



# NEW DEAL IN PRODUCTION

# Inhaltsverzeichnis

- 04 Vorwort
- 06 Neue Herausforderungen – “NEW DEAL”
- 18 Produktionssysteme
- 26 Produkte
- 36 Werkstoffe
- 52 Ziele
- 54 Thematische Schwerpunkte
- 56 Maßnahmen

## Herausgeber

ÖWGP Österreichische Wissenschaftliche Gesellschaft  
für Produktionstechnik  
Karlsplatz 13  
1040 Wien, Österreich

## Editorial Board

Univ.-Prof. DI Dr. Friedrich Bleicher  
Univ.-Prof. Dr. Alois Ferscha  
Univ.-Prof. DI Dr. Franz Haas  
Univ.-Prof. DI Dr. Clemens Holzer  
Univ.-Prof.<sup>in</sup> Dr.<sup>in</sup> Gabriele Kotsis  
Univ.-Prof. DI Dr. Christian Ramsauer  
Univ.-Prof. DI Dr. Ing. Ralf Schledjewski  
Univ.-Prof. Dr. Ing. Sebastian Schlund  
Univ.-Prof. DI Dr. Christof Sommitsch  
Univ.-Prof. DI Dr. Martin Stockinger  
Univ.-Prof. Dipl.Phys. Dr. Ing. Andreas Otto  
Univ.-Prof. DI Dr. Siegfried Vössner  
o. Univ.-Prof. DI Dr. Klaus Zeman

## Grafik & Design

Thomas Nordwest

## Kontakt / Vertrieb

Univ.-Prof. Dr. Alois Ferscha  
Johannes Kepler Universität Linz  
Altenberger Straße 69  
4040 Linz, Österreich

[www.oewgp.at](http://www.oewgp.at)

Publikationsdatum: Juli 2021





# Vorwort

## Können Maschinen denken?

“I propose to consider the question ‘Can machines think?’” – mit diesem Satz eröffnet der Brite Alan Turing seinen 1950 in der wissenschaftlichen Fachzeitschrift MIND (Oxford Academic) erschienen Aufsatz “Computing Machinery and Intelligence”. Er hält, auch in Zusammenschau mit seinen sonstigen theoretischen und mathematischen Arbeiten fest, dass aus Speicher und Rechenwerk bestehende instruktionsverarbeitende Maschinen, also Computer und damit auch computergesteuerte Anlagen, in der Lage sind, algorithmische Probleme selbständig zu lösen. Der später mit dem Turing Award ausgezeichnete Amerikaner John McCarthy griff das Thema “Künstliche Intelligenz” 1956 zu einer wissenschaftlichen Fachtagung in Dartmouth auf. In der “ersten Welle” der AI Forschung wurde bis in die achtziger Jahre hinein intelligentes maschinelles Verhalten in Form großer Wenn-dann-Beziehungen (regelbasiert) von Menschen programmiert. In der bis heute währenden “zweiten Welle” lernen Computer aus großen Mengen an Daten und zusammengetragenen Beispielen intelligentes Verhalten. Das Trainieren großer künstlicher neuronaler Netzwerke führte beispielsweise zu AI-Durchbrüchen in der Bilderkennung oder bei Brettspielen wie Schach oder Go.

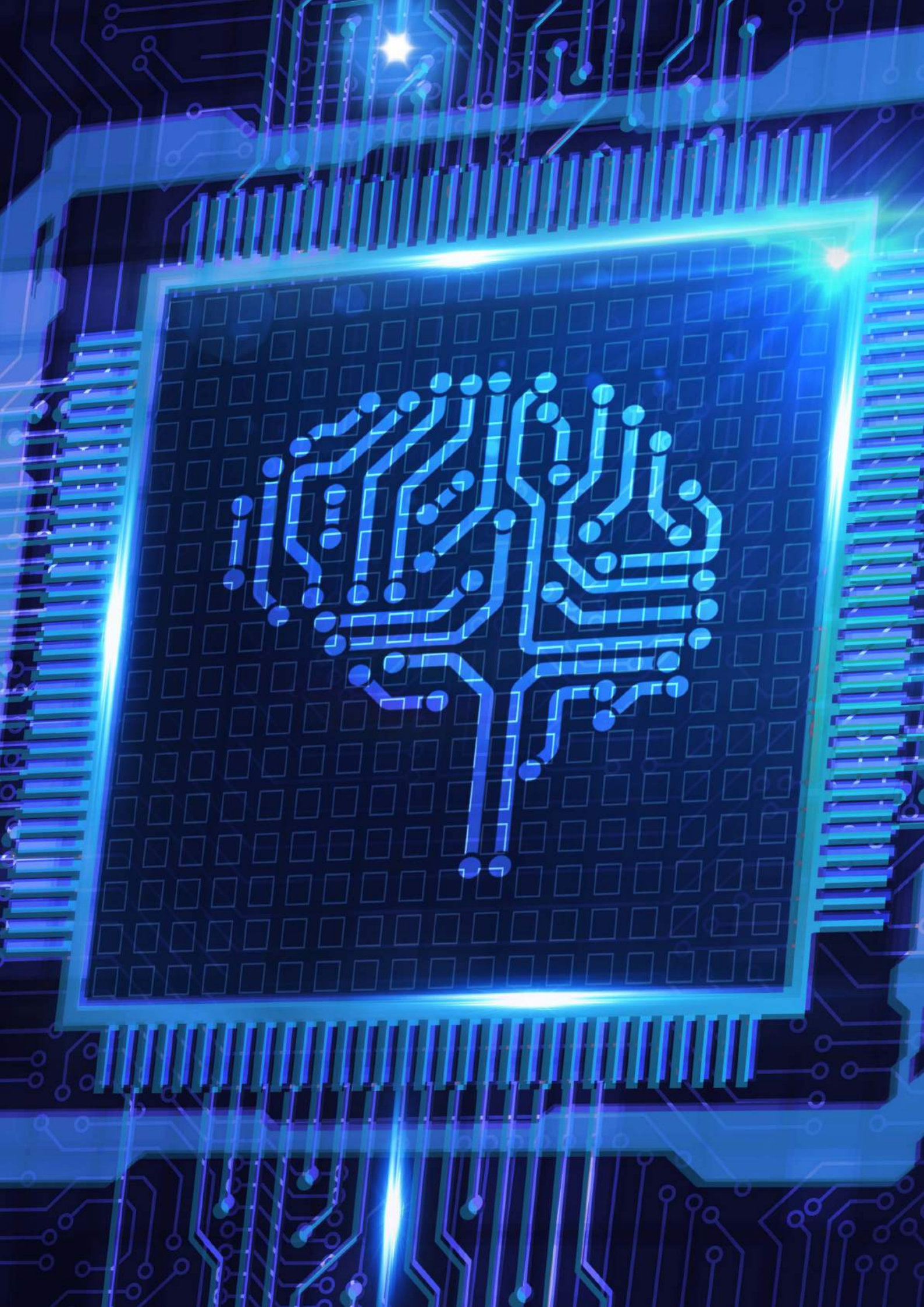
Wir stehen am Beginn einer “dritten Welle” der AI, die getragen und motiviert von den Unzulänglichkeiten trainingsdaten-basierter maschineller Intelligenz hin zu einer logischen Interaktion von Inselintelligenzen führt, um größere Zusammenhänge zu erkennen und zu nutzen – vor allem, wenn diese mit wenigen oder unzuverlässigen Daten arbeiten müssen. Sowohl Produktionssysteme als auch Produkte selbst sind bereits heute zunehmend AI gesteuert und

