

# **Identifikation von potentiell relevanten «Emerging Technology Domains» für das Schweizer Ernährungssystem 2030**



**Projektbericht unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Erich J. Windhab**

Als Teil der Initiative «Food 4.0» der Akademien der Wissenschaften Schweiz

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH) – Institut für Lebensmittel, Ernährung  
und Gesundheit; Laboratorium für Lebensmittelverfahrenstechnik

## 1 Einleitung und Projektzielsetzung

Mit der Initiative «Food 4.0» leisten die Akademien der Wissenschaften Schweiz unter der Leitung der Schweizerischen Akademie für Technische Wissenschaften SATW einen Beitrag, um die Zukunft des Ernährungssystems Schweiz langfristig sicherzustellen. Dies soll durch innovative Entwicklungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette von der Primärproduktion bis zum Gesundheitssystem geschehen.

Massgeblicher Bestandteil der im Auftrag der SATW im Zeitrahmen Februar-Juni 2021 durchgeführten und hier vorliegenden Projektstudie im Rahmen der Initiative «Food 4.0», ist die systemische Betrachtung des Schweizer Ernährungssystems zur Identifikation von Technologiebereichen (Emerging Technology Domains, ETDs), welche innovative Entwicklungen initiieren bzw. unterstützen lassen und von besonderer Relevanz hinsichtlich Forschungskompetenz, Innovation und wirtschaftlichem Potential für die Schweiz sind. Dafür sollen für das Ernährungssystem bislang gegebenenfalls nicht hinreichend prioritär berücksichtigte Technologie- und Wissenschaftsbereiche (z.B. Additive Fertigung, Robotik, Digitalisierung/Automation, Künstliche Intelligenz, Sensorik, Biotechnologie, Medizin, Umwelt und Ressourcen), welche das Innovationspotenzial unter den gegebenen Rahmenbedingungen in der Schweiz steigern lassen, mitberücksichtigt werden.

Die vorliegende Studie wurde durch Prof. Erich Windhab (ETH Zürich) unter Einbezug wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Lebensmittel, Ernährung und Gesundheit (IFNH) der ETH realisiert.

Nachfolgende Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der Projektabschnitte inklusive Meilensteinen und Berichterstattungs-Etappen:

**Tabelle 1:** Übersicht Projektabschnitte

Nr.	Beschreibung (Meilensteine)	Termin	Leitung
1	Kick-off Sitzung SATW/ETHZ	15.12.2020	ETHZ
2	Umfang/Aufbau Studie festgelegt (Absprache SATW/ETH)	15.02.2021	SATW
3	Begleitgruppe formiert	15.03.2021	SATW
4	Erste Studienergebnisse vorliegend (Übersicht Emerging Technology Domains, ETDs)	20.03.2021	ETHZ
5	Workshop mit Begleitgruppe durchgeführt	30.04.2021	SATW
6	3-4 Entwicklungsbereiche ausgearbeitet	30.04.2021	ETHZ
7	Entwurf Studie vorliegend	15.05.2021	ETHZ

Nr.	Beschreibung (Meilensteine)	Termin	Leitung
8	Bericht Studie	25.06.2021	ETHZ
9	Vernehmlassung innerhalb Begleitgruppe	30.06.2021	SATW
10	Vernehmlassung abgeschlossen	06.08.2021	SATW
11	Finale Studie vorliegend	16.08.2021	ETHZ
12	Studie abgenommen	26.08.2021	SATW
13	Kommunikationsmassnahmen umgesetzt	30.09.2021	SATW
14	Schlussbesprechung	25.10.2021	SATW

Am 29. April 2021 wurde, als Teil der Projektstudie und unter Leitung der SATW, ein Workshop mit Teilnehmenden aus dem Akademienverbund umgesetzt. Dieser hatte zum Ziel, die Interessenlage und Prioritätenidentifikation hinsichtlich vorgestellter und vorausgewählter innovativer Emerging Technology Domains (ETDs) von Relevanz für den Lebensmittelbereich aus dem Blickwinkel der verschiedenen Wissenschaftsbereiche in der Schweiz unter Einbezug der diese vertretenden Schweizer Akademien und Kompetenzzentren, zu erkunden. Einbezogene derselben sind 1. Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT), 2. Schweizerische Akademie der Medizinischen Wissenschaften (SAMW), 3. Schweizerische Akademie der Geistes- und Sozialwissenschaften (SAGW), 4. Schweizerische Akademie der technischen Wissenschaften (SATW), 5. Junge Akademie Schweiz (JAS) und 6. TA-SWISS. Miteinbezogen wurden ferner Vertreter der SATW Themenplattform Lebensmitteltechnologie aus Industrie und Hochschulen, um erste Prioritätensetzungen zu diskutieren und festzulegen. Als Resultat des Workshops konnten vier ETDs definiert werden. In den definierten vier Entwicklungsbereichen (siehe Kapitel 4) setzen die Akademien der Wissenschaften Schweiz im Rahmen der Initiative Food 4.0 in den nächsten vier Jahre innovative Projekte für ein zukunftsfähiges Ernährungssystem um.

## 2 Ausgangssituation

### 2.1 Globale Rahmenbedingungen

Die Agenda 2030 der UNO mit ihren 17 Nachhaltigkeitszielen (siehe Abbildung 1) ist im Jahr 2020 aufgrund der COVID-19-Pandemie aus dem Tritt geraten und einige der «Sustainable Development Goals» (SDGs) scheinen derzeit ausser Reichweite zu sein. Vier dieser SDGs adressieren Ernährungsaspekte explizit (s. SDGs 2: Zero Hunger; 3: Good Health and Well-being; 6: Clean Water and Sanitation und 12: Responsible Consumption and Production).

Eine «Neukalibrierung» der SDGs ist in lebhafter (UN-)Diskussion. Von verschiedenen Seiten werden insbesondere verstärkte Priorisierungen und Investitionen in öffentliche Dienstleistungen, Sozialschutz und insbesondere in die Ernährungs- und Gesundheitssysteme gefordert, die die globalen Auswirkungen der Pandemie widerspiegeln. Sowohl die Krankheit als auch die Angst vor dieser haben erhebliche globale wirtschaftliche und soziale Auswirkungen ausgelöst, zusammen mit von den meisten Ländern auferlegten Beschränkungen des internationalen Reiseverkehrs, der Quarantäne von Millionen von Menschen, dramatischen Rückgängen im Tourismus- und Gastgewerbe und Unterbrechungen der Lieferketten für Lebensmittel, Medikamente und Fertigprodukte. COVID-19 zwingt die politischen Entscheidungsträger, dringende Entscheidungen zu treffen, um sicherzustellen, dass die Lebensmittelversorgungsketten weiterhin funktionieren. Die grundlegende Aufgabe besteht darin, diese unmittelbaren Störungen anzugehen, gleichzeitig jedoch in das langfristige Ziel eines widerstandsfähigen, nachhaltigen und produktiven globalen Lebensmittelsystems zu investieren /1/.



**Abbildung 1:** Die 17 Nachhaltigkeitsziele der UN (veröffentlicht in 2015)

Die Komplexität von Lebensmittelsystemen erfordert einen ganzheitlichen und abgestimmten Ansatz, um die Auswirkungen der Implementierung innovativer Elemente zu verstehen und übergreifende Optimierungsregeln für die Wertschöpfung abzuleiten. Die meisten Herausforderungen im Bereich Ernährungssicherheit und Ernährung betreffen komplexe Problemstellungen, deren Lösungsansätze häufig umstritten sind und disziplinäre, bereichsbezogene und institutionelle Grenzen überschreiten. In unseren zunehmend globalisierten Lebensmittelsystemen ergeben sich Herausforderungen aus Wechselwirkungen auf verschiedenen Ebenen und Massstabsgrößenordnungen. Sie erfordern integrierte Massnahmen aller Beteiligten auf lokaler, nationaler, regionaler und globaler Ebene, sowohl von öffentlichen als auch privaten

Akteuren und über mehrere Grenzen hinweg. Die Berücksichtigung direkter und indirekter Abhängigkeiten von Wechselwirkungen über ein gesamtes Lebensmittelsystem ist von massgeblicher Bedeutung, wobei Landwirtschaft, Lebensmittelverarbeitung, Verkehr, Einzelhandel, Verbraucher, Gesundheit, Handel, Politik, Umwelt und Infrastruktur massgebliche Bausteine darstellen. Eine synergetische Verschmelzung dieser anstatt eines destruktiven oder unkontrollierten Aufeinanderprallens muss das ultimative Ziel sein.

Das globale Ernährungssystem muss im Kontext von Globalisierung und überlagertem Bevölkerungswachstum, Urbanisierung, wachsendem Wohlstand, sich ändernden Konsummustern sowie Klimawandel, Verschmutzung und Erschöpfung natürlicher Ressourcen betrachtet werden. In den letzten drei Jahrzehnten hat die Entwicklung der Ernährungssysteme global einige positive Ergebnisse erzielen lassen, insbesondere in Entwicklungsländern. Zu diesen Ergebnissen zählen die Ausweitung von Beschäftigungsmöglichkeiten ausserhalb der Landwirtschaft im Zuge der Entwicklung der Lebensmittelindustrie und die Ausweitung der Lebensmittelauswahl über lokale Grundnahrungsmittel hinaus, wodurch Verbraucherpräferenzen in Bezug auf sensorische und ernährungsphysiologische Qualitätsaspekte weitergehend befriedigt werden konnten /2/.

Der damit verbundene rasche Strukturwandel hat jedoch auch zunehmend zu erheblichen Herausforderungen geführt, mit weitreichenden Folgen hinsichtlich Ernährungssicherung und Ernährung. Dazu gehören (i) die vielen kalorienreichen und nährstoffarmen Lebensmittel, die weit verbreitet sind und konsumiert werden, (ii) der eingeschränkte Zugang von Kleinerzeugern und Agrarunternehmen zu lebensfähigen Märkten, (iii) hohe Lebensmittelverluste und Abfall, (iv) vermehrte Vorfälle in Punkto unzureichender Lebensmittelsicherheit, (v) Gesundheitsprobleme bei Tieren und Menschen sowie (vi) erhöhte Energieintensität und damit verbundenen Verstärkung des ökologischen Fussabdrucks im Zusammenhang mit der Industrialisierung der entsprechenden Lebensmittelversorgungsketten.

Aus globaler Sicht lässt sich festhalten, dass die menschliche Ernährung das stärkste Einflussnahmepotential, sowohl für die menschliche Gesundheit als auch für die ökologische Nachhaltigkeit auf der Erde, besitzt. Allerdings bedroht der aktuelle Umgang mit Ernährung derzeit sowohl die Menschen als auch den Planeten. Eine immense Herausforderung für die Menschheit besteht darin, eine wachsende Weltbevölkerung mit gesunder Ernährung aus nachhaltigen Ernährungssystemen zu versorgen. Während die weltweite Nahrungsmittelproduktion bezogen auf die pro Kopf Kalorien-Verfügbarkeit im Allgemeinen mit dem Bevölkerungswachstum Schritt gehalten hat, fehlten vor dem Auftreten der Covid-19-Pandemie dennoch mehr als 820 Millionen Menschen ausreichend Nahrung, und viele mehr konsumierten minderwertige und/oder zu viele Lebensmittel.

Aufgrund der Auswirkungen der Pandemie waren nach Schätzungen des Welternährungsprogramms (WFP) der Vereinten Nationen (bis Dezember 2020) 271,8 Millionen Menschen in Ländern, in denen das WFP tätig ist, zusätzlich akuter Ernährungsunsicherheit ausgesetzt /3/.

Während ungesunde Ernährung ein großes Risiko hinsichtlich Morbidität und Mortalität darstellt, bedroht die weltweite Nahrungsmittelproduktion in ihrer derzeit gehandhabten Form die Klimastabilität und Widerstandsfähigkeit der Ökosysteme und ist die grösste treibende Kraft für Umweltzerstörung und Verletzung planetarer Grenzbelastbarkeit. Dementsprechend ist eine radikale Transformation des globalen Ernährungssystems dringend erforderlich. Ohne Massnahmen besteht die Gefahr, dass die Welt die UN-Nachhaltigkeitsziele (SDGs) nicht erreicht, und die kommenden Generationen werden einen Planeten erben, der stark degradiert ist und dessen Bevölkerung zunehmend an Unterernährung und vermeidbaren ernährungsbedingten Krankheiten leidet.

Laut Studienbericht 2019 der EAT Lancet Commission gibt es substanzielle wissenschaftliche Beweise dafür, dass unser globales Ernährungssystem sowohl die menschliche Gesundheit als auch die ökologische Nachhaltigkeit massgeblich bedingt. Das Fehlen weltweit vereinbarter wissenschaftlicher Ziele für gesunde Ernährung und nachhaltige Nahrungsmittelproduktion hat gross angelegte, koordinierte Bemühungen zur Umgestaltung des globalen Ernährungssystems bislang behindert /4/. Die Analyse der Kommission legt nahe, dass die Gewährleistung sicheren Handlungsspielraums für die Entwicklung zukünftiger Lebensmittelsysteme, eine Kombination aus wesentlichen Veränderungen hin zu überwiegend pflanzlichen Ernährungsmustern, dramatischen Reduzierungen von Lebensmittelverlusten und -verschwendung sowie wesentlichen Verbesserungen der Lebensmittelproduktionspraktiken erfordert.

## **2.2 Thematische Aktionsfelder**

Zur repräsentativen Orientierung wurden jüngste Trendentwicklungen im globalen Lebensmittelsystem evaluiert und gewichtet. Abbildung 2 zeigt eine zusammenfassende Übersicht.

Seitens der EU Forschungs- und Entwicklungs-Plattform «EIT-Food» wurden für 2021 ferner folgende «Focus-Area Challenges» herausgestellt

1. Alternative Proteine
2. Nachhaltige Landwirtschaft
3. Gezielte Ernährung
4. Nachhaltige Aquakultur
5. Digitale (Rück-)Verfolgbarkeit
6. Zirkulare Lebensmittelsysteme



**6 Mega Trends (food products) – 2019 => 2020:**

1. Consumers adopt regional and adventurous flavors
2. Plant-based foods continue growing
3. Sustainability efforts increase
4. Snacking is an occasion
5. Hemp/cannabis/CBD products emerge
6. Probiotic products gain steam

<https://foodindustryexecutive.com/2018/12/6-mega-trends-from-the-2019-food-trend-predictions/>

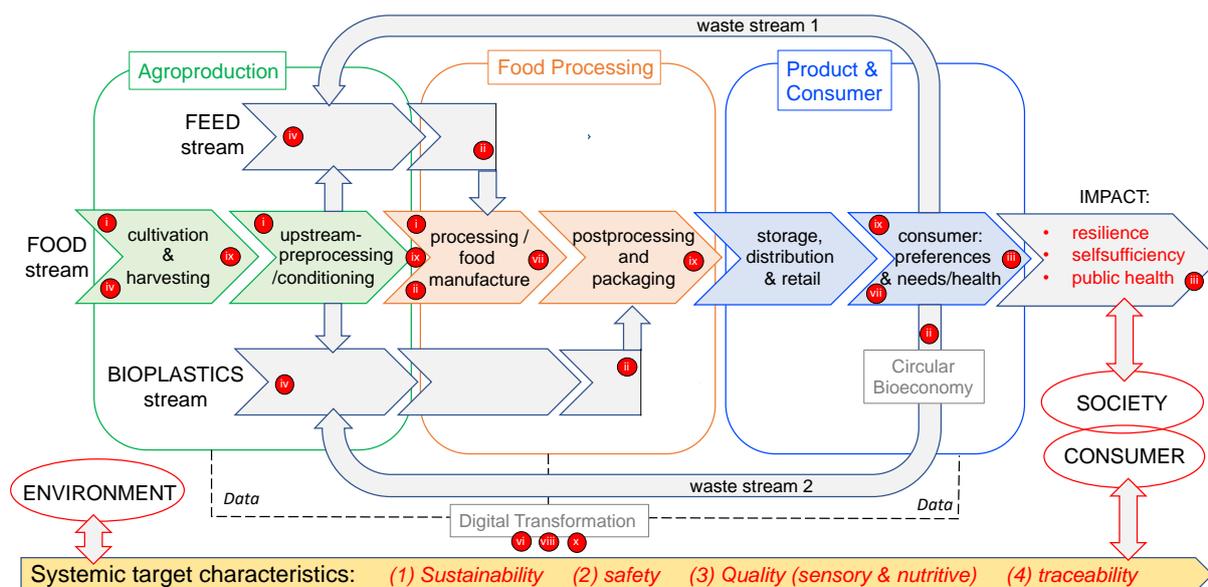
**Culinary Trends (meals by Chefs):**

- A. Better for the environment
- B. Plant-based and alternative proteins
- C. Healthful meal options

[https://restaurant.org/Downloads/PDFs/Research/Whats\\_Hot\\_2020.pdf](https://restaurant.org/Downloads/PDFs/Research/Whats_Hot_2020.pdf)

**Abbildung 2:** (Mega-) Trends in der Lebensmittelindustrie aus EU/Industrienationen-Sicht (links; EIT-Food-Analyse; Ernest & Young 2018/19), erweiterte Dokumentation, siehe /5/; Lebensmittelindustrie Trend Perspektive (s. rechts oben) /6/ sowie Gastronomie-Sicht (rechts unten) /7/

In Summa dominieren die inhaltlichen Aspekte (i) Pflanzliche Lebensmittel / (alternative) Proteine; (ii) Nachhaltige zirkulare Produktion, (iii) Gesunde Ernährung, (iv) Nachhaltige Landwirtschaft und (v) Integrierte Lebensmittel-Wertschöpfungsketten. In der Analyse von Ernest & Young werden ferner technologische Schwerpunktbereiche wie (vi) Digitalisierung, (vii) 3D-Food Printing, (viii) Künstliche Intelligenz (KI) und (ix) Virtual Reality sowie (x) Blockchain hervorgehoben. Eine integrative Zusammenschau dieser Schwerpunktt Themenbereiche vor dem Hintergrund der Lebensmittel-Wertschöpfungskette ist in Abbildung 3 dargestellt. Daraus ist zu entnehmen, dass die Bereiche (iv) Nachhaltige Landwirtschaft und (iii) Gesunde Ernährung die Eckpfeiler der Wertschöpfungskette markieren. Die weiteren genannten Schwerpunktt Themenbereiche realisieren ein verbindendes Netzwerk entlang der Wertschöpfungskette.



