonomie | 397 |
| 19.5 Wertschöpfungsnetzwerke für eine Klimaxökonomie | 403 |
| 19.6 Ausblick | 406 |