werden es in Zukunft durchgehend sein. Die Extrapolation dieser Beobachtungen fällt nicht schwer: Produktionssysteme und Produkte der Zukunft werden “denken”. Diese Evolution verlangt allerdings nach einer grundlegend neuen Konstruktionswissenschaft, Produktionstechnik und Produktentwicklung, die weit über die Antworten der vor wenigen Jahren ausgerufenen “industriellen Revolution” hinausgeht.

Die Österreichische Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktion (ÖWGP) ist mit dem Wesen der Transformationen in der wissenschaftlichen Produktions-, Produkt- und Materialforschung – auch im Lichte tagesaktueller, außergewöhnlicher Herausforderungen der Menschheit wie Klimawandel, Pandemie, Kreislaufwirtschaft, Rohstoffverknappung, Strukturwandel in der Arbeitswelt, geopolitische Verschiebungen und Demographie – befasst. Ihre Mitglieder haben sich dem Auftrag der Wissenschaft verschrieben, Antworten auf forschungs-, industrie-, gesellschafts-, umwelt- und sozialpolitische Herausforderungen zu geben. Stimuliert durch aktuelle internationale Industrieforschung und neueste technologische Errungenschaften, gleichzeitig aber auch erschüttert durch COVID-19, CO<sub>2</sub> Krise, Arbeitslosigkeit und Kurzarbeit sowie sinkende Wirtschaftsleistung wachstumsorientierter Nationalökonomien weltweit, hat die ÖWGP einen Katalog an Perspektiven entwickelt: den NEW DEAL. ■

Alois Ferscha  
Präsident





# 1. Neue Herausforderungen — “NEW DEAL”

Sebastian Schlund, Christian Ramsauer, Gabriele Kotsis

**F**ür ein Land wie Österreich, welches weder über einen signifikanten Binnenmarkt noch über große Vorkommen an Bodenschätzen verfügt, ist und bleibt die wichtigste Ressource der motivierte und gut ausgebildete Mensch.

Neben den absehbaren Weiterentwicklungen auf den Gebieten der Produktionstechnologien, der Werkstoffe und Produkte wird die österreichische Sachgüterproduktion gerade in den Jahren 2020 und 2021 mit **fundamental neuen Herausforderungen** konfrontiert. Stand das Jahr 2020 im Zeichen des **pandemiebedingten Abschwungs**, so werden sich 2021 Chancen und Herausforderungen die Waage halten. Trotz aller Hoffnung ist zu erwarten, dass es noch Jahre dauern wird, bis sich die österreichische Volkswirtschaft mit ihren unzähligen Unternehmen aller Größen von den Folgen der aktuellen Ausnahmesituation erholen wird. Neben dem tragischen Verlust von Menschenleben und Gesundheit für viele waren auch die Auswirkungen auf die österreichische Wirtschaft immens.

So wurde über die gesamte Sachgüterindustrie ein Anteil von **25,8% der Produktionsarbeiter\*innen in Kurzarbeit** geschickt. Einige der österreichischen Kernindustrien, wie die Automobilzulieferindustrie mit 56% und die Luftfahrtindustrie mit 88%, nahmen dieses Instrument sogar weit überproportional in Anspruch. Das Minus für das Bruttoinlandsprodukt beträgt für 2020 rund 7%. Die Auswirkungen des zweiten Lockdowns und möglicher künftiger Schließungen spüren vor allem die Arbeitnehmer\*innen durch Jobverlust. Hier heißt

es, **massiv gegenzusteuern**, damit wir unsere Stellung als international wettbewerbsfähiger Produktionsstandort behalten.

Nicht jedes österreichische Unternehmen wurde von der Krise gleich stark betroffen, und die letzten Monate haben eindrucksvoll die Unternehmen bevorteilt, die ohnehin bereits stark auf eine digitale Vernetzung ihrer Engineering- und Geschäftsprozesse gesetzt haben. Allerdings ist zu erwarten, dass nach Auslaufen der staatlichen Unterstützungen mit einer **Insolvenzwelle** gerechnet werden muss.