**Abbildung 3:** Lebensmittel-Wertschöpfungskette (Food System) mit integrierter Positionierung der Themenbereiche: (i) Pflanzliche Lebensmittel / (alternative) Proteine; (ii) Nachhaltige zirkulare Produktion, (iii) Gesunde Ernährung, (iv) Nachhaltige Landwirtschaft, (vi) Digitalisierung, (vii) 3D-Food Printing, (viii) AI, (ix) Virtual Reality und (x) Blockchain /8/

Als derzeit hochaktuelle Verbindung zwischen den genannten «Eckpfeiler-Themenbereichen» (iii) Gesunde Ernährung und (iv) Nachhaltige Landwirtschaft mit grossem Zukunftspotential, gilt die nachhaltige Herstellung pflanzlicher Lebensmittel mit hoher sensorischer und nutritiver Wertigkeit. Schlüsselfaktorkomponente in einem diesbezüglichen pflanzenbasierten zukünftigen Ernährungsmuster mit signifikanten Auswirkungen auf eine mögliche Verbesserung der ökologischen Nachhaltigkeit sind die Pflanzenproteine, die im Vergleich zu ihren tierischen Counterparts einen um Faktor 2-75 niedrigeren CO<sub>2</sub>- oder Wassereisabdruck aufweisen, wobei insbesondere Hülsenfrüchte die meisten Vorteile aufzeigen /9 -12/.

Eine langfristig prognostizierte (2050) globale Unterversorgung mit Proteinen für eine wachsende Weltbevölkerung sowie eine zunehmende Infragestellung der Nachhaltigkeit von Lebensmitteln tierischen Ursprungs, die zumindest in den Industrienationen registriert wurde, haben die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zu neuen Proteinquellen und deren technologische Verarbeitung in den letzten Jahren aktiviert.

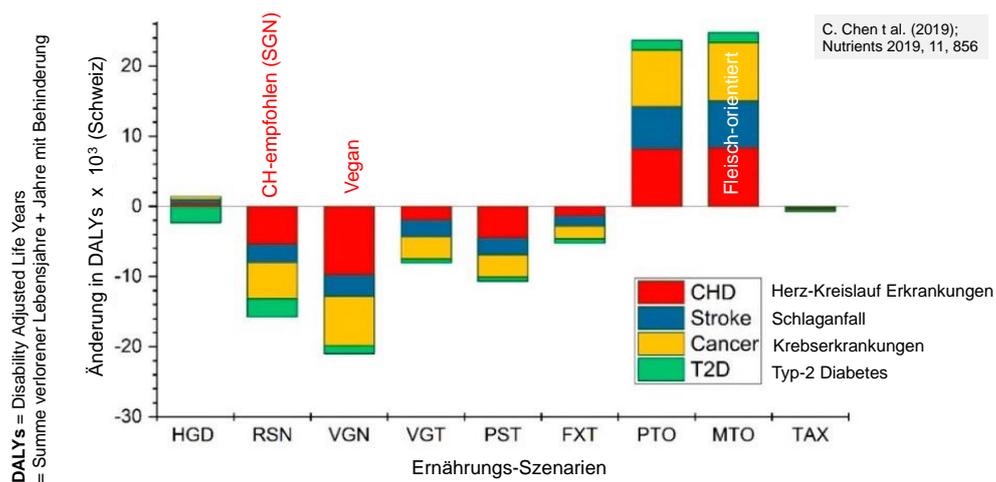
In der aktuellen Diskussion über Alternativen zu Proteinen tierischen Ursprungs, gilt Proteinen aus Hülsenfrüchten (z.B. Erbsen, Linsen, Bohnen, Lupinen), Ölsaaten, Getreide und Nüssen/Kernen, neben den bislang am besten erforschten Sojaproteinen, welche den Pflanzenprotein Weltmarkt bislang beherrscht haben, das Hauptaugenmerk. Darüber hinaus sind als neue Proteinquellen insbesondere Algen und Insekten zukunftsfruchtig. Erbsen- und

Ackerbohnenproteine sind aufgrund ihres hohen Proteingehalts und geeigneter Aminosäureprofile aktuell auf dem Vormarsch. Insektenproteine dürften zumindest in Mitteleuropa/USA zunächst Anwendungen im Tierfutterbereich vorbehalten bleiben. Proteine aus Mikroalgen gelten als relevant für Lebensmittelentwicklungen, allerdings bedarf es intensiver Forschungsaktivitäten im Algenbereich, um die Algenproteine verbessert technofunktionell verfügbar zu machen. Leguminosen sind im Hinblick auf deren agrarische Berücksichtigung besonders interessant, da sie (a) mit deutlich reduzierter Freisetzung von Treibhausgasen dazu beitragen, die Treibhausgasemissionen (THG) zu reduzieren, (b) die verstärkte Bindung von Kohlenstoff in Böden erlauben und (c) in Folge Stickstoffdüngerreduktion Einsparung fossiler Energieeinträge in das System ermöglichen. Damit lassen sich massgebliche Aspekte Nachhaltiger Landwirtschaft adressieren /10/.

Eine gesunde Ernährung mit massgeblichen Anteilen pflanzlicher Lebensmittel und deutlich reduziertem Fleischkonsum gemäss Empfehlungen der Schweizerischen Gesellschaft für Ernährung SGE würde zu einer deutlichen Abnahme des ökologischen Fussabdrucks (-36%), der Konsumentenausgaben (-33%) und der gesundheitsschädigenden Effekte (-2,7%) im Vergleich zur aktuellen Schweizer Durchschnittsernährung führen /13/.

In Abbildung 4 weisen negative Ordinatenwerte (DALYs = Disability-Adjusted Life Years = Summe verlorener und mit Einschränkungen erlebter Lebensjahre) auf einen Nutzen für die menschliche Gesundheit hin, positive Werte stehen für eine Zunahme negativer gesundheitlicher Folgen. Vier differenziert betrachtete Krankheitszustände, sind ischämische oder koronare Herzkrankheiten (KHK), Schlaganfall, Typ-2-Diabetes mellitus (T2D) und Krebs. Die verwendeten Abkürzungen für die Ernährungskategorien sind: Healthy Global Diet (HGD), Diät gemäss Empfehlung der Schweizerischen Gesellschaft für Ernährung (RSN), Vegane Ernährung (VGN), ovo-lakto-vegetarische Ernährung (VGT), ovo-lakto-pescatarianische Ernährung (PST), Flexitarische Ernährung (FXT), proteinorientierte Ernährung (PTO), fleischorientierte Ernährung (MTO) und Lebensmittel-Treibhausgassteuerdiät (TAX) /13/.

Eine fleischorientierte Ernährung (MTO) bewirkt gegenüber RSN einen deutlichen Anstieg der negativen Effekte (+23% ökologischer Fussabdruck, +29% Konsumentenausgaben, gesundheitsschädigende Auswirkungen (ca. +23%, +20% und +4 % hinsichtlich der in Abbildung 4 benannten Grössen: CHD, Stroke, Cancer)) /13/. Würde der Fleischkonsum z.B. mittels Fleischanalogen auf Pflanzenproteinbasis reduziert, resultierte somit auch ein Gesundheitsnutzen mit positiven Auswirkungen auf die Kosten für das Gesundheitssystem. Seit die Millennials die «Flexitarier-Bewegung» ins Leben gerufen haben, zeigt sich insbesondere deutlich wachsendes Marktpotential für Pflanzenprotein-basierte Fleischanaloge.



**Abbildung 4:** Folgen der Umstellung auf eine alternative Ernährung für die menschliche Gesundheit

### 2.3 Planungsgrundlagen und Ziele Food 4.0

Zur strategischen Planung für das globale und nationale Ernährungssystem wurden in der letzten Dekade umfassend Diskussionen geführt und solche auch in Forschungsprogramme transferiert (siehe z.B. EIT Food auf Europäischer Ebene /14/, NRP-69 auf nationaler Schweiz Ebene /15/). Solche Planungsszenarien und Programme haben z.T. umfassend systemische Aspekte identifiziert (s. Abbildung 5, «Systems Knowledge») und diese zielorientiert in Themenbereiche übersetzt (s. Abbildung 5, «Target Knowledge»). Eine weitergehende Ausarbeitung und Fokussierung von zielführenden technologisch und ökonomisch relevanten Umsetzungsszenarien und -werkzeugen blieb jedoch weitgehend aus, bzw. wurde Einzelprojekt-Aktivitäten überlassen. Dies hatte zur Folge, dass strategische Linienführung und Ziele sich nicht durchgängig in Applikationen widerspiegeln und in der Diversität von Problemlösungsansätzen häufig verloren gingen.

Der SATW/a+ Initiative Food 4.0 liegt die Vorstellung zu Grunde, dass auf Applikationsebene eine zielführend und flexibel arrangierbare Bearbeitungskapazität durch Identifikation und Fokussierung ausgewählter, innovativer «Emerging Technologiebereiche» derart realisiert werden muss, dass diese im Einklang mit der übergeordneten Strategie und aus dieser unter Berücksichtigung der Systemeigenschaften entwickelten Zielsetzungen steht. Eine damit angestrebte möglichst weitgehende Kompatibilität von (A) Systemeigenschaften, (B) strategischer Zielsetzung und (C) Umsetzungskapazität (im Folgenden kurz als ABC-Kompatibilität bezeichnet) wird als massgebliche Voraussetzung und Erfolgsfaktor für übergeordnete, weiterreichende Problemlösungen in komplexen Systemen bewertet. Bereits in der Akquisitionsphase entsprechender Projekte mit erweiterter thematischer Spannweite wird sich die

vorbenannte ABC-Kompatibilität wichtig erweisen, um kompetente Partner aus Wirtschaft und Wissenschaft zu interessieren und zu committen.

Vor diesem Hintergrund wurde für die hier berichtete Projektstudie als **Erstes Hauptziel** die Identifikation des vorhandenen bzw. noch zu erarbeitenden Wissensstandes auf den drei Ebenen (1) System (hier Ernährungssystem), (2) Strategische Zielsetzung und (3) Umsetzung/Transformation, formuliert. Wie sich in der Vordiskussion zu dieser Projektstudie zeigte, kann für die Bereiche (1) und (2) auf umfangreiche Literatur, Trendanalysen und Entwicklungsprognosen in z.T. bereits gut vorstrukturierter Form zurückgegriffen werden. Zu (3) liegen zwar vielfältige Informationen, jedoch überwiegend unstrukturiert und in aller Regel in Form von «Problemlösungs-Singularitäten» vor, deren Einbettung in das Ernährungssystem unter Berücksichtigung von «Nachbarbereichen» bzw. übergeordnete Zusammenhänge im System meist nur wenig Beachtung finden.

Demgemäss wurde die Zielsetzung der Projektstudie dahingehend präzisiert, dass:

- (i) unter Vorgabe eines validierten Basismodells für das Ernährungssystem
- (ii) mit dem strategischen Ziel der inhaltlichen und ökonomischen Relevanz für die Schweiz
- (iii) innovative, aufkommende Technologiebereiche (Emerging Technology Domains, ETDs)

zu identifizieren und hinsichtlich ihrer Bedeutung und Entwicklungsrelevanz auf Zeitskala 2030 vergleichend zu bewerten sind.

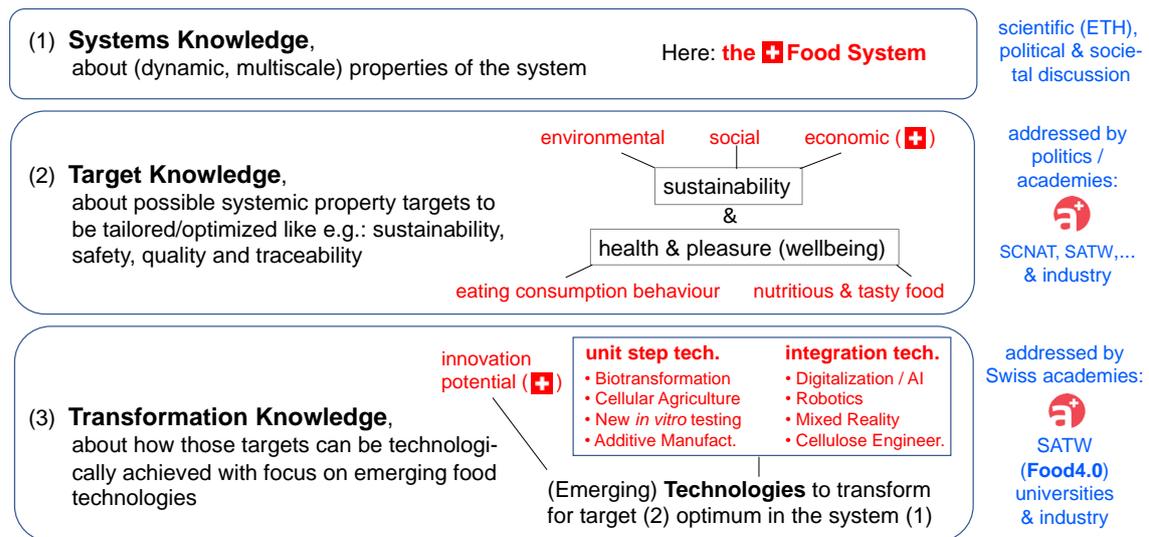
### **3 Food 4.0 Projektschritte**

Abbildung 5 zeigt schematisch die vorgeschlagene Berücksichtigung der vorab beschriebenen strategisch orientierten Vorgehensweise zur Ausarbeitung von R&D Entwicklungsprogrammen unter Berücksichtigung des Wissensstandes auf den drei Ebenen (1) System («System knowledge»), (2) Strategische Zielsetzung («Target Knowledge») und (3) Umsetzung/Transformation («Transformation Knowledge»), mit diesbezüglich eingefügten beispielhaften, für das Ernährungssystem konkretisierenden Stichworten.

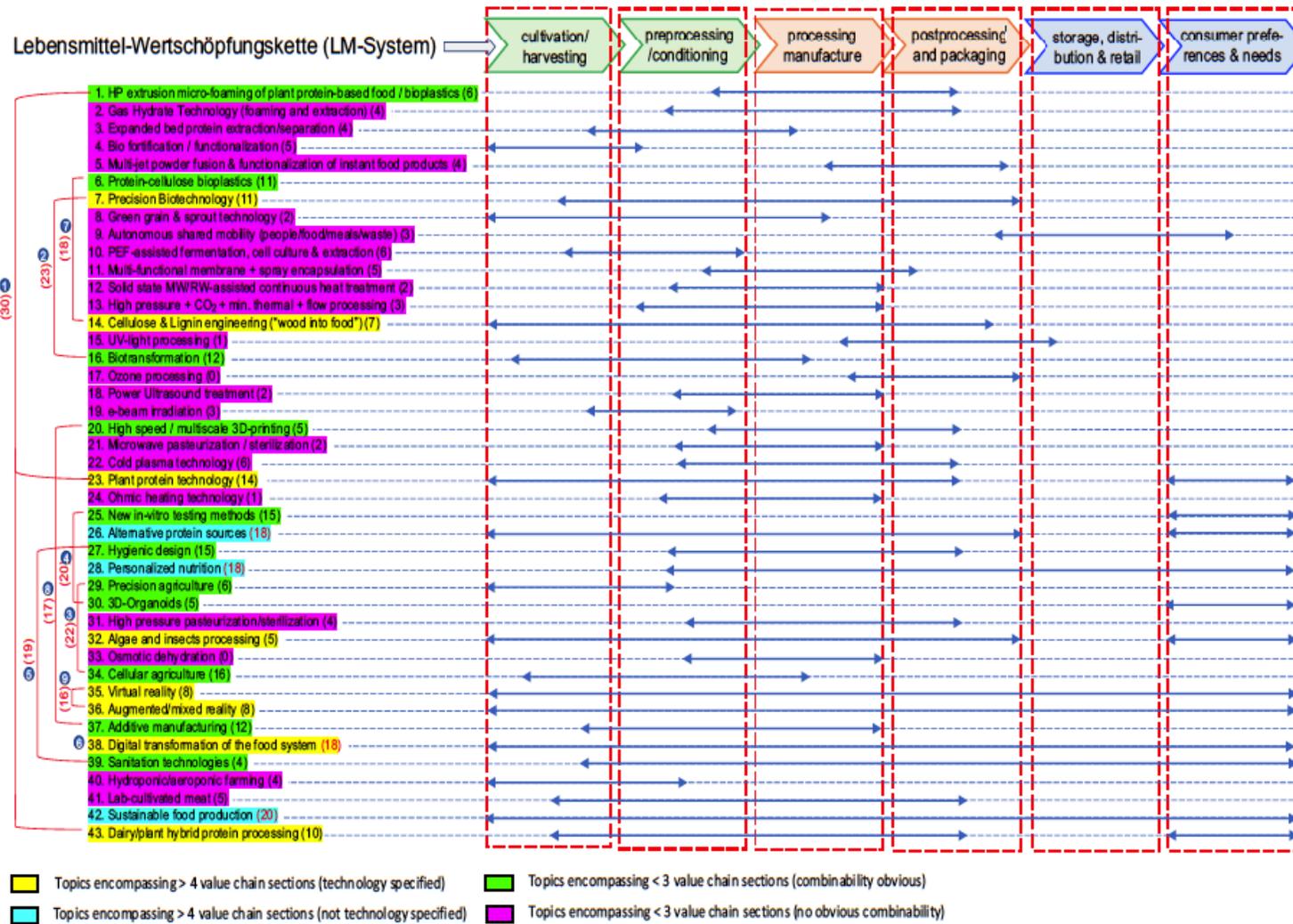
#### **3.1 Initiale Identifikation von «Emerging Technology Domains (ETDs)»**

In einem ersten Projektschritt erfolgte die Identifizierung von «Emerging Technology Domains» (ETDs) im Lebensmittelbereich, welche als solche bezeichnet der einschlägigen Fachliteratur entnommen wurden und einem oder mehreren Handlungsbereichen entlang der Lebensmittel-Wertschöpfungskette zuzuordnen sind (s. Abbildung 6). Diese wurden von

Experten in den Bereichen Lebensmitteltechnologie, Lebensmittelverfahrenstechnik und Biomaterialwissenschaften (ETH-FPE) zu einer 43 Technologien umfassenden Liste zusammengestellt, welche nachfolgend von 31 fachkundigen Vorevaluatoren in einer ersten Priorisierungsrunde bewertet wurde. Jeder dieser Evaluatoren konnte jeweils einen von insgesamt 10 Punkten für die zehn als am wichtigsten betrachteten Technologiebereiche gemäss eingeschätzter Zukunftsbedeutung vergeben. Die 310 Punkte verteilten sich wie in Abbildung 6 dargestellt (s. Anzahl der Bewertungspunkte den in Abbildung 6 beschriebenen ETDs in Klammern nachgestellt).



**Abbildung 5:** Systematische Darstellung der Wissensbereiche (1) System («System knowledge»), (2) Strategische Zielsetzung («Target Knowledge») und (3) Umsetzung/ Transformation («Transformation Knowledge»), mit eingefügten beispielhaften, für das Ernährungssystem konkretisierenden systemischen Zielparametern (zu 2) sowie «Emerging Technology Bereichen» (ETDs)



**Abbildung 6:** «Emerging Technology Domains (ETDs)» im Ernährungssystem: Ergebnis deren Vorevaluation (s. in Klammern nachgestellte Punktesummen) aus technologisch orientierter Sicht von 31 wissenschaftlich/technologisch orientierten ETH-Experten, sowie Anwendung der in den Kapiteln 3.1 und 3.2 beschriebenen weiteren Auswahlkriterien.

Wie ebenfalls in Abbildung 6 aufgenommen, erfolgte eine zusätzliche Konsolidierung der Liste durch Zusammenfassung sehr eng beieinanderliegender Technologiebereiche (ETDs), welche mittels der in Rot eingezeichneten Verbindungsklammern und Addition der entsprechenden Punktesummen in Abbildung 6 verdeutlicht wurde. Eine zusätzliche Einteilung der ETDs nach den in Tabelle 2 aufgeführten Kriterien und den in nachfolgender Tabelle 2 in Abbildung 6 übertragenen Farbcodes unterstreicht sowohl die Systematik der Zusammenlegung von ETDs als auch die Selektion von ETDs, welche zwar mehrere (> 4) der Handlungsbereiche entlang der Lebensmittel-Wertschöpfungskette verbinden, jedoch in Folge unzureichender technologischer Spezifizierung ausgeschieden wurden (s. türkise Farbmarkierung).

**Tabelle 2:** Präferenzgrad ETDs

Präferenzgrad*	Auswahl – Kriterium	Farbcode
1	ETDs, die $\geq 4$ Bereiche der LM Wertschöpfungskette verbinden und denen eine hinreichende Technologie Spezifizierung/Fokussierung zu Grunde liegt.	gelb
2	ETDs, die < 3 Bereiche der LM Wertschöpfungskette verbinden und technologisch naheliegend mit weiteren der genannten ETDs zu koppeln sind	grün
3	ETDs, die $\geq 4$ Bereiche der LM Wertschöpfungskette verbinden, denen jedoch KEINE hinreichende Technologie-Spezifizierung/Fokussierung zu Grunde liegt.	türkis
4	ETDs, die < 3 Bereiche der LM Wertschöpfungskette verbinden und technologisch NICHT naheliegend mit weiteren der genannten ETDs zu koppeln sind	pink

\* Präferenzgrad (PG) 1 = höchste Auswahlpriorität, nach PG 4 absteigende Priorität; ETDs mit PG 1 und 2 ausgewählt; ETDs mit PG 3 und 4 ausgeschieden; den Kategorien PG1 und 2 wird eine erhöhte Effizienz hinsichtlich der Entwicklung von Technologien mit transformativem Potential zugeschrieben (s. Abbildung 5), da (i) Technologiespezifizierung und (ii) Verbindungscharakter hinsichtlich Handlungsbereichen der Lebensmittel-Wertschöpfungskette adressiert sind.

Hieraus resultierte die Zusammenstellung der identifizierten «Emerging Technology Domains (ETDs)», welche Punktesummen  $\geq 16$  aufwiesen, d.h. von mehr als 50% der 31

Vorevaluatoren als am wichtigsten eingeschätzt wurden und ebenso die in Tabelle 2 dargestellten Kriterien zur Erfüllung der Präferenzgrade 1 und 2 aufzeigten. Die identifizierten ETD nach der ersten Priorisierung sind in Tabelle 3 aufgelistet:

**Tabelle 3:** Rangfolge ETDs nach der ersten Priorisierung

Rang	ETDs
1.	Protein technology and plant/dairy hybrid product engineering (30 Punkte)
2.	Precision Biotechnology & Biotransformation (23)
3.	Cellular Agriculture (22)
4.	New in vitro testing with 3D-Organoids (20)
5.	Sanitation technologies and hygienic design (19)
6.	Digital transformation of the food system (18)
7.	Cellulose Engineering (18)
8.	Additive food manufacture by high-throughput 3D-printing (17)
9.	Virtual/augmented reality-based manufacturing and training support (16)

### 3.2 Food 4.0 SATW-Workshop mit avisierter interdisziplinärer Begleitgruppe

Zu den neun in Tabelle 3 dargestellten ETDs wurden mittels der im APPENDIX aufgezeigten Abbildungen (A1-A15) weitergehend detaillierte Beschreibungen im Rahmen des Food 4.0 Workshops vom 30. April 2021 gegeben und diesbezügliche Fragen diskutiert. Die aus der Aufstellung in Abbildung 6 platzierten ETDs mit den Nummern 26, 28 und 42 bezeichnen übergeordnete ETD-Zielbereiche und wurden deshalb hier separiert, um eingegrenzten Technologiebereichen mit zielführend konkretisiertem transformativem Potenzial im Sinne der in Abbildung 5 adressierten Fokussierungsstrategie bevorzugt Raum zu geben. Im Kontext zu strategischen Zielbeschreibungen (vgl. Abbildung 5 «Target Knowledge») sollen die genannten übergeordneten ETD Zielbereiche jedoch Berücksichtigung finden. Von den 16 Teilnehmenden des Workshops Food 4.0 vom 30.04.2021 repräsentierten 11 die Schweizerischen Akademien SCNAT, SAGW, SATW und a+ sowie fünf die SATW Themenplattform Lebensmitteltechnologie (vier Senior Management Industrie, einer ETH).

Diese Food 4.0-Begleitgruppe priorisierte zunächst vier der neun in Tabelle 3 aufgeführten ETDs mittels des Online-Tools «Mural». Jeder Teilnehmer konnte dabei die für ihn

wichtigsten vier ETDs auswählen. Maximal vier ETDs ohne Votenakkumulation konnten gewählt werden. Folgende vier ETD erhielten dabei die meisten Stimmen:

**Tabelle 4:** Rangfolge ETD nach zweiter Priorisierung während des Workshops durch die Food 4.0-Begleitgruppe (ohne Berücksichtigung der Schweiz-Relevanz)

Rang*	ETDs
ETD 1 (1)	Protein technology and plant/dairy hybrid product engineering (1 Votes)
ETD 2 (6)	Digital transformation of the food system (8 Votes)
ETD-3 (2)	Precision Biotechnology & Biotransformation (7 Votes)
ETD-4 (3)	Cellular Agriculture (6 Votes)

\* in Klammern der Rang der ersten Priorisierung

### 3.3 Ergänzende Stellungnahmen der Food4.0 Workshop Teilnehmenden

Die 16 Teilnehmenden des Food 4.0 Projekt-Workshops vom 30.4.2021 (Begleitgruppe) gaben zu den ersten Studienresultaten folgende zusätzlichen Kommentare, welche in den weiteren Arbeitsschritten berücksichtigt oder vertieft werden sollen:

- (a) Der aktuelle Ansatz der Studie sowie die ETDs sind ausgeprägt angebotsorientiert und berücksichtigen den Bedarf aus Konsumentensicht zu wenig. Damit die neuen Technologien angenommen werden, müssen die Food Innovationen vom Konsumenten akzeptiert und übernommen werden.
- (b) Der Landwirtschaftssektor sollte, im Hinblick auf Nachhaltigkeitsaspekte, mehr in die Studie einfliessen (2/3 des Carbon-Footprint stammen aus der Landwirtschaft). Es bedarf einer nachhaltigen Intensivierung, die nur mit neuen Technologien funktionieren kann.
- (c) Fragen der Pflanzenzüchtung und Genetik sollten ebenfalls Eingang in die Studie/die ETD Selektion finden (Stichworte CRISPR, Gentechnologie).
- (d) Eine Transformation kann nur erreicht werden, wenn die Gesellschaft mitzieht. Gesellschaftliche Trends sollten daher noch stärker einbezogen werden und insbesondere die Themen aufnehmen, für die es wenig Lobby und fast keine Stimmen gibt (Produkt-Tracing, alternative Distributionsketten, etc.).
- (e) Die Zeitschiene sollte berücksichtigt werden. Bevor eine neue Technologie akzeptiert ist, bedarf es einer gewissen Etablierungszeit im Markt (z.B. Produkte auf Basis von Pflanzenproteinen).

- (f) Der Konsument soll zum Co-Creator und Controller gemacht werden (z.B. um Spezifikationen, Anbauweise und Verarbeitungsaspekte von Produkten sichtbar zu machen).
- (g) Synergien in Themenbereichen zu nutzen ist erwünscht (z.B. Austausch FIBL, Agroscope, SCNAT).

### 3.4 Evaluation der Schweiz-Relevanz priorisierter ETDs

Die am Workshop Teilnehmenden wurden darüber hinaus gebeten, bis am 9. Mai 2021 alle der neun Technologiebereiche (Tabelle 3) anhand des nachfolgend in Abbildung 7 dargestellten erweiterten Evaluierungsbogens zusätzlich hinsichtlich der Relevanz für das Schweizer Ernährungssystem gemäss folgender Kriterien zu beurteilen:

- A. Innovationsrelevanz
- B. Wichtigkeit (global)
- C. Volkswirtschaftliche Bedeutung
- D. Industrierelevanz (CH)
- E. R&D Kompetenz (CH)
- F. Verbraucherrelevanz (CH)

Das detaillierte Ergebnis dieser Nachevaluation ergab nachfolgend in Tabelle 5 dargestellte Rangfolge:

**Tabelle 5:** Ergebnisse Nachevaluation durch Workshop-Teilnehmende und finale ETD-Rangfolge

Rang Nachevaluation	ETD	Rang 1. Priorisierung / Rang 2. Priorisierung
ETD-1	Protein technology and plant/dairy hybrid product engineering	1 / 1
ETD-2	Digital Transformation of the Food System	6 / 2
ETD-3	Precision Biotechnology / Biotransformation	2 / 3
ETD-4	Sanitation Technologies and Hygienic design	5 / 5

Wie aus Tabelle 5 hervorgeht, haben sich gegenüber der ersten Evaluation im Workshop (2. Priorisierung) die ersten drei Ränge nicht verändert. Im Rang 4 wurde (3.) Cellular Agriculture durch (5.) Sanitation Technologies and Hygienic Design abgelöst.