Aus diesem Grund wird jetzt eine nationale Kraftanstrengung benötigt, um die **Sachgüterindustrie mit ihrem hohen Anteil an der Innovationsleistung** in Österreich in ihrer Position zu stärken und damit **zukunftssichere Arbeitsplätze** zu schaffen.

Neben dieser fundamentalen Aufgabe gilt es, aus den Auswirkungen der Corona-Krise zu lernen. Insbesondere haben die letzten Monate gezeigt, wie anfällig global vernetzte Wertschöpfungsketten sind und zu welchen Konsequenzen die Abhängigkeit von einzelnen Lieferanten führen kann. Eine Überprüfung kritischer Abhängigkeiten und eine Neugestaltung zu resilienten Wertschöpfungsnetzwerken bei Berücksichtigung der Aspekte

25,8 -  
88%

der  
Produktionsarbeiter\*innen der  
österreichischen Industrie  
wurden in Kurzarbeit geschickt.

7%

Minus beträgt das  
Bruttoinlandsprodukt für 2020.



**Nachhaltigkeit und Umweltschonung** wird die österreichische Produktion stärken. Das Ziel dieser Neugestaltung ist die Erhöhung der Resilienz der Wertschöpfungssysteme durch **agile Organisationen und wandlungsfähige Produktionskonzepte**.

Neben diesen Konsequenzen der aktuellen **pandemiebedingten Wirtschaftskrise** wird die österreichische Industrie in den nächsten Jahren aktiv Lösungen für die Umstellung auf eine ressourcenschonendere – in der Zielstellung sogar **ressourcenneutrale Wertschöpfung** – finden müssen. Innovative Lösungen für nachhaltiges Wirtschaften, CO<sub>2</sub>-neutrale Produkte und Produktionsprozesse sowie Ressourcenschonung werden für jedes Industrieunternehmen unabdingbar. Ein Blick auf die europäische und die österreichische politische Agenda und die anstehenden Programme zeigt, dass in den nächsten Jahren immense Anstrengungen unternommen werden, nachhaltige und klimaschonende Prozesse und Projekte zu fördern. So werden im Zeitraum von 2021 bis 2027 über den **European Green Deal** und angrenzende europäische Initiativen allein mehrere hundert Milliarden Euro des EU-Haushalts für klimabezogene Förderprogramme eingesetzt. Gleichzeitig ist – insbesondere im Falle fehlender positiver Ergebnisse – mit für uns teuren Regulierungsmaßnahmen im Bereich der Ressourcennutzung zu rechnen. Für ein Land wie Österreich, welches weder über einen signifikanten Binnenmarkt noch über große Vorkommen an Bodenschätzen verfügt, ist und bleibt die **wichtigste Ressource der motivier-**

**te und gut ausgebildete Mensch**. Eine **Qualifizierungsoffensive**, die Kompetenzen auf den Gebieten der Digitalisierung, der Agilität und des nachhaltigen Wirtschaftens mit den Gegebenheiten und Besonderheiten der industriellen Produktion vereint und Wechselwirkungen dieser Strömungen berücksichtigt, ist eine Grundvoraussetzung, um die offenkundige Kompetenzlücke zu schließen. Nur mit top-ausgebildeten und engagierten Menschen in den Fach- und Führungspositionen der Produktionswirtschaft wird es gelingen, die **langfristigen Folgen der aktuellen Krise zu bewältigen** und die Innovationskraft in der Transformation zu einer digitalisierten und ressourcenschonenden Produktionstechnik umzusetzen. Die daraus abgeleiteten zentralen Maßnahmen einer neuen Strategie der österreichischen Produktion werden im Folgenden ausgeführt. ■

- Schnelle **Erholung der Wirtschaft** mit einer starken industriellen Position als Rückgrat
- Um- bzw. Neugestaltung internationaler Liefernetzwerke im Sinne **resilienter Wertschöpfungssysteme**
- Konsequente Ausrichtung an **nachhaltiger Wertschöpfung**
- Qualifizierungsoffensive für die industrielle Produktion

## 1.1. Schnelle Erholung der Wirtschaft mit einer starken industriellen Position als Rückgrat

Erst in einigen Jahren wird absehbar sein, welchen volkswirtschaftlichen Schaden und welche etwaige Langzeitfolgen die pandemiebedingte Krise für die produzierende Wirtschaft verursacht haben wird. Trotz dieser Unsicherheit ist es notwendig, bereits heute **massive Anstrengungen in den Aufbau einer Post-Corona-Ökonomie** zu stecken. Vor diesem Hintergrund kommt der **Digitalisierung von Produkten, Services und Prozessen** die Rolle eines kritischen Erfolgsfaktors zu. Die Digitalisierung der Produktion ermöglicht **kontextadaptive und individualisierbare Produkte und Prozesse**. **Geschäftsmodelle**, die auf der integrierten **Vernetzung, echtzeitnahen Erfassung von Umgebungsinformationen und Kundenbedarfen** sowie auf der **reaktiven Erfüllung von Kundenanforderungen** basieren, setzen sich in immer mehr Branchen durch. Die Einbeziehung individueller Informationen des Lebens- und Arbeitsumfelds in die Gestaltung von Produkten und Leistungen erlaubt die schnellere, bessere und vor allem direktere Kundenintegration und erzeugt damit höhere Kundenzufriedenheit. Die Vertrauensgrenzen der Datennutzung für die Gestaltung solcher Lösungen verschieben sich mit dem wahrgenommenen Mehrwert der Nutzer\*innen. Technologie und Technologieintegration ermöglichen neue Geschäftsmodelle und damit einen Wettbewerbsvorteil. ■

Österreich benötigt ein **innovationsfreudiges Ökosystem** der beteiligten Partner der produzierenden Industrie, eine Hands-On-Kultur des Experimentierens und Zulassens und einen offenen **Diskurs** zu den Chancen und Risiken neuer Technologien und Geschäftsmodelle. Dazu gehören trotz der aktuellen Situation ein **Klima des Optimismus** sowie **Mut** zum Scheitern, **Fehlertoleranz** und die Bereitschaft, möglichst schnell aus Rückschlägen zu lernen.

Die schnelle Erholung der Wirtschaft bedarf eines außerordentlichen **Schulterschlusses zwischen Industrie, Wissenschaft und Politik** auf gleicher Augenhöhe.

Ausbau des **niederschweligen Förderinstrumentes** "Innovations-Scheck" für Produkte und Prozesse für KMUs.





# otic Arm Performance

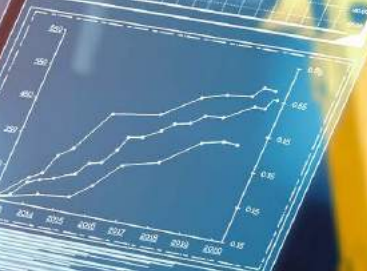
Dashboard components include:

- Bar chart on the left side.
- Central circular gauge displaying **30%**.
- Multiple smaller charts and data tables.
- Decorative icons and progress indicators.

7:R63754 14248791/41343491  
42R413291 5162484 1329X 1.6 4111 153 10X9  
/139111ACDCV HHTY 2121 1424///Z 0FD  
/AVOCLA (1) Z12221 ... 14682R12231



7: DF02R 1210V6069 0VW 213  
7: DVB 210 TLVLL 1LZLDVLL  
7: 16RTVNS4 22 320P 222 20  
7: 136 322CVRY2 322 20  
7: 12CNAPT 2334 13222 222222  
7: 12146 245YXVYNNM 318 RERY  
7: 1240SVBTHNY YYY YR6LL10



## 1.2. Um- bzw. Neugestaltung internationaler Liefernetzwerke im Sinne resilienter Wertschöpfungs-systeme

Die Zukunft der digitalen Produktion in Wertschöpfungsnetzwerken wird geprägt von einem weiteren **Anstieg von Komplexität** und von der **Unsicherheit über zukünftige Entwicklungen**. Vorherrschende Treiber dafür sind die weiter ansteigende **Variantevielfalt** von Produkten und sich stetig **verkürzende Entwicklungs- und Lieferzeiten** ("time to market"). Zusätzlich verstärkt die **globale Durchdringung** verfügbarer Daten und Informationen eine unmittelbare Reaktion auf Änderungen innerhalb von **Wertschöpfungsnetzwerken** und im **globalen Wettbewerb**.

Die globale Dynamik politischer und unternehmerischer Entscheidungen sowie die unmittelbare Reaktionsmöglichkeit des Wettbewerbs der Kunden und involvierten Ökosysteme fordern eine unternehmerische Flexibilität im Sinne einer Ausrichtung an agilen Unternehmensprozessen. Dies erweitert und ersetzt Planungszyklen und unternehmerische Prozesse und eröffnet Unternehmen Gewinnmöglichkeiten durch den zeitlichen Vorsprung schneller Entscheidungen. Durchgängige digitale Modelle von Produkten, Produktionsprozessen und Wertschöpfungsnetzwerken bilden die Grundlage für den **echtzeitfähigen Austausch großer Datenmengen**. **Miniaturisierte** und **verteilte Sensorik**, Möglichkeiten der **sensornahen Datenvorverarbeitung** und die Fusion vielfältiger Sensordaten realisieren **digitale Echtzeitabbilder** und schließen somit die Lücke zwischen dem digitalen Zwilling der Produktentstehung und den Produktionsabläufen und -zuständen im Betrieb.

Die **flächendeckende Versorgung** mit leistungsfähiger 5G-Kommunikationsinfrastruktur ermöglicht kabellos die schnelle Übertragung großer Datenmengen. Im Produktionsbereich werden hierfür Testbereiche und Experimentierumgebungen benötigt, um die erfolgreichsten Anwendungsfälle zu definieren, auszuprobieren und realitätsnah zu bewerten. Neben der Abdeckung von Ballungsräumen stellen Versorgungsgarantien für die Netzabdeckung für Industriestandorte einen wesentlichen Standortvorteil dar.

Strategisch wird es für Produktionsunternehmen notwendig, gleichzeitig rechnergestützt **automatisierte Entscheidungen** zu forcieren und die **Befugnis der Mitarbeiter\*innen** auf allen Ebenen aktiv zu stärken.

Förderung **unternehmensübergreifender Resilienz-Programme** (Lieferantenstrategie, Austauschbarkeit von Werkstoffen und Bauteilen sowie make-or-buy Entscheidungen).

Förderung von Investitionen in Rapid-Prototyping Infrastruktur und Ausbau der Möglichkeiten für Simulation (besonders in KMUs).

**Standards** und **gemeinsam getragene Richtlinien** sind das Rückgrat der Infrastrukturentwicklung. Die österreichische Produktionsforschung treibt die Entwicklung von Standards in den relevanten Gremien voran und unterstützt die heimischen Stakeholder bei einer qualifizierten Einschätzung zukunftsfester Normen und Richtlinien.





Personensicherheit (**Safety**), Datensicherheit (**Security**) und Datenschutz (**Privacy**) und stellen elementare Grundpfeiler der digitalen Produktion in Wertschöpfungsnetzwerken dar. Der Arbeitsschutz von Mitarbeiter\*innen und Unbeteiligten hin zu absolut unfallfreien Produktionsprozessen bleibt ein vorrangiges Ziel. Neue Herausforderungen entstehen aus der zunehmenden Vernetzung von Maschinen und Anlagen sowie dem Ersatz trennender physischer Schutzeinrichtungen durch alternative Monitoringsysteme (optische, infrarot, Ultraschall u.ä.).