Projektbericht - «Emerging Technology Domains» für das Schweizer Ernährungssystem

Evaluierung : SATW Food4.0 -Emerging Technology Domains (ETD)																					
Bewertung hinsichtlich: Beitragspotential der ETD zur Weiterentwicklung des Schweizer Ernährungssystems (im globalen Kontext)																					
ETD (Emerging Technology Domain)	A.			B.			C.			D.			E.			F.			Punkte-Summe	Summe Mittelwerte	RANG
	Innovations Relevanz	# Bewertungen	Mittelwert	Wichtigkeit (global)	# Bewertungen	Mittelwert	Volkswirtsch. Bedeutung (CH)	# Bewertungen	Mittelwert	Industrierelevanz (CH)	# Bewertungen	Mittelwert	R&D Kompetenz (CH)	# Bewertungen	Mittelwert	Verbraucher-Relevanz (CH)	# Bewertungen	Mittelwert			
1. Protein technology and plant/dairy hybride product engineering	55	7	7.86	70	8	8.75	53	8	6.63	61	8	7.63	63	8	7.88	66	9	7.33	368	46.07	1
6. Digital Transformation of the food system	44	7	6.29	65	8	8.13	59	8	7.38	66	8	8.25	50	7	7.14	55	9	6.11	339	43.29	2
2. Precision Biotechnology / Biotransformation	52	7	7.43	60	8	7.50	53	8	6.63	51	8	6.38	62	8	7.75	56	8	7.00	334	42.68	3
5. Sanitation Technologies and Hygienic design	47	7	6.71	57	8	7.13	44	8	5.50	52	8	6.50	49	7	7.00	58	9	6.44	307	39.28	4
7. Cellulose Engineering	48	7	6.86	58	8	7.25	38	7	5.43	44	8	5.50	44	6	7.33	41	8	5.13	273	37.49	5
9. Virtual / augmented Reality based manufacturing and training Support	47	7	6.71	54	8	6.75	39	8	4.88	44	8	5.50	46	6	7.67	35	8	4.38	265	35.88	6
3. Cellular Agriculture	43	6	7.17	47	7	6.71	39	7	5.57	35	7	5.00	36	6	6.00	36	7	5.14	236	35.60	7
4. New in vitro functionality testing with 3D-Organoids	46	7	6.57	46	8	5.75	36	8	4.50	34	8	4.13	44	6	7.33	35	7	5.00	240	33.28	8
8. Additive food manufacture by high-throughput 3D-Printing	42	7	6.00	38	8	4.75	37	8	4.63	37	8	4.63	45	7	6.43	38	8	4.75	237	31.18	9
			local rank 1																		
			local rank 2																		
			local rank 3																		
			local rank 4																		
Anweisung: In jede Kriterien-Spalte (A.-F.) können 1-9 Punkte (höhere Punktzahl mit zunehmender Bedeutung) eingetragen werden																					
Sofern keine Einschätzung gegeben werden kann, dann eine "Null" (0) eintragen																					
Bitte bis 9. Mai via email senden an: nicole.wettstein@satw.ch																					

Abbildung 7: Evaluierungsergebnis der «Schweiz – Relevanz» Bewertung durch die Begleitgruppe im Nachgang zum SATW-Food 4.0 Workshop vom 29.04.2021 (Nachevaluation, Ergebnis vom 9. Mai)

## **4 Priorisierte Emerging Technology Domains (ETDs)**

### **4.1 Zusammenfassende Beschreibung der ausgewählten ETDs**

#### **ETD-1: Proteintechnologie und Pflanzen-/Milch Hybridprodukt Engineering**

Ein stärker ausgeprägtes pflanzenbasiertes Ernährungsmuster der Zukunft wird nicht nur einen Nutzen für die öffentliche Gesundheit bei reduzierten Kosten des Gesundheitssystems ermöglichen, sondern auch einen Einfluss auf die Verbesserung der ökologischen Nachhaltigkeit haben. Hülsenfrüchte (z.B. Erbse, Ackerbohne) bieten Entwicklungsmöglichkeiten mit insbesondere Schweiz-relevanten Aussichten hinsichtlich wirtschaftlichem und gesellschaftlichem Nutzen. Neben die gesamte Wertschöpfungskette einbeziehenden Technologieinnovationen für protein- und faserreiche Nahrungsmittel auf pflanzlicher Basis, welche den Hauptteil dieser ETD-1 ausmachen (vegane Ernährung), besteht für die Schweiz auch die Chance, zusätzlich innovative Technologien für «Pflanzen-Milch-Hybride» und daraus abgeleitete Nahrungsmittel mit gekoppelten Funktionalitäten prominent zu entwickeln. Dieser Entwicklungsbereich umfasst ebenso das gesamte Ernährungssystem von der Primärproduktion bis zur ernährungsbedingten Konsumentengesundheit. In diesem Rahmen bieten sich als weitere besondere Schweiz-spezifische Optionen an, zum einen die Zuckerindustrie zumindest teilweise zu einer Pflanzenprotein-Aufbereitungsindustrie umzubauen und zum anderen das synergistische Potential im Zusammenwirken von Pflanzen- und Milchproteinen für innovative Produktlinien mit sensorischen und nutritiven Vorteilen sowie verbesserter Nachhaltigkeit zu explorieren. Jüngste technologische Entwicklungen mit «Schweizer Vorsprung» welchen im vorab beschriebenen Entwicklungsbereich weiteres Innovationspotential beigemessen wird, betreffen neuartige Extrusions- und 3D-Printverfahren mit Patentrechten in Händen Schweizer Firmen und Hochschulen.

#### **ETD-2: Digitale Transformation des Ernährungssystems**

Lebensmittelproduktionssysteme umfassen Rohstoffe, Prozesse und Infrastrukturen, die Primärproduktion, Industrie, Handel, Transport, Distribution und Konsum von Lebensmitteln miteinander verbinden. Ferner sind klare Zusammenhänge zwischen Lebensmittelqualität und Funktionalität mit Gesundheit und Wohlbefinden gegeben. Auf globaler Ebene besteht die Herausforderung, die Weltbevölkerung langfristig mit ausreichend und gesunden Lebensmitteln versorgen zu können. Im Einsatz modernster digitaler Technologien für «Big Data» Management für Vernetzungs- und Automatisierungslösungen unter Einbezug der Bereiche Sensorik, Robotik, Künstliche Intelligenz als auch Blockchain Technologie, liegt

die Chance der Entwicklung integrierter Lebensmittel-Wertschöpfungsketten mit gesteigerter Effizienz und Nachhaltigkeit im Sinne einer bio-ökonomischen Kreislaufwirtschaft und der Berücksichtigung deutlich verbesserter Konsumenten-Zentrität. Abfall-, Energie- sowie Treibhausgas- (THG) Reduktion und einhergehende Verbesserung aller «Footprints» sind damit in Aussicht gestellt. Mit einher geht eine weitgehende Verbesserung der Datenbasis sowie des Informationsflusses für Bewertungen von Lebensmittelqualität (sensorisch und nutritiv / gesund), Sicherheit, Nachhaltigkeit und Rückverfolgbarkeit insbesondere auch aus Konsumentensicht.

### **ETD-3: Präzisionsbiotechnologie / Biotransformation**

Kontinuierliche und robuste Lebensmittelfermentation unter «extremen» industriellen Produktionsbedingungen (z. B. Temperatur, Druck, pH, Salz-, Alkoholgehalt) für eine beschleunigte Fermentationskinetik, damit verbundene höhere Produktivität und kürzere Verarbeitungszeiten (erhöhte Raum-Zeit-Ausbeute) sowie Selektivität können durch den Einsatz neuer Enzyme bzw. Enzym-Kombinationen erzielt werden. Diese könnten aus Mikroorganismen bereitgestellt werden, die es schaffen, unter extremen Bedingungen wie hohen oder niedrigen Temperaturen, hoher Salzkonzentration oder niedrigem pH-Wert zu überleben. Die aussergewöhnliche Biotransformationsfähigkeit von Enzymen, die von solchen Mikroorganismen produziert werden, bietet neue Möglichkeiten für die Lebensmittelbiotechnologie und daraus gewonnene Lebensmittel. In der ETD-3 kommt die moderne gentechnologische Toolbox (CRISP-R, Gene-Editing etc.) zum Tragen. Somit sind auch Aspekte der Folgen-/Risiko-Abschätzung und Verbraucherakzeptanz, die in enger Beziehung zueinanderstehen, zu adressieren.

### **ETD-4: Sanitärtechnologien und hygienisches Design**

Die Lebensmittelwertschöpfungskette spielt eine entscheidende Rolle beim Schutz der öffentlichen Gesundheit, denn deren Infrastruktur gilt als «kritisch», wie insbesondere intensiv im Kontext zur Covid-19 Pandemiesituation diskutiert. Infolgedessen sind Konzepte zur Verbesserung des hygienischen Designs und der Herstellungspraktiken sowie Möglichkeiten zur Generierung der besten antibakteriellen / antiviralen Technologien (z.B. hinsichtlich Oberflächenbeschichtungen, Dichtungsmaterialien, Pasteurisations-/Sterilisations-/Aseptik-Technologie Lösungen) von gesteigerter Relevanz. In diesem Kontext sind auch grundlegende antivirale Schutzkomponenten für feste Oberflächen (1) antivirale Polymere, (2)

Einbau von Metallionen/-oxiden und (3) funktionelle Nanopartikel wieder prominent ins Rampenlicht gerückt worden, welche (z.B. (3)) auch der weitergehenden bzw. zu aktualisierenden kritischen Abwägung bedürfen.

Da beispielsweise aus Nachhaltigkeitsgründen bestimmte Lebensmittel eher nicht gekühlt, sondern unter Raumklimabedingungen gelagert werden sollen, für diese ferner präferiert biologisch abbaubare Verpackungsmaterialien avisiert werden und gleichzeitig eine relevante Mindesthaltbarkeit gewährleistet werden soll, bedeutet dies besondere Anforderungen an die Hygienestandards von Equipment, Prozessen und Produktionsabläufen grossen Aufwand hinsichtlich Verbesserung/Optimierung der hygienischen Rahmenbedingungen. Hieraus resultieren erweiterte Anforderungen an das Hygienische Design für Fabriken, Apparate und Verpackungen sowie für einzusetzenden Sanitärtechnologien.

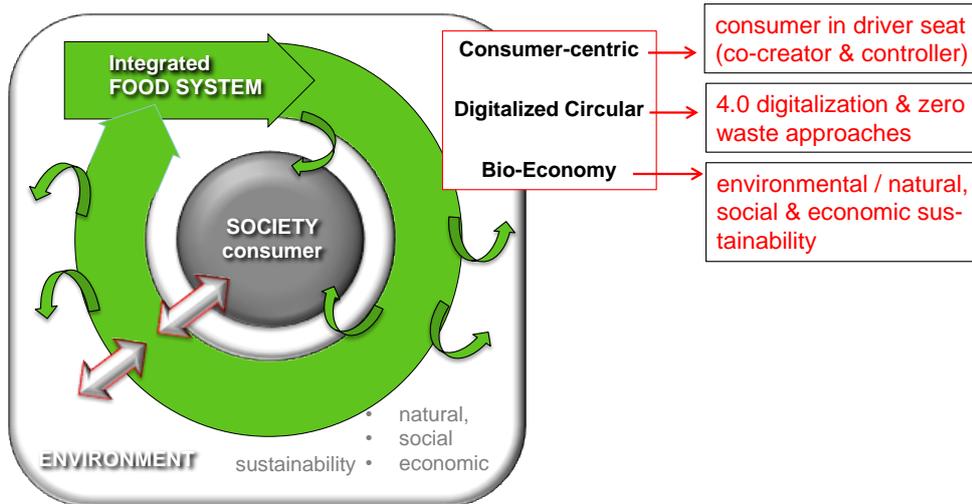
## **4.2 Ergänzungen zu ETDs (Bezugnahme auf Kapitel 3.3)**

### *4.2.1 Konsumenten-Zentrität (a)*

Alle behandelten ETDs sind als sich über mehr oder weniger weit entlang einer Lebensmittel-Wertschöpfungskette erstreckende technologisch orientierte Komponenten zu verstehen. Die Wertschöpfungsketten sind gemäss avisiertem Food 4.0 Ansatz wie in Abbildung 8 dargestellt Teile eines (i) Konsumentenzentrischen, (ii) digitalisierten, (iii) zirkularen und (iv) bio-ökonomischen Ernährungssystems (Consumercentric, digitalized, circular bio-economic food system). Die Aspekte (i-iv) beschreiben die massgeblichen Attribute der dem Projekt Food 4.0 hinterlegten Zieldefinition (s. Target Knowledge; Abbildung 5), für das Ernährungssystem, welches den Projektrahmen bildet. In diesem soll das Projekt Food4.0 konkrete technologische Handlungsfelder in Form von «Emerging Technology Bereichen» (ETDs) identifizieren (s. Transformation Knowledge; Abbildung 5), welche unter Berücksichtigung der Zieldefinition für das System konkrete Ansatzpunkte zur Aufnahme abgestimmter Forschungsaktivitäten initiieren lassen.

### *4.2.2 Einbindung des Landwirtschaftssektors und von Züchtungstechnologien (b,c)*

Der Landwirtschaftssektor ist prominenter Bestandteil des den Food 4.0 Projektrahmen festlegenden Ernährungssystems und somit vollends integriert. Damit sind auch alle Freiheiten gegeben, um z.B. Züchtungstechnologien (inkl. Gentechnologie / CRISPR) in die ausgewählten ETDs einfließen zu lassen (z.B. für die Proteinoptimierung in ETD-1).



**Abbildung 8:** Beschreibung der kennzeichnenden Eigenschaften für das der Initiative Food 4.0 unterlegte Ernährungssystem (Food System), für welches Emerging Technologie Bereiche (ETDs) als Handlungsfelder für R&D Ansätze zu identifizieren waren.

#### 4.2.3 Verstärkter Einbezug gesellschaftlicher Trends (d)

Auch für gesellschaftliche Trendentwicklungen ist im Rahmen der identifizierten ETDs Raum zur Adressierung geboten. Der Flexitarier-Megatrend ist z.B. ein massgeblicher Wirtschaftsfaktor im Kontext zum ETD-1 (Pflanzenprotein basierte Lebensmittel / Fleischanaloga).

#### 4.2.4 Berücksichtigung der Akzeptanz-Zeitschiene für neue Technologien (e)

Das Projekt Food 4.0 ist als Basis-Initialisierungsprojekt zu verstehen, welches vor dem Hintergrund der vorab beschriebenen, zu entwickelnden Eigenschaften des (Schweizer) Ernährungssystems konkrete R&D Handlungsbereiche in Form von ETDs identifiziert und priorisiert. Dies soll weitere Projektaktivitäten auf der Zeitskala 2030 nach sich ziehen und somit hinreichend Zeit zur Akzeptanzbildung seitens Anwendern und Konsumenten einräumen.

#### 4.2.5 Gesellschaftliche Betrachtungen (f)

Im Zusammenhang mit ETD-2 sind auch Aspekte wie Monopolisierung der Lieferketten, Food Waste, die Entwicklung des Anteils der Nahrungsmittel am Haushaltsbudget sowie gesellschaftliche Zusammenhänge zu berücksichtigen.

## 5 Schlussfolgerungen und weitere Schritte

Die in allen Evaluierungsschritten in der Spitzenposition bestätigte ETD-1: «Protein technology and plant / dairy hybrid product engineering» ist prädestiniert, für ein zu konkretisierendes Schweizer Forschungsprogramm berücksichtigt zu werden. Den Rahmen für ein solches könnte das «Innosuisse Flagship» Programm liefern, sofern die zum Ende 2021 erwartete Ausschreibung des nächsten Innosuisse Call für Flagship Projekte, das Ernährungssystem mit einbeziehen lässt.

Für ein solches Forschungsprogramm kann darüber hinaus erwogen werden auch die auf Rang 2 platzierte ETD-2 «Digital Transformation of the Food System» zumindest teilweise mit einzubeziehen. Dieser Thematik wird ein synergistischer Effekt im Zusammenspiel mit der ETD-1 zugeschrieben, insofern die Digitalisierung einer Wertschöpfungskette einen ausgeprägt integrierenden und damit den systemischen Ansatz der Hauptthematik (ETD-1) unterstützenden Charakter erwarten liesse.

Der Miteinbezug von ETD-3 und ETD-4 in ein Innosuisse Flagship kann ebenfalls erwogen werden, sofern für ein solches Flagship Projekt vorgesehene integrierte Sub-Projekte diese ETDs zielführend integrieren lassen.

Verbindungen der ETD-1 bis ETD-4 zu den weiteren in Tabelle 3 gelisteten Technologiebereichen, welche gemäss der ETD Präferenzensetzung im Food 4.0 Workshop die Ränge 5-9 eingenommen haben soll ebenfalls ein erhöhter Stellenwert eingeräumt bleiben.

Die Weiterführung der SATW/a+ Initiative «Food 4.0» sieht als nächsten Projektschritt vor, auf Basis der identifizierten vier ETDs eine Serie von Initialisierungsprojekten im Zeitrahmen Ende August bis Oktober 2021 auszuschreiben und diese ab Frühjahr 2022 mit Fördermitteln seitens der SATW zu unterstützen.

Derartige Initialprojekte werden mit einer Laufzeit von ca. 6-15 Monaten (mit evtl. Verlängerungsmöglichkeiten) und Start einer ersten Projektcharge im Frühjahr 2022 gut platziert werden können, um Vorarbeiten und Machbarkeitsstudien zu adressieren, welche z.B. in ein Innosuisse Flagship Projekt oder auch in reguläre Innosuisse Projekte einmünden, und innerhalb solcher detailliert weiterverfolgt werden können.