Nur durch Maßnahmen zum zuverlässigen und unkorruptiblen Datenaustausch zwischen verteilten Objekten und Akteuren lassen sich bestehende Sicherheitsbedenken abbauen und die Mehrwerte des unternehmensübergreifenden Echtzeitdatenaustausches auch für kleinere Unternehmen real nutzbar machen.

Neben Security und Safety stellt der **Schutz personenbezogener Daten** ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal mitteleuropäischer Industriestandorte dar. Neue technische und organisationale Schutzmaßnahmen für Privacy in Produktionsprozessen werden vermehrt erforderlich. ■

**Pilotprojekte** und geschützte **Experimentierumgebungen** unter **Einbindung der Sozialpartner** bieten die Möglichkeit einer konsensgetragenen und gleichsam zukunfts-fähigen Strategie, in der der Mehrwert der Datennutzung für Unternehmen und Mitarbeiter\*innen die Risiken und Bedenken überwiegt.





### 1.3. Nachhaltige Wertschöpfung

Produktion wird weiterhin untrennbar mit der Transformation von Materialien, Energie, Hilfsstoffen und menschlicher Arbeitskraft in innovative Produkte und Services verbunden sein. Dem **verantwortungsvollen Umgang mit den eingesetzten Ressourcen** kommt dabei eine Schlüsselstellung zu. Material- und energieeffizientes Handeln ist dafür neben einem **ökonomischen Optimierungsparemeter** vor allem eine menschliche Notwendigkeit im Zuge **globaler Aktivitäten** im Umgang mit dem **Klimawandel**. Eine CO<sub>2</sub>-neutrale Produktion ist in diesem Kontext erklärtes Ziel. Die industrielle Produktion in Kreisläufen, Aufarbeitung und Aufbereitung ermöglichen die Rückführung von Produkten in den Stoffkreislauf. ■

Umweltschutz und Produktion dürfen einander nicht ausschließen. Neben **Effizienz-** und **Verzichtszielen** stehen das Streben nach **technologischem Fortschritt** und die Nutzung von **Produktionsinnovation** zur **nachhaltigeren Produktion** im Vordergrund.

Förderung von Maßnahmen zur **Senkung des Energieeinsatzes** in der produzierenden Industrie (Insbesondere Scope 1&2 des Greenhouse-Gas Protocol) sowie **Qualifizierungsmaßnahmen** insbesondere im Bereich Scope 3 um Awareness für nachhaltige Produkte zu schaffen.

## 1.4. Transformation als Chance für Diversität

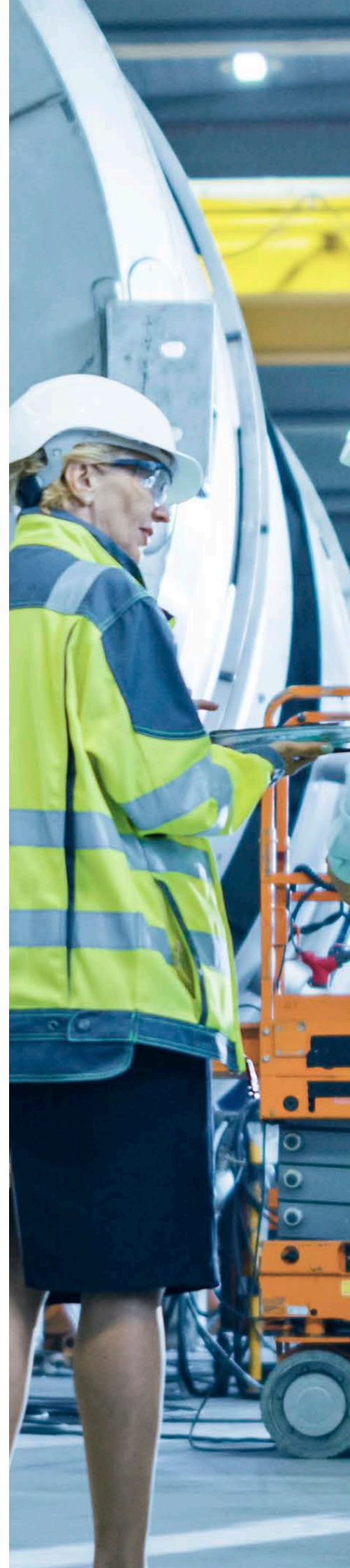
Die **Unterrepräsentanz von Frauen in der Technik** – im Besonderen im deutschsprachigen Raum – ist eine bekannte und oft beklagte Tatsache. Die Ursachen lediglich in einem mangelnden und daher zu fördernden Interesse von Frauen an der Technik zu sehen oder in **veralteten Rollenklischees**, die im Zuge des Wechsels der Generationen aufgebrochen werden, greift allerdings als Lösungsansatz zu kurz. Ein zentrales Problem der industriellen Produktion liegt in den herkömmlichen, inzwischen jedoch nicht mehr zeitgemäßen Strukturen, in denen sich Frauen bisher mit einem schwierigen Arbeitsalltag und vielen **Unvereinbarkeiten von Beruf und Familie** konfrontiert sahen. Entsprechende Anpassungen an diese Arbeitswelten wurden als unabdingbar angesehen, Führungspositionen für Frauen waren unter diesen Rahmenbedingungen kaum zu erreichen. Die produzierende Industrie kann aber nur dann wettbewerbsfähig bleiben, wenn Frauen nicht nur als potentielle Anwenderinnen und Nutzerinnen neuer Produkte gesehen werden, sondern die Produkte und Produktionsprozesse auch selbst mitgestalten und Frauen so zu Technologieschaffenden werden.