Zürich, den 08. September 2021

Prof. Dr.-Ing. Erich J. Windhab

## Zitierte Literatur – SATW Projektstudie Food 4.0

### A. Hintergrund / Rahmenbedingungen

- /1/ UN Sustainable Development Goals: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>
- /2/ FAO-Sustainable Food Systems, Concept and framework. <http://www.fao.org/3/ca2079en/CA2079EN.pdf>
- /3/ World Food Programme. Covid19 Level 3 emergency; External Situation report. [https://docs.wfp.org/api/documents/bb06a3493e85496587739785abfe5b28/download/?\\_ga=2.58019433.2144455157.1613691655.1437313209.1613691655&\\_gac=1.215447781.1613692638.Cj0KCQiAvbiBBhD-ARIsAGM48bzPQwmkQ4Ty9S3q3CM70CAEe9PHcmtZeJ-ltlPnrPwm9zoH54Ts9SEaAv-CPEALw\\_wcB](https://docs.wfp.org/api/documents/bb06a3493e85496587739785abfe5b28/download/?_ga=2.58019433.2144455157.1613691655.1437313209.1613691655&_gac=1.215447781.1613692638.Cj0KCQiAvbiBBhD-ARIsAGM48bzPQwmkQ4Ty9S3q3CM70CAEe9PHcmtZeJ-ltlPnrPwm9zoH54Ts9SEaAv-CPEALw_wcB)
- /4/ Willett, W., Rockström, J., Loken, B., *et al.* (2019). Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet*, 393: 447- 492.
- /5/ Kirova, M., Montanari, F., Ferreira, I., Pesce, M., Albuquerque, J.D., Montfort, C., Neiryck, R., Moroni, J., Traon, D., Perrin, M., Echarri, J., Arcos Pujades, A., Lopez Montesinos, E., Pelayo, E., (2019). Research for AGRI Committee – Megatrends in the agri-food sector, European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels.
- /6/ Lebensmittel-Industrie Trend Perspektive (s. rechts oben) /6/: <https://foodindustryexecutive.com/2018/12/6-mega-trends-from-the-2019-food-trend-predictions/>
- /7/ [https://restaurant.org/Downloads/PDFs/Research/Whats\\_Hot\\_2020.pdf](https://restaurant.org/Downloads/PDFs/Research/Whats_Hot_2020.pdf)
- /8/ E. Windhab *et al.* (2020); SATW TPF Lebensmitteltechnologie (Interner Bericht)
- /9/ Carbon and water footprints of diet choices. Animal Charity Evaluators: <https://animalcharityevaluators.org/research/dietary-impacts/carbon-and-water-footprints-of-diet-choices/#conclusion>
- /10/ Stagnari, F., Maggio, A., Galieni, A., *et al.* (2017). Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview; *Chem. Biol. Technol. Agric.* 4, 2. <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0085-1>
- /11/ Charles, R., *et al.* (2008). Which grain legumes for cropping in Switzerland; July 2008; *Agrarforschung* 40(1), 17 – 23.
- /12/ Mudryj, A.N., Yu, N., Aukema, H.M. (2014). Nutritional and health benefits of pulses. *Appl Physiol Nutr Metab* 39(11), 1197 – 204. doi: 10.1139/apnm-2013-0557 Epub 2014 Jun 13. PMID: 25061763.
- /13/ Chen C. *et al.* (2019); *Nutrients* 2019, 11, 856
- /14/ EIT-Food: <https://www.eitfood.eu>
- /15/ Healthy Nutrition and Sustainable Food Production" (NRP 69); <http://www.nfp69.ch/en>

## **B. Emerging Technologies** (spezifisch; Zusatz-Nummerierung gemäss Abbildung 6)

### *1. HP extrusion micro-foaming of plant protein-based food / bioplastics*

/16/ Mitra B.; Stirnemann E.; Weinberger M.; Windhab E. (2020); Method for the production of protein-containing foods; Int. Patent Application WO2021/032866 A1

### *2. Gas Hydrate Technology (foaming and extraction)*

/17/ Šedivá, Z. (2019); Gas Hydrates as a Functional Foaming Agent for Viscous Food Matrices; ETH-Diss. Nr. 25820 (Food Process Engineering; E. Windhab); doi.org/10.3929/ethz-b-000352862

### *3. Expanded bed protein extraction/separation*

/18/ Ping Li et al (2015); Proteins Separation and Purification by Expanded Bed Adsorption and Simulated Moving Bed Technology, in Continuous Processing in Pharmaceutical Manufacturing, First Edition. Edited by Ganapathy Subramanian; Wiley-VCH Verlag 2015

### *4. Bio fortification / functionalization*

/19/ C. Bellia et al. (2021), Assessment of Several Approaches to Biofortified Products: A Literature Review; Appl. Syst. Innov. 2021, 4, 30. <https://doi.org/10.3390/asi4020030>

### *5. Multi-jet powder fusion & functionalization of instant food products*

/20/ S. Morales-Planas (2018); Multi Jet Fusion PA12 Manufacturing Parameters for Watertightness, Strength and Tolerances; Materials (Basel) 2018 Aug; 11(8): 1472. Published online 2018 Aug 18. doi: 10.3390/ma11081472

### *6. Protein-cellulose bioplastics*

/21/ H. Chen et al. (2019); Application of Protein-Based Films and Coatings for Food Packaging: A Review Polymers 2019, 11, 2039; doi:10.3390/polym11122039

/22/ R.-L. Wu et al (2009); Cellulose/Soy Protein Isolate Blend Films Prepared via Room-Temperature Ionic Liquid; *Ind. Eng. Chem. Res.* 2009, 48, 7132–7136

### *7. Precision Biotechnology*

/23/ M.A. Steinwand, P.C. Ronald; Crop biotechnology and the future of food Nature Food | VOL 1 | May 2020 | 273–283 | [www.nature.com/natfood](http://www.nature.com/natfood)

### *8. Green grain & sprout technology*

/24/ P. Benincasa (2019); Sprouted Grains: A Comprehensive Review; *Nutrients* 2019, 11, 421; doi:10.3390/nu11020421

### *9. Autonomous shared mobility (people/food/meals/waste) (3)*

/25/ <https://www.just-food.com/features/what-is-the-future-of-autonomous-delivery-in-food/>

### *10. PEF-assisted fermentation, cell culture & extraction (6)*

/26/ L. Galván-D'Alessandro, R.A. Carciochi (2017); Fermentation Assisted by Pulsed Electric Field and Ultrasound: A Review; *Fermentation* 2018, 4, 1; doi:10.3390/fermentation4010001

### *11. Multi-functional membrane + spray encapsulation (5)*

/27/ M.B. Zimmermann, E.J. Windhab (2010); Encapsulation of Iron and Other Micronutrients for Food Fortification in book: N.J. Zuidam, V.A. Nedovic´ (Editors): Encapsulation Technologies for

Active Food Ingredients and Food Processing; ISBN 978-1-4419-1007-3 e-ISBN 978-1-4419-1008-0  
DOI 10.1007/978-1-4419-1008-0; Springer New York Dordrecht Heidelberg London

*12. Solid state MW/RW-assisted continuous heat treatment (2)*

/28/ S.T. Dinani et al. (2021); Effect of heating by solid-state microwave technology at fixed frequencies or by frequency sweep loops on heating profiles in model food samples; *Food and Bioprocess Technology* 12 (2) 328–337

/29/ Chaofan Guo et al. (2019); New Development in Radio Frequency Heating for Fresh Food Processing: a Review; *Food Engineering Reviews* (2019) 11:29–43 <https://doi.org/10.1007/s12393-018-9184-z> Springer Science+Business Media

*13. High pressure + CO<sub>2</sub> + min. thermal + flow processing (3)*

/30/ Yu, T., Niu, L. & Iwahashi, H. (2020); High-Pressure Carbon Dioxide Used for Pasteurization in Food Industry. *Food Eng Rev* 12, 364–380 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09240-14>.

*14. Cellulose & Lignin engineering*

/31/ P. Ganguly et al. (2020); Valorization of food waste: Extraction of cellulose, lignin and their application in energy use and water treatment; *Fuel* 280 (2020) 118581

/32/ Tanja Wüstenberg (2012); *Cellulose and Cellulose Derivatives in the Food Industry*, 2015 Wiley-VCH Verlag; Print ISBN: 978-3-527-33758-3

/33/ G. Fotie (2020); Manufacturing of Food Packaging Based On Nanocellulose: Current Advances and Challenges; *Nanomaterials* 2020, 10, 1726; doi:10.3390/nano10091726

/34/ P. Cazon, M. Vazquez (2021); Bacterial cellulose as a biodegradable food packaging material: A review; *Food Hydrocolloids* 113 (2021) 106530 Available online 10 December 2020 0268-005X/© 2020 Elsevier

*15. UV-light processing*

/35/ Li, X., Farid, M., A Review on Recent Development in Non-Conventional Food Sterilization Technologies, *Journal of Food Engineering* (2016), doi: 10.1016/j.jfoodeng.2016.02.026.

*16. Biotransformation*

/36/ L. Ray, D. Bera (2015); *Biotransformation in Food Processing; Conventional and Advanced Food Processing Technologies*, First Edition; Edited by Suvendu Bhattacharya; John Wiley & Sons, Ltd

*17. Ozone processing*

/37/ Zeynep B. et al. (2004); Use of ozone in the food industry; *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 37 (2004) 453–460

*18. Power Ultrasound treatment*

/38/ S. Kentish, H. Feng (2014); Ultrasound in Food Processing *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 2014. 5:263–84; article's doi: 10.1146/annurev-food-030212-182537

*19. e-beam irradiation*

/39/ E.-J. Lee et al (2017); Effects of approved dose of e-beam irradiation on microbiological and physicochemical qualities of dried laver products and detection of their irradiation status; *Food Sci Biotechnol* (2018) 27(1):233–240 <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0194-z>

#### 20. High speed / multiscale 3D-printing

/40/ A.Derossi et al. (2020); Extending the 3D food printing tests at high speed. Material deposition and effect of non-printing movements on the final quality of printed structures; *Journal of Food Engineering* 275 (2020) 109865

/41/ Windhab, E., Selbmann, K.-H., Denkel, Ch. (2020); Verfahren zur flexiblen 3D-Druck-technischen Herstellung; Pat. Application; DE 10 2020 000 571 A1

#### 21. Microwave pasteurization / sterilization

/42/ J.D. Reverte-Ors (2017); A Novel Technique for Sterilization Using a Power Self-Regulated Single-Mode Microwave Cavity; *Sensors* 2017, 17, 1309; doi:10.3390/s17061309

#### 22. Cold plasma technology

/43/ D. Adamoli Laroque et al. (2021); Cold plasma in food processing: Design, mechanisms, and application; *Journal of Food Engineering* 312 (2022) 110748

#### 23. Plant protein technology

/44/ L. Sha, Y.L. Xiong (2020); Plant protein-based alternatives of reconstructed meat: Science, technology, and challenges, *Trends in Food Science & Technology*, Volume 102, 2020, Pages 51-61, ISSN 0924-2244, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.022>.

/45/ Martín P. Caporgno et al (2020); Extruded meat analogues based on yellow, heterotrophically cultivated *Auxenochlorella protothecoides* microalgae; *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 59 (2020) 102275

#### 24. Ohmic heating technology

/46/ Alkanan, Z. et al (2021); Ohmic Heating in the Food Industry: Developments in Concepts and Applications during 2013–2020; *Applied Sciences* 11(6):2507; DOI:10.3390/app11062507

#### 25. New in-vitro testing methods

/47/ R. Lucas-González et al. (2018); In vitro digestion models suitable for foods: Opportunities for new fields of application and challenges; *Food Research International* 107 (2018) 423–436

#### 26. Alternative protein sources

/48/ B. Sawicka et al. (2020); Alternative and New Protein Sources, in *Functional Foods and Nutraceuticals*; Ch. Egbuna, G. Dable-Tupas Eds .; ISBN 978-3-030-42318-6 ISBN 978-3-030-42319-3 (eBook); <https://doi.org/10.1007/978-3-030-42319-3>; Springer Nature Switzerland AG 2020

#### 27. Hygienic design

/49/ EHEDG (European Hygienic Engineering & Design Group) Guidelines; Version 2020/08.G04

#### 28. Personalized nutrition

/50/ J. de Toro-Martín (2017); Precision Nutrition: A Review of Personalized Nutritional Approaches for the Prevention and Management of Metabolic Syndrome; *Nutrients* 2017, 9, 913; doi:10.3390/nu9080913

/51/ A. A. Kolodziejczyk, D. Zheng, E. Elinav (2018); Diet-microbiota interactions and personalized nutrition; *Nature Reviews | Microbiology*; Volume 17 | december 2019 | 743

#### 29. Precision agriculture

/52/ B A Aubert, A. Schroeder, J Grimaudo (2012); IT as enabler of sustainable farming: an empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology; published by Elsevier in *Decision Support Systems* in Dec 2012, available online: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2012.07.002>

/53/ D.Shannon, D. E. Clay, N. R. Kitchen (2020); *Precision Agriculture Basics*, 1st Edition, ISBN-13: 978-0891183662; Publisher : ACSESS; 1st edition (January 22, 2020)

### 30. 3D-Organoids

/54/ E. Garreta et al. (2020); Rethinking organoid technology through bioengineering; NATuRE MATERIALS | VOL 20 | FEBRUARY 2021 | 145–155 |

### 31. High pressure pasteurization/sterilization

/55/ H. Mújica-Paz et al. (2011); High-Pressure Processing Technologies for the Pasteurization and Sterilization of Foods; Food Bioprocess Technol (2011) 4:969–985 DOI 10.1007/s11947-011-0543-5

### 32. Algae and insects processing

/56/ M. L. Wells et al (2017); Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding; J Appl Phycol (2017) 29:949–982 DOI 10.1007/s10811-016-0974-5

/57/ MacKenzie Wade, Jeffrey Hoelle (2020); A review of edible insect industrialization: scales of production and implications for sustainability *Environ. Res. Lett.* **15** 123013

### 33. Osmotic dehydration

/58/ A. K. Yadav, S. V. Singh (2014); Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review; J Food Sci Technol (September 2014) 51(9):1654–1673; DOI 10.1007/s13197-012-0659-2

### 34. Cellular agriculture

/59/ T. Ben-Arye, S. Levenberg (2019); Tissue Engineering for Clean Meat Production; Front. Sustain. Food Syst., 18 June 2019 | <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00046>

### 35. Virtual reality

/60/ C. Xu et al (2021); The application of virtual reality in food consumer behavior research: A systematic review; Trends in Food Science & Technology 116 (2021) 533–544

### 36. Augmented / mixed reality

/61/ K. McMillan, K. Flood, R. Glaeser (2017); Virtual reality, augmented reality, mixed reality, and the marine conservation movement; Aquatic Conserv: Mar Freshw Ecosyst. 2017;27(S1):162–168; John Wiley & Sons, Ltd.; DOI: 10.1002/aqc.2820

### 37. Additive manufacturing

/62/ L. Bravi, F. Murmura (2021); Additive Manufacturing in the Food Sector: A Literature Review; Macromol. Symp. 2021, 395, 2000199

/63/ J. I. Lipton et al (2015), Additiv manufacturing for the food industry, *Trends in Food Science & Technology* 43 (2015) 114e123

### 38. Digital transformation of the food system

/64/ A. Lajoie-O'Malley et al. (2020); The future(s) of digital agriculture and sustainable food systems: An analysis of high-level policy documents; Ecosystem Services 45 (2020) 101183

/65/ M. C. Annosi et al (2021); Digitalization within food supply chains to prevent food waste. Drivers, barriers and collaboration practices; Industrial Marketing Management 93 (2021) 208–220

/66/ M. Demartini et al. (2018); Food industry digitalization: from challenges and trends to opportunities and solutions; IFAC PapersOnLine 51-11 (2018) 1371–1378

### 39. Sanitation technologies

/67/ F. Fung et al. (2018); Food safety in the 21st century; *Biomedical Journal*; Volume 41, Issue 2, April 2018, Pages 88-95

/68/ A. Pedreira et al (2021); A Critical Review of Disinfection Processes to Control SARS-CoV-2 Transmission in the Food Industry; Foods 2021, 10, 283. <https://doi.org/10.3390/foods10020283>

*40. Hydroponic/aeroponic farming*

/69/ B.M. Eldridge et al (2020); Getting to the roots of aeroponic indoor farming; *New Phytologist* (2020) 228: 1183–1192

*41. Lab-cultivated meat*

/70/ X. Guan et al (2021); Trends and ideas in technology, regulation and public acceptance of cultured meat; *Future Foods* 3 (2021) 100032

*42. Sustainable food production*

/71/ F. C. McKenzie, J. Williams (2015); Sustainable food production: constraints, challenges and choices by 2050; *Food Sec.* (2015) 7:221–233; DOI 10.1007/s12571-015-0441-1

*43. Dairy/plant hybrid protein processing*

/72/ A. Cangani Alves, G. M. Tavares (2019); Mixing animal and plant proteins: Is this a way to improve protein technofunctionalities?; *Food Hydrocolloids*; Volume 97, December 2019, 105171

**C. Emerging Food Technologies** (übergreifend)

D.-W. Sun (2014); *Emerging Technologies for Food Processing*; Academic Press, 2nd Edition; Elsevier Ltd.; ISBN: 978-0-12-411479-1

C. Jermann et al.(2015); Mapping trends in novel and emerging food processing technologies around the world; *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 31 (2015) 14–27

L. Moreno-Vilet (2018); Current status of emerging food processing technologies in Latin America: Novel thermal processing; *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 50 (2018) 196–206

## **APPENDIX:**

Im Rahmen des SATW – Food 4.0 Workshop vom 30.4.2021 gegebene Informationen zu den neun vorselektierten «Emerging Technology Domains (ETDs)»