Die ÖWGP sieht sich als eine der treibenden Kräfte in der Neugestaltung einer nachhaltigen und wettbewerbsfähigen industriellen Produktion und muss daher auch das Thema der **Diversität** zeitgemäß adressieren. Den angesprochenen Problemfeldern von mangelndem Interesse und veralteten Rollenklischees wird die ÖWGP durch aktive Mitwirkung an bestehenden Programmen und Initiativen (z.B. FiT, dem Girls Day, diversen Angeboten für Schülerinnen oder bei Mentoring- und

Karriereförderprogrammen) entgegenwirken. In direkter Verantwortung der Mitglieder der ÖWGP liegt dabei vor allem die **Zielgruppe der Studierenden**, die mit speziellen Mentoring- und **Karriereprogrammen** unterstützt und gefördert werden sollen.

Eine zweite Schiene von Maßnahmen legt den Fokus auf die im vorliegenden Positionspapier adressierten Ansätze zur Transformation der industriellen Produktion selbst. Es gilt sicherzustellen, dass strukturelle Anpassungen zur Erzielung von mehr Geschlechtergerechtigkeit im speziellen und insgesamt mehr Diversität und Inklusion führen. Ein Umdenken und ein Wandel von der Notwendigkeit der Anpassung von Frauen an bestehende Strukturen und Arbeitswelten hin zu einer Berücksichtigung der Interessen und Perspektiven von Frauen sowie die **Schaffung von Möglichkeiten der aktiven Gestaltung durch Frauen in den anstehenden Transformationen** der Produktionsprozesse sind hierbei die zentralen Forderungen und Anliegen der ÖWGP.

Drittens hat es sich die ÖWGP zum Ziel gesetzt, die **Sichtbarkeit und Partizipation von Frauen in der Forschung** zu erhöhen und damit in ihrem eigenen Wirkungsfeld einer Unterrepräsentanz von Frauen effektiv entgegenzuwirken. Mögliche Maßnahmen beinhalten Tenure-Track-Initiativen, Honorar- und Jungprofessorinnen-Förderprogramme, oder Unterstützung und Richtlinien zur Gewinnung weiblicher Bewerberinnen. Die ÖWGP sieht sich hier als Anlaufstelle sowohl für die Bewerberinnen selbst als auch als Schnittstelle zu (internationalen) Berufungsverfahren oder vergleichbaren Führungspositionen in der Wirtschaft, aber auch in der Vermittlung geeigneter Forscherinnenpersönlichkeiten für Workshops, Foren, Symposien oder Konferenzen. ■





Es ist bewiesen, dass **gemischte Führungsteams** erfolgswahrscheinlicher sind als reine "Männerteams".

Der "New Deal" benötigt **mehr Frauen** in der produzierenden Industrie.

Das eklatante Ungleichgewicht muss sich ändern.

Die **aktive Mitgestaltung von Frauen** ist eine wesentliche Grundvoraussetzung für optimierte Prozesse in der Transformation der digitalen Produktion.

## 1.5. Qualifizierungsoffensive für die industrielle Produktion

Die Digitalisierung der Produktion wird die notwendigen Kompetenzen der Mitarbeiter\*innen fundamental verändern. Auf allen Qualifizierungsebenen werden wir neben Fachkompetenzen der naturwissenschaftlichen Grundausbildung und der Produktionstechnik eine **massive Erhöhung digitaler Kompetenzen** sehen. Das integrierte Denken in digitaler Durchgängigkeit, Vernetzung von digitalen und physischen Abläufen sowie die Gestaltung und Bewertung der zugrunde liegenden Materialien, Produkte, Prozesse und Arbeitssysteme werden zu notwendigen Kernkompetenzen für die Facharbeiter\*innen, Ingenieur\*innen und Manager\*innen von morgen. Kompetenzen für das Treffen von Entscheidungen unter Unsicherheit, unterstützt von einer echtzeitnahen Datengrundlage und künstlicher Intelligenz, werden vermehrt benötigt. Gleiches gilt für die datengetriebene Verknüpfung verschiedener Produktionstechnologien und -prozesse. Um die notwendige **Kompetenztransformation** erfolgreich zu bewältigen, werden **Aus-, Fort- und Weiterbildungskonzepte** benötigt, die unter **Nutzung innovativer Medien und Lernformate** eine Kompetenzentwicklung **arbeitsplatznah** und **arbeitsplatzintegriert** aufbauen. Parallel dazu wird sich der Prozess des Lernens selbst massiv verändern. Zunehmend hybride, team- und aufgabenorientierte Lernprozesse bis hin zu reziprokem Lernen zwischen Menschen und Maschinen werden den zukünftigen Anforderungen einer viel stärker digitalisierten und automatisierten Produktion gerecht. ■







Staatliche Förderung, Bildungseinrichtungen, Unternehmen und Mitarbeiter\*innen sind gleichermaßen in der Pflicht, die benötigten **Ressourcen bereitzustellen** und aktiv zu nutzen.

Der "New Deal" benötigt Lehrende, die anschaulich **Theorie und Praxis** verbinden. Es braucht auch den Mut, überholtes Wissen über Bord zu werfen und den eigenen Horizont zu erweitern.

Ein "New Deal" verlangt vor allem von Schüler\*innen, Studierenden und deren Lehrenden, sich noch mehr für **vernetztes Denken** zu öffnen und sich darauf einzulassen, dass das **Erfahrungswissen der Praxis** und **theoretische Grundlagen** verschiedener Disziplinen nach wie vor die Basis für erfolgreiche Zukunftskonzepte sind. Zusätzlich bedarf es der Förderung von **Kreativität** in unterschiedlichen Lösungsansätzen und einer **fehlertoleranten Unternehmenskultur**.

Förderung praktischer Lehr- und Lerneinrichtungen, die insbesondere MitarbeiterInnen aus der produzierenden Industrie in **modernen Fertigungsverfahrenschulen** (Pilot- und Lernfabriken, Digitale Produktion, Additive Fertigung, FabLabs).