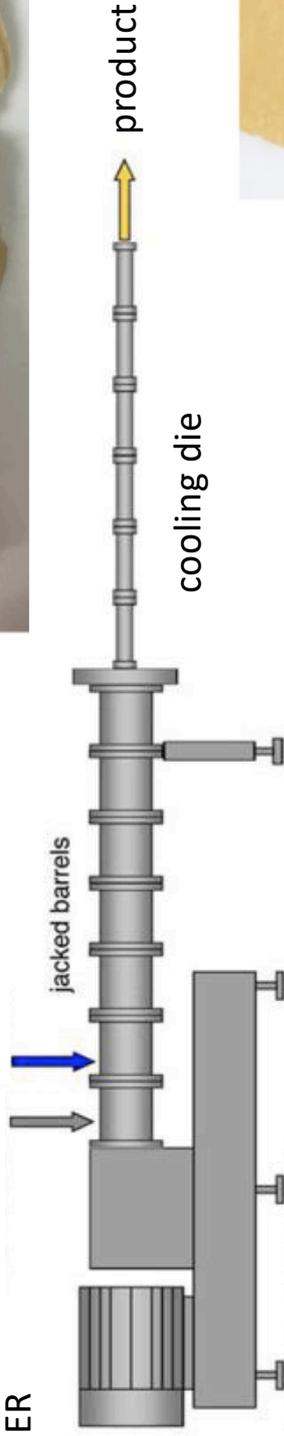
Texturizing  
Vegetable  
Protein TVP

40-50 %  
powder  
(protein 50-60%  
+ fiber) water

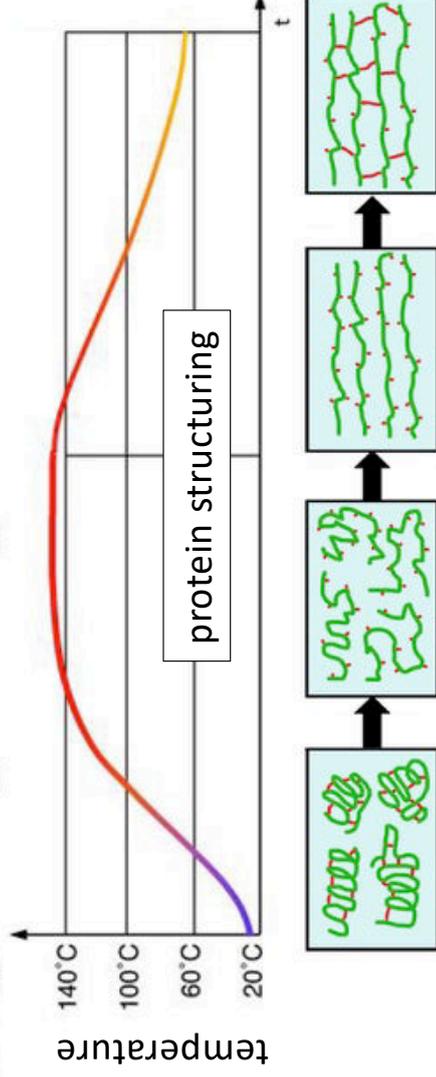
EXTRUDER



pea, lentil,  
rapeseed,  
sunflower  
protein



fibrillar protein structure

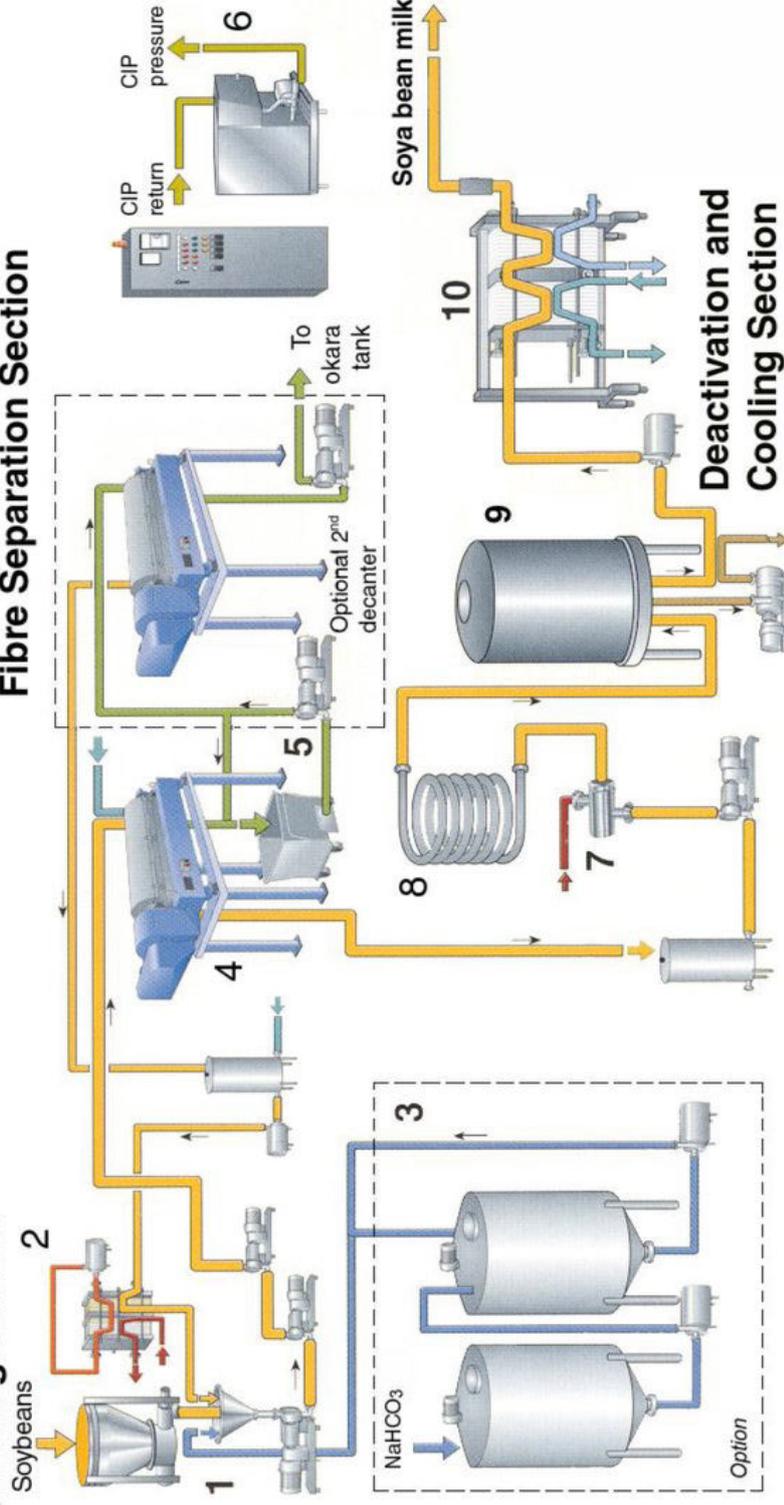


36% pea isolate  
7% pea fiber



50% sunflower conc.

### Grinding Section



Tetra Alwin®  
Soy process line  
of Tetra Pak;

- █ Soy
- █ Okara
- █ Steam
- █ Hot water
- █ Cooling water
- █ Ice water
- █ Vacuum
- █ NaHCO<sub>3</sub>
- █ CIP solution

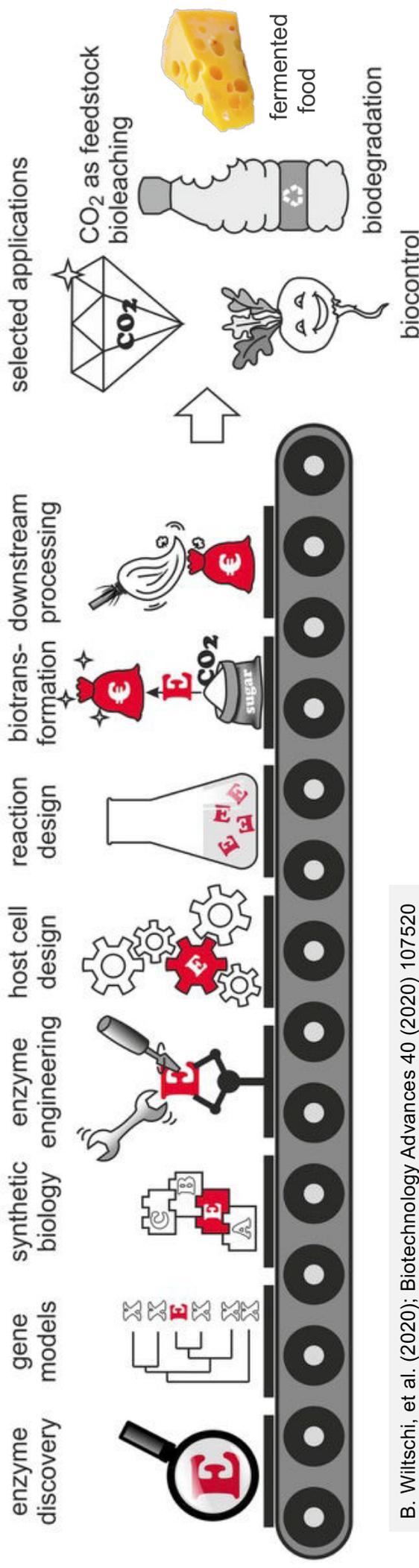
### Tetra Alwin® Soy process:

An example of a commercially available process for the continuous production of soybase directly from soybeans.

Numbers of the unit operations are: 1) Grinding of soybeans by mills; 2) heating of water; 3) pH adjustment to 8 and increase of ionic strength by addition of sodium carbonate (optional); 4) separation by use of a decanter; 5) double decanting (optional); 6) CIP unit, cleaning in place; 7) steam injection to increase temperature to 121°C or higher; 8) spiral to increase holding time; 9) flashing into a deodorisation tank under reduced pressure; 10) cooling unit to cool to 5°C.

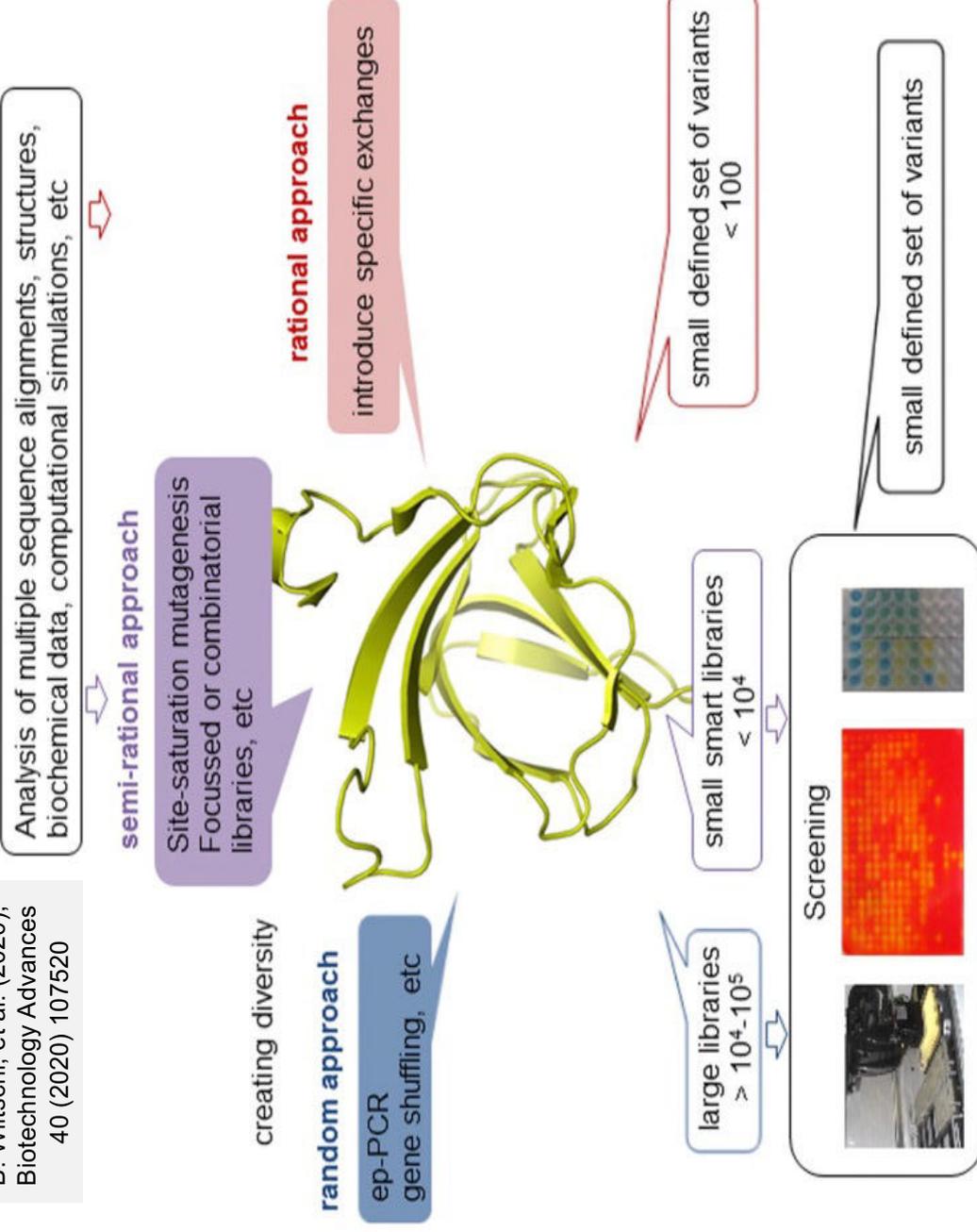
Continuous and **robust food fermentation** under "extreme" industrial production conditions (e.g. temperature, pressure, pH, salt, alcohol content) for accelerated fermentation kinetics, related increased productivity and shorter processing times (boosted space time yields) can be supported by the use of **new enzymes**.

Such are e.g. provided from microorganisms that manage to survive under extreme conditions, such as high or low temperatures, high salt concentration or low pH-value. The exceptional biotransformation capability of enzyme produced by such microorganisms offers opportunities for food biotechnology and derived food products.





B. Wiltschi, et al. (2020);  
Biotechnology Advances  
40 (2020) 107520



## Protein / Enzyme Engineering

Enzymes can be engineered to introduce novel functionalities and to match process demands. Among targeted properties are:

- improved activity,
- high space-time-yield,
- substrate scope,
- stability (pH, thermal, solvents, high substrate and product conc., shelf life)
- selectivity,
- improved expression levels,
- creation of non-natural activities.

Therefore, different strategies for enzyme engineering are applied (Fig. left), which can be classified in random and rational approaches, but in most cases a combination of both is employed (semirational).

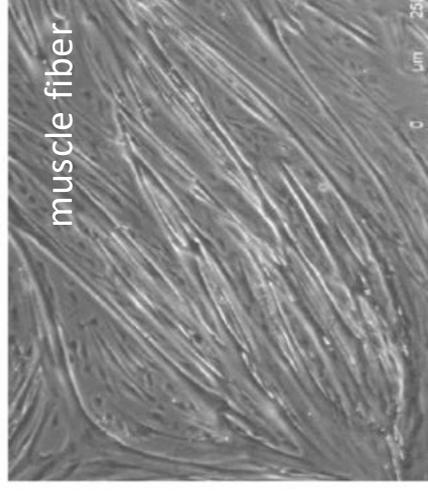
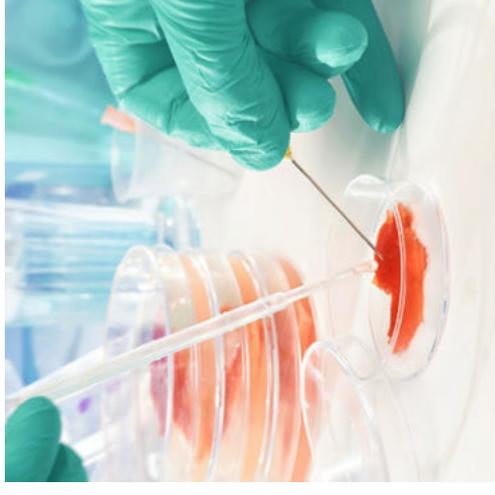
**Cellular agriculture** allows the use of cells from animal or plant origin to be cultured from (stem) cells in a bioreactor rather than harvested from livestock on a farm.

Cellular Agriculture can be divided in two main groups:

- (a) Cells producing ingredients and/or molecules (acellular products), and
- (b) Whole cells as product or ingredient (cellular products).

It is announced to be a revolutionary, technology that presents opportunities to improve **animal welfare**, **enhance human health**, and **decrease the environmental footprint of meat production**.

However, it is not without **challenges** because the technology largely replaces biological systems with chemical and mechanical ones, thus also having a potential to increase industrial energy consumption and, consequently, greenhouse gas emissions.



# Cultivated meat in a nutshell

## Plant Cultivation

Start with a small cutting from a plant.



## Meat Cultivation

Start with a small sample of cells from an animal.



Place sample in a nutrient-rich environment that allows it to grow.



Place sample in a nutrient-rich environment that allows it to grow.



Enjoy your vegetable.  
Bon appétit!



Enjoy your meat.  
Bon appétit!

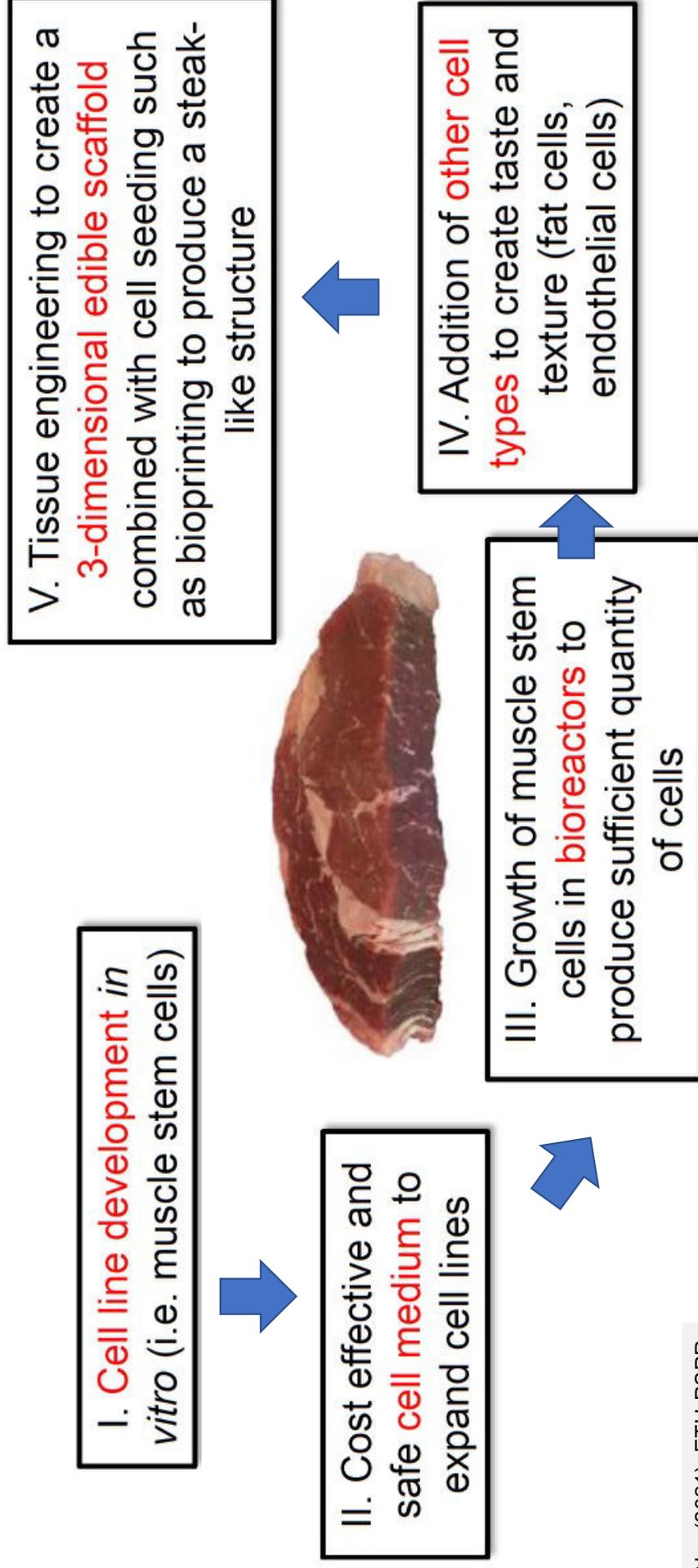


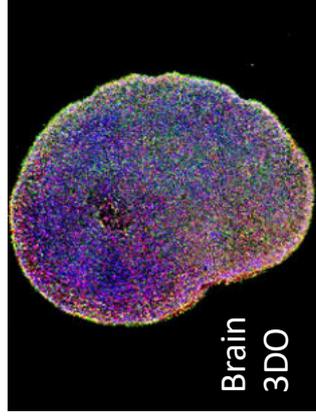
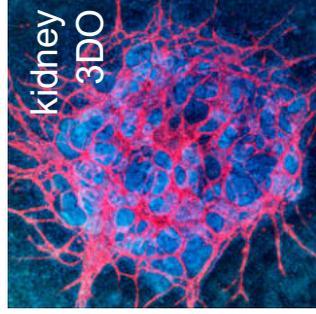
“Cultivated meat” denotes a method to produce meat directly from cells. It is also known as **cultured meat**, **lab-grown meat**, or **cell-based meat**



Source: GFI blog. “Cultivated Meat: Why GFI is Embracing New Language.” September 13, 2019.

## Critical steps necessary to produce cultivated meat





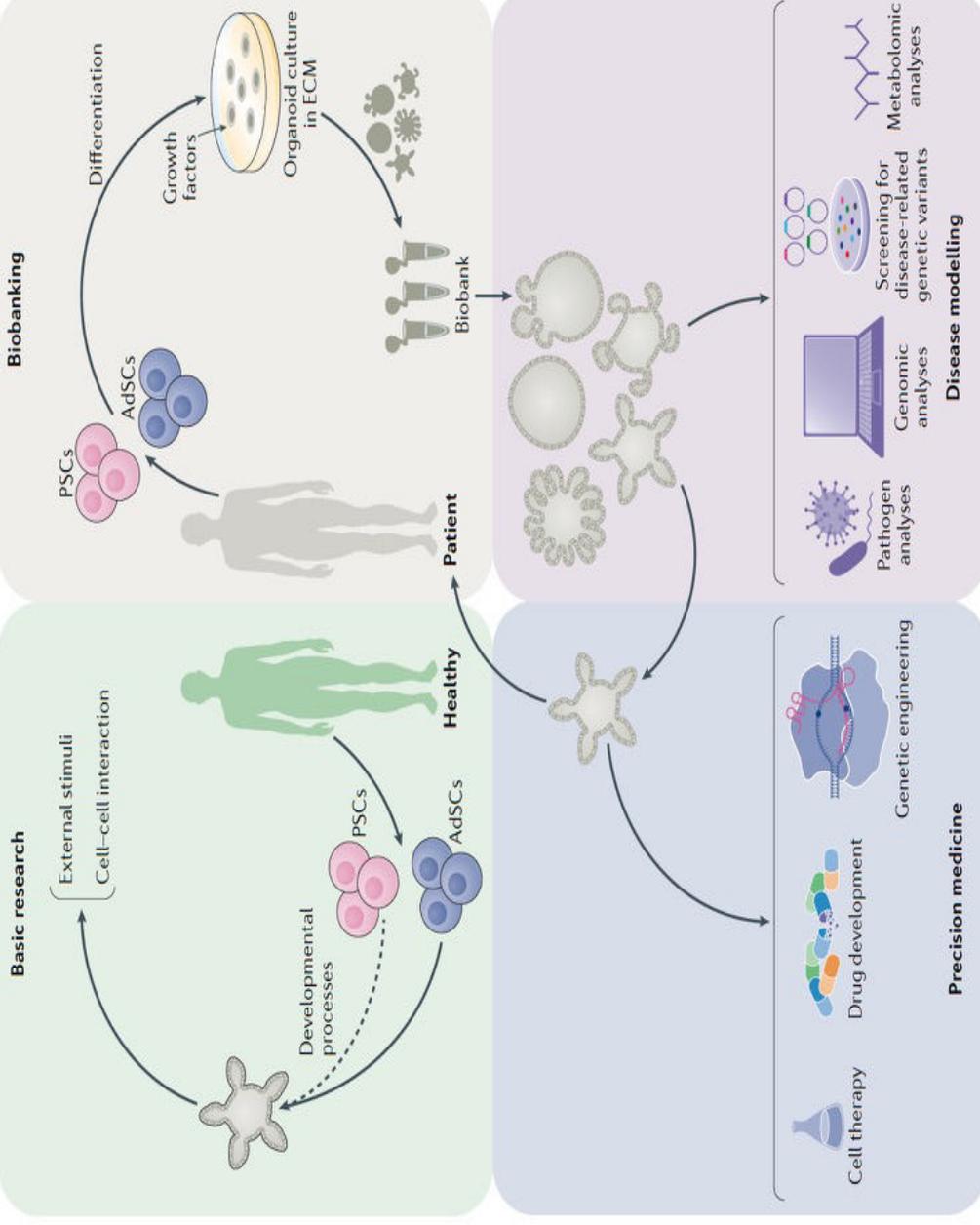
	ADSC-derived	PSC-derived	Cancer biobank	Disease modelling
Brain		✓	✓	✓
Optic cup/retina		✓		
Salivary gland	✓	✓		
Thyroid		✓		✓
Lung	✓	✓	✓	✓
Blood vessel		✓		✓
Mammary gland	✓	✓	✓	✓
Liver	✓	✓	✓	✓
Kidney	✓	✓	✓	✓
Pancreas	✓	✓	✓	✓
Stomach	✓	✓	✓	✓
Intestine	✓	✓	✓	✓
Fallopian tube, endometrium	✓	✓	✓	✓
Bladder, prostate	✓		✓	✓

**Organoids** are *in-vitro* derived 3D cell aggregates from primary tissue or stem cells that are capable of self-renewal, self-organization and exhibit organ functionality.

Organoids address the limitations of existing model systems by providing:

- (i) Similar composition and architecture to primary tissue,
- (ii) Relevant models of *in vivo* conditions and
- (iii) A stable system for extended cultivation.

Thus 3D-organoids are excellent models for different applications from discovery research to **personalized nutrition and medicine**. 3D Organoids are already used in biomedicine to develop drugs for personalized medicine treatments.



Potential applications of human organoids:

Two types of organoids are widely used, derived from either pluripotent stem cells (PSCs) or adult stem cells (AdSCs). Organoids can be used for:

(1) **basic research**, including studies of human biology aiming to understand developmental processes, responses to external stimuli and stress signals, cell-to-cell interactions and mechanisms of stem cell homeostasis;

(2) **biobanking**, whereby samples obtained from patients can be used to generate patient-derived organoids and stored as a resource for future research;

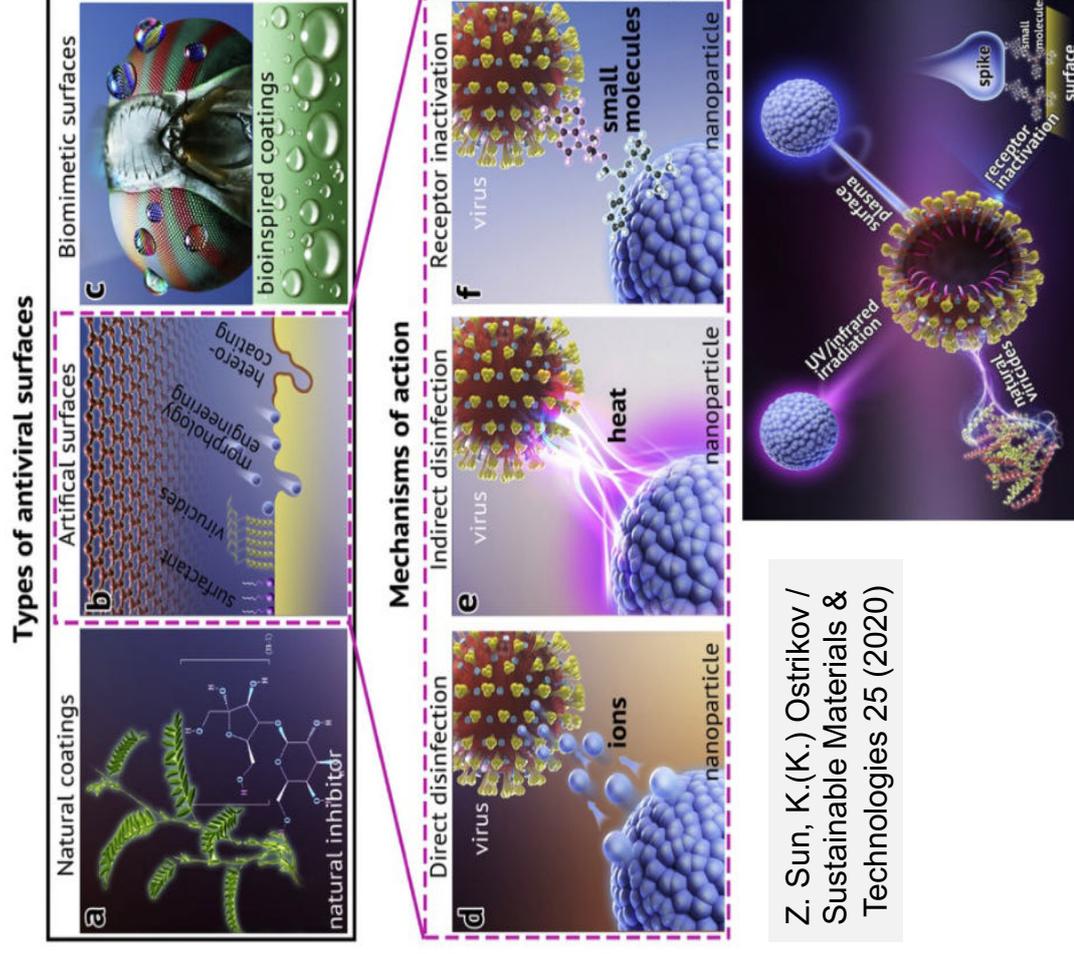
(3) **disease modelling**, to understand the mechanisms of human diseases such as infectious diseases, inheritable genetic disorders and cancer using various laboratory techniques, including omics and drug-screening analyses; and

(4) **precision medicine**, in which patient-derived organoids can be used to predict response to drugs and as resources for regenerative medicine coupled with genetic engineering.

Food retailers play a critical role in protecting public health, especially during the COVID-19 pan-demic. The food supply chain is considered as “critical infrastructure”. As a consequence, concepts on **how to improve hygienic design and manufacturing practices** as well as possibilities for generating best antiviral surface coatings have popped up. As basic antiviral protection components for solid surfaces:

- (1) antiviral polymers,
- (2) incorporation of metal ions / oxides
- (3) functional nanoparticles are known (e.g. Ag<sup>+</sup>, excitonic effect: heat, light, free radicals, free charges, plasmons (LSPR), photothermal heat, redox reactions)
- (4) Superhydrophobic coatings

What seems to be overlooked in the ongoing “Covid-19 Discussion”, is that before this pandemic had entered into our daily challenge, nanoparticle aspects were also critically reflected with respect to their cell membrane penetration potential and their related **nanotoxicity**.