## 2. Produktionssysteme

Fritz Bleicher, Franz Haas, Andreas Otto, Klaus Zeman

**D**er derzeit stattfindende Wandlungsprozess der Produktion wird durch die Verfügbarkeit von Technologieinnovationen, gepaart mit leistungsfähiger Kommunikationstechnik und Datenmanagement, vorangetrieben. Ziel ist die intelligente Maschine als Teil der "Smart Factory of the Future".

Seit jeher sind **Meilensteine der Produktionstechnik** sehr eng mit der **Gesellschaftsentwicklung** und der **Wirtschaftsgeschichte** verknüpft. So war in der vorindustriellen Zeit die Prozesskompetenz des Handwerks entscheidend für den **Wohlstand einer Gesellschaft**. Die Erfindung der Dampfmaschine führte zur ersten industriellen Revolution und legte die Basis für die Entwicklung moderner Produktionsmaschinen. Die resultierende, verstärkte Nutzung von Eisenbasis-Werkstoffen beflügelte rasante Fortschritte in der Zerspanungs- und Umformtechnik. Die zweite industrielle Revolution führte zur arbeitsteiligen Produktion (z.B. Fließbandfertigung), die dritte nutzte die Errungenschaften der Mikro-Prozesstechnologie in der CNC-Technik für automatisierungstechnische Lösungen und die Robotik. Die vermehrte Nutzung der sich daraus ergebenden Potenziale für produktions-technische Anwendungen führte bereits

zu aktuellen Themen wie "Industrie 4.0", "**Digitale Transformation**" und "**Smart Production and Services**". Herausforderungen hinsichtlich der eingesetzten Technologien ergeben sich heute aber nicht nur durch die **Entwicklung** und den **Einsatz neuer Werkstoffe** oder eben der **Informations- und Kommunikationstechnik** (IKT), sondern auch aus der zunehmenden Bedeutung der **Nachhaltigkeit und ökologischer Aspekte** zum Beispiel im Bereich der Individualmobilität. In diesem Zusammenhang wird insbesondere auf politischer Ebene häufig vom "Green Deal" gesprochen. Diese Entwicklungen werden derzeit durch die weltweite Corona-Pandemie sowie die damit einhergehende Wirtschaftskrise überschattet. Menschenleere Städte, Universitäten ohne Studierende, ein abruptes Ende des internationalen Personenverkehrs und ein negativer Ölpreis im April 2020 sind nur Beispiele der





unmittelbaren Folgen situativ bedingter starker Einschränkungen des öffentlichen Lebens. Die Finanzkrise um 2008 und die aktuelle Corona-Krise führen uns vor Augen, wie **anfällig unsere ausgeklügelten Wirtschaftssysteme gegenüber** derartigen **Störungen** sind. Aus systemtheoretischer Sicht ist dies nicht überraschend, denn von dort ist längst bekannt, dass hochoptimierte Systeme besonders imperfektionsempfindlich sind. Dies bedeutet, dass eine minimale Änderung am System selbst zu einem (qualitativ) völlig geänderten Verhalten führen kann. Das gilt für Produktionssysteme im selben Maß wie für Wirtschafts- und Sozialsysteme. Die Krisen und Einschnitte in die Wirtschaftsleistung vieler Branchen führen verstärkt zu Diskussionen über **Nachhaltigkeit und resiliente Wirtschaftsmodelle**.

Das Kapitel "Produktionssysteme" reflektiert die aktuelle Lage aus technologischer Sicht und wagt einen Blick in die Zukunft. ■

## 2.1. Wandlungsfähige und autonome Produktionssysteme

Trotz der ständigen Entwicklung neuer Produktionstechnologien sind **klassische Fertigungsverfahren** wie z.B. **Gießen, Sintern, Umformen, Spanen** oder **Schweißen** weiterhin von zentraler Bedeutung in der Wertschöpfungskette und müssen stetig weiterentwickelt werden.

So ermöglichen in der **Zerspanungstechnik** neue Schneidstoffe und Beschichtungen in Verbindung mit optimierten Regelungsstrategien eine signifikante Steigerung der Produktivität. **Keramische Schneidstoffe** bieten durch ihre hohe Temperatur- und chemische Beständigkeit bis zu 50-fache Schnittgeschwindigkeiten im Vergleich zu Hartmetallen. Auf Bauteilseite zählen Nicht-Eisenbasis-Legierungen, wie Titanlegierungen oder Hochtemperatur-Superlegierungen, und Verbundwerkstoffe zu den schwer zerspanbaren Werkstoffen, deren Bearbeitung z.B. durch CVD-Hartstoffbeschichtungen der Werkzeuge vereinfacht wird. Die Werkzeuggeometrien werden vermehrt durch den Einsatz von **modellbasierten Methoden** optimiert. Zerspanungswerkzeuge, bestehend aus Werkzeugschneide- und -träger, entwickeln sich mittlerweile zu sehr komplexen technologischen Systemen. In den Werkzeugträgern integrierte **Sensoren** und **Aktoren** bieten hohes Potenzial zur Optimierung und Flexibilisierung der Fertigungsprozesse. In diesem Zusammenhang kommt auch der additiven Fertigung eine zunehmend bedeutende Rolle zu. Diese ermöglicht beispielsweise die Fertigung **komplexer Kühlschiernsysteme in Werkzeugträgern** mit daraus resultierenden Möglichkeiten zur Topologie-Optimierung und Gewichtsreduktion.

Die letztgenannten Entwicklungstrends sind aber auch in ur- und umformenden Fertigungsprozessen sowie in der Füge-technik Garant für die Technologieführerschaft der österreichischen Industrie in diesen Bereichen. Hierbei ermöglicht beispielsweise die **konturnahe Gestaltung von Heiz- oder Kühlkanälen** eine Verbesserung der Prozessfähigkeit und Produktivität. Die Integration von Sensorik vermag Formfüllverhalten oder Effekte in Umformprozessen wie

beispielsweise den Schnittschlag zu überwachen.