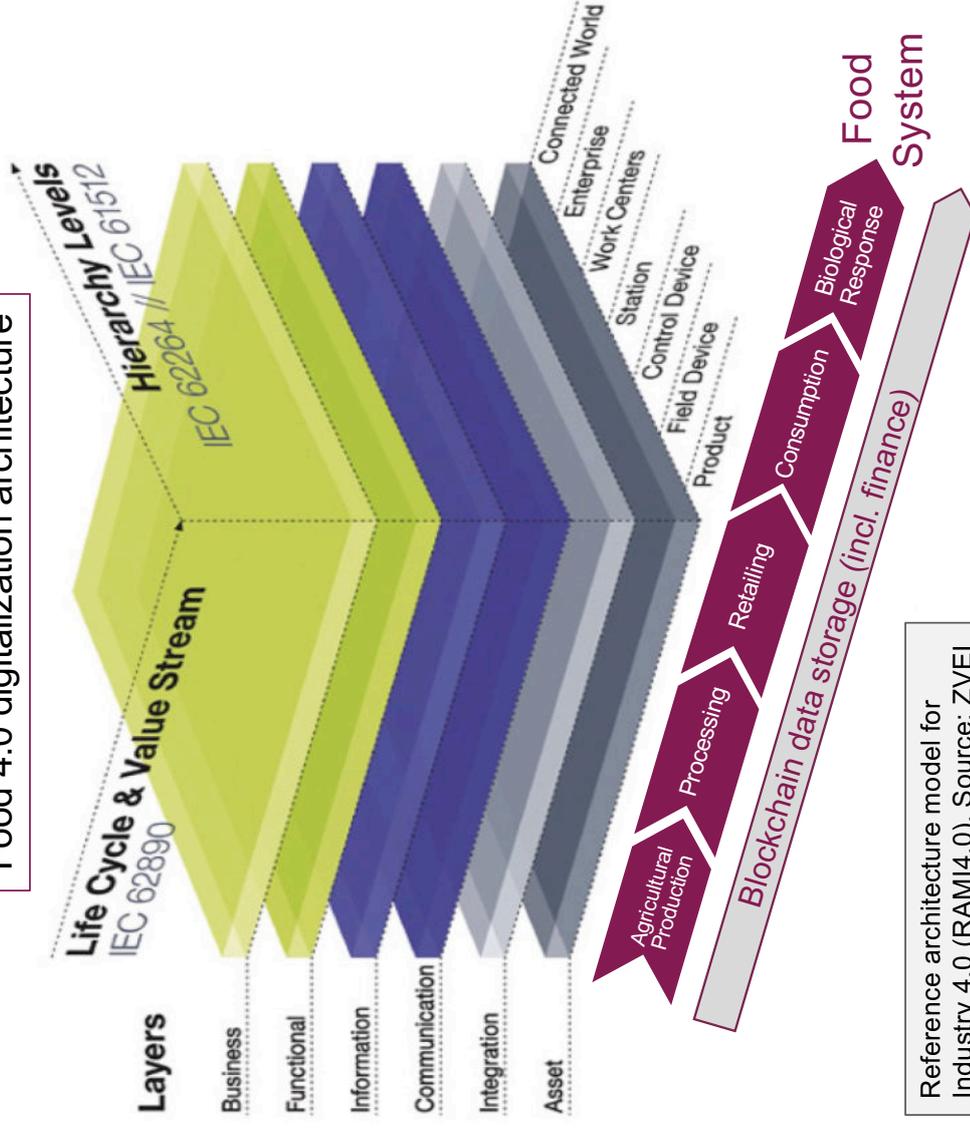
Z. Sun, K.(K.) Ostrikov / Sustainable Materials & Technologies 25 (2020)

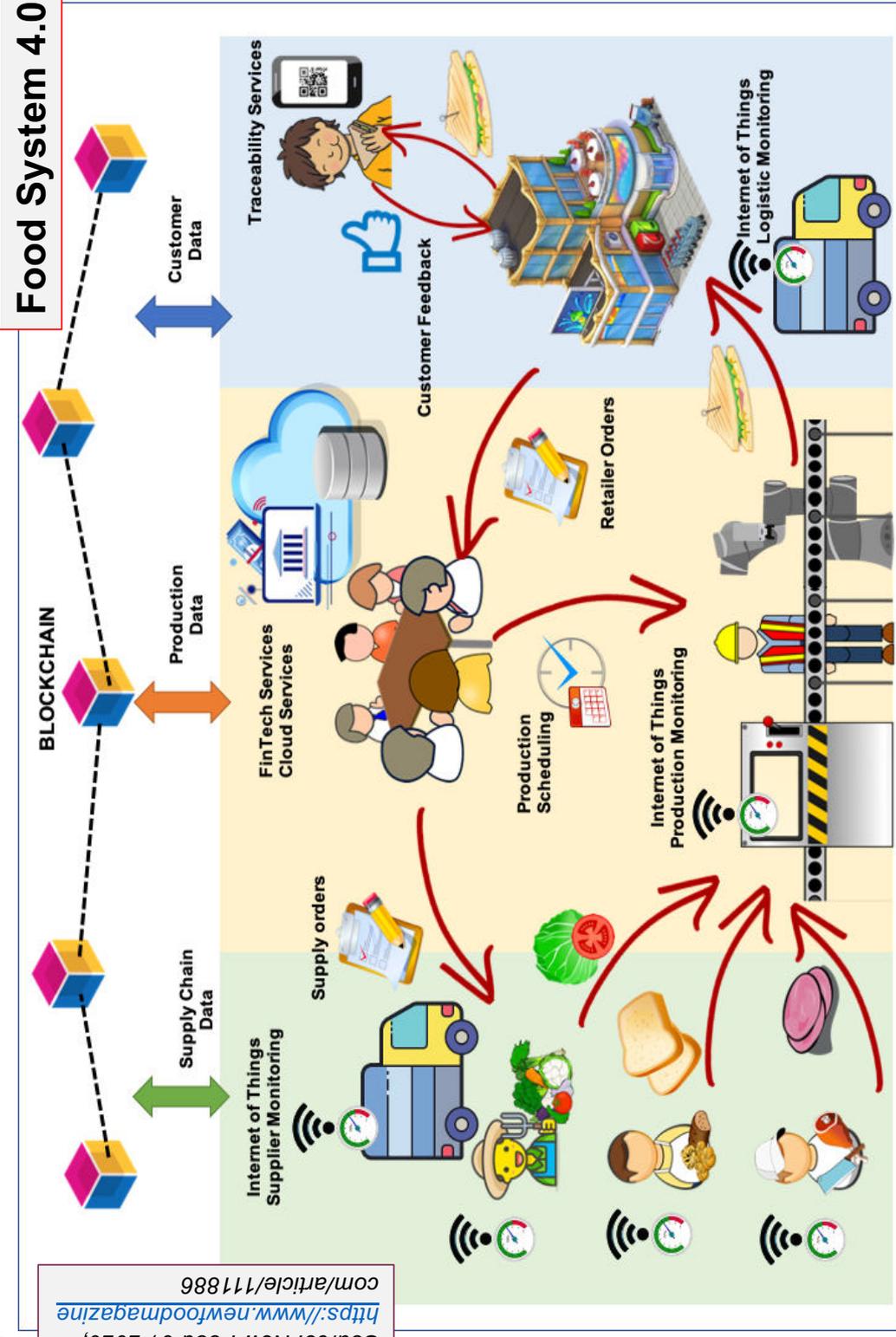
The **Food System** involves raw materials, processes and infrastructures that are associated with **primary production, industry, trade, retail, transport and consumption of food** and there are clear connections between our food and our **health**.

While we are facing a challenge to provide the global population with food, there is much to gain by integrating the usage of cutting-edge digital competence and **digital tools in order to increase the efficiency of food value chains** e.g. by waste and energy reduction and at the same time largely improving the data base for gaining the fullscale systemic benefits concerning food **(1) quality, (2) safety, (3) sustainability and (4) traceability**.

A large proportion of the literature on the digitalization of the agri-food system **still focuses on the digitalization of farming**. Other parts of the agri-food system like food processing, trade, transportation or retail and consumption have received less attention. This needs a better balance if the possible systemic benefits concerning (1) – (4) shall be provided.

### Food 4.0 digitalization architecture





Source: New Food 6 / 2020; <https://www.newfoodmagazine.com/article/111886>

## Food System 4.0

### Key digital products:

- Genome-edited seeds
- Precision agriculture equipment
- Farm robotics
- Digital machine sharing platforms
- Data-based agronomy advice
- Farm management platforms
- Digital marketplaces (com. trade)
- Biotech/Biotransform database
- Collaborative process robotics
- 3D Food printing
- Multiscale food extrusion
- In-line sensing (quality)
- Smart packaging
- Bioplastics 3D printing
- Quality sensors & Analytics
- Digital freight management
- Digital transport logistics
- Automated warehouse
- Smart shopping / consumer
- E-commerce platforms
- **Entire value chain analysis** (quality, safety, sustainability, traceability) => blockchain

AGRO

PROCESSING

RETAIL

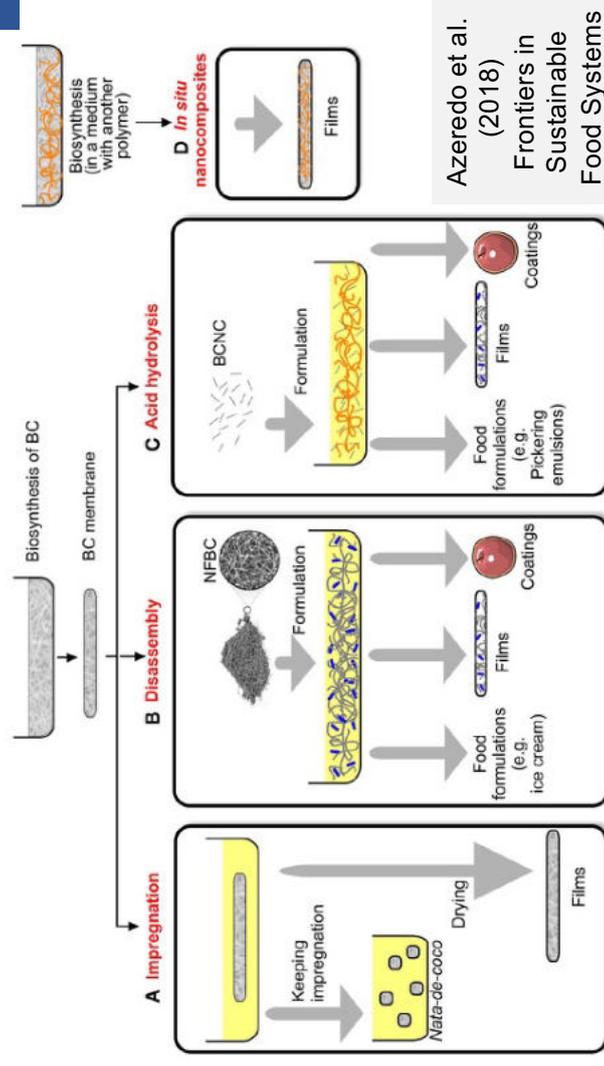
CON.

**Cellulose** and its chemical/physico-chemical modifications offer new applications in food packaging materials as well as for food products with enhanced mechanical, optical, barrier and bulking properties.

Colloidal microcrystalline (**fibrillated**) **cellulose** from plant / wood or bacterial sources are known to be well applicable to food systems (i) to be sterilized, because it is very heat stable and (ii) as a low caloric bulking agent or fat substitute.

The newest format of **Cellulose Nanocrystals (CNCs)** has excellent physical and chemical properties and is considered as novel food ingredient as well as a biodegradable packaging material with big potential for use in food industry.

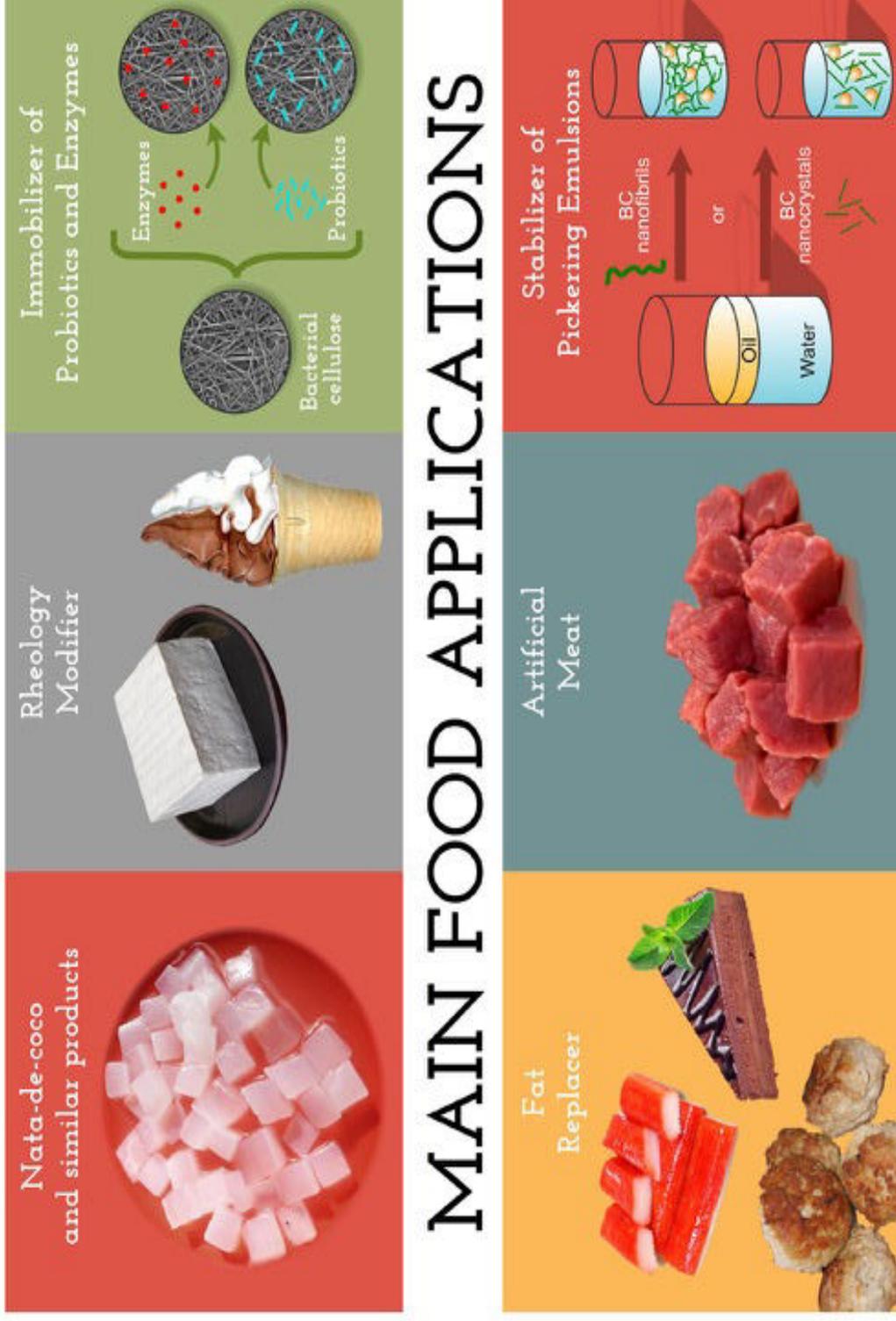
**Bacterial cellulose (BC)** has been produced for a number of applications, mainly focused on the biomedical area. Although there is a variety of interesting applications of BC for food and food packaging, only a few have been explored to the moment, since the high cost of BC production is usually considered as a limiting factor. On the other hand, several cost-effective culture media have been proposed, contributing to reduce BC production costs.



Azeredo et al.  
(2018)  
Frontiers in  
Sustainable  
Food Systems



Processing  
of bacterial  
cellulose



The challenge for **High-throughput 3D-Printing** is the combination of **high speed and spatial resolution**.

Novel approaches like:

- (1) Synchronized Multi-Scale 3D-Printing (SYMUS-3DP)
- (2) Multi-Jet Fusion powder 3D-Printing (MJF-P3DP)

offer spatially accurate 3D-printability of larger multiscale structured (food) objects by coupled **synchronous printing and assembling of objects on different length scales** (macro / meso / micro) thus enabling enhanced production throughput rates compared to so far introduced "fast prototyping" methodologies.

Advanced potential is seen for **physiology guided spatial 3D placement/entrapment of food components with sensory /nutritionally functionalizing** characteristics, e.g. for **personalized food** development, cell culturing and in tissue engineering.



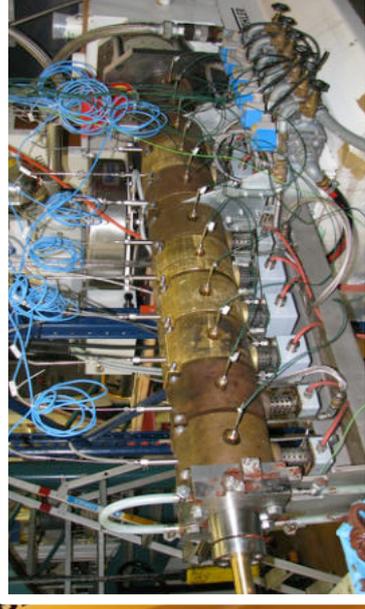
WP2: Pilot Macro/Meso/Micro - 3D-Print-Setup



WP2: Micro-scale 3D-Printer



WP2: Macro-Extrusion Printer



E. Windhab et al. (2020); SNF-Bridge (ETH-FPE)

**Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR)** as well as the combination of both, denoted as **Mixed Reality (MR)** make persons become part of a virtual or mixed virtual/real world in which objects can be manipulated and actions performed. - Major food related applications are seen in:

- (i) food manufacturing and optimization support,
- (ii) sensory, acceptance and convenience evaluation of products,
- (iii) virtualizations of operational management processes and for
- (iv) factory design including architecture and process engineering
- (v) education (consumer eating behavior)

In the context of food system digitalization there is huge synergetic potential seen by VR, AR and MR.



<https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2019/01/14/5-important-augmented-and-virtual-reality-trends-for-2019-everyone-should-read/?sh=6798217c22e7>