**Photonische Technologien**, die mittlerweile auch schon fast als klassisch bezeichnet werden können, profitieren von aktuellen Innovationen im Bereich der Lasertechnik. Gepulste Hochleistungslasersysteme mit einer mittleren Leistung im kW-Bereich und Pulsdauern im Femto- und Pikosekundenbereich ermöglichen die großflächige, kosteneffiziente und flexible Bearbeitung zur Funktionalisierung von Oberflächen mit minimalem Wärmeeintrag. So können z.B. **tribologische, optische oder fluid-dynamische Effekte** erzielt werden. Zudem ermöglichen es diese gepulsten Systeme, auch **heterogene Werkstoffe**, wie beispielsweise **faserverstärkte Kunststoffe**, hochpräzise und sehr schonend trennend zu bearbeiten.

**Neuartige Lasersysteme**, bei denen die räumliche und zeitliche Intensitätsverteilung im Laserstrahl gezielt gesteuert werden kann, erlauben beispielsweise beim **Laserstrahlschweißen** eine signifikante Reduktion bzw. die komplette Vermeidung von Bearbeitungsfehlern bei gleichzeitiger Steigerung der erreichbaren Bearbeitungsgeschwindigkeit. Trotz diverser, derzeit laufender europäischer Forschungsprojekte sind die Potenziale dieser innovativen Lasersysteme insbesondere bezüglich ihrer Prozess- und Werkstoffflexibilität bei Weitem noch nicht vollständig bekannt, geschweige denn ausgeschöpft. Insbesondere für **lasergestützte additive Fertigungsverfahren** eröffnen sich durch die genannten Entwicklungen neuartige Möglichkeiten zur Kontrolle der Wärmeeinbringung und damit zur Verbesserung der Bauteileigenschaften. Generell hat sich die additive Fertigung mit ihrer Entwicklung zur Serienreife zu einer Schlüsseltechnologie für die moderne Produktion entwickelt, die insbesondere für die Produktentwicklung und für das Produktdesign vollkommen neue Möglichkeiten erschließt. Gute Beispiele hierfür sind neuartige Leichtbaukonstruktionen oder energieeffiziente Kühlsysteme unter Einsatz neuer Materialien, deren Herstellung durch additive Fertigung überhaupt erst ermöglicht wird. Auch bei der angestrebten Flexibilisierung der Produktion werden additive Fertigungsprozesse von entscheidender Bedeutung sein. Dabei werden diese





Prozesse die etablierten Verfahren mit Sicherheit nicht vollständig ersetzen. Sie erweitern aber die Palette der verfügbaren Fertigungstechnologien, und ihr wahres Potenzial wird erst durch eine symbiotische Kombination mit anderen Verfahren zum Beispiel in **Hybrid-Maschinen** erschlossen werden. So können Defizite additiv gefertigter Bauteile bezüglich der erreichbaren Oberflächenqualität und Maßhaltigkeit durch eine spanende Nachbearbeitung ausgeglichen werden. Ebenso können hohe Kosten rein additiv gefertigter Bauteile durch die Kombination additiver und konventioneller Verfahren in einer Maschine reduziert werden. Dies bedingt selbstverständlich auch die **Entwicklung entsprechender Software-Tools** zur optimierten Planung einer solchen Hybrid-Bearbeitung unter Berücksichtigung der jeweiligen Potenziale der eingesetzten Technologien. Mit Blick auf die Flexibilität von Werkzeugmaschinen sind Hybrid- Maschinen, in denen **mehrere Fertigungsverfahren** (“**additiv**“ und “**subtraktiv**“) **kombiniert werden**, ein wichtiger Entwicklungstrend.

Noch viel weiterreichend sind innovative Konzepte für **flexible, modulare, wandlungsfähige** und **wiederverwendbare Produktionssysteme**, die zukünftig zunehmend kapitalintensive Produktionsmittel verdrängen werden, die für nur eine spezifische Aufgabe konstruiert und gebaut werden. Themen wie die eingesetzte **Steuerungstechnik** und deren Programmierung, die **Informations- und Kommunikationstechnologien**, die **Selbstorganisation und -optimierung**, der Grad der **Flexibilität der Systemarchitektur, Stabilität und Optimalität** der Steuerung eingesetzter Ressourcen und **Energiemengen** sind zentrale Fragestellungen bei der Entwicklung dieser Produktionssysteme. Auf dieser Basis kann die Forderung volatiler und komplexer Märkte der Zukunft nach innovativen, hochflexiblen und wirtschaftlichen Fertigungstechnologien und Produktionssystemen erfüllt werden.

Durch **Integration von Sensorik, echtzeitfähige Datenanalyse** und **Rückkoppelung der Analyseergebnisse** in den Fertigungsprozess werden Fertigungssysteme ertüchtigt, Aspekte der

**Qualitätssicherung bereits während der Bearbeitung** zu übernehmen (in-process). Dadurch wird das Risiko des Wertverlustes durch Ausschuss verringert, das bei der heute noch weithin üblichen ex post Qualitätssicherung besteht. Gleichzeitig kann so die Ressourceneffizienz der Produktion gesteigert werden. Auf dem Weg zu diesen integrierten Systemen ist in der Fertigungsmesstechnik und Qualitätssicherung bereits heute der Trend zu erkennen, dass eine **100%-Werkstückprüfung gleich in der Fertigungsmaschine** (in-situ), **direkt in der Fertigungslinie** mit Rückkoppelung an die Prozesssteuerung (in-line) oder **stichprobenartig an der Fertigungsmaschine** (at-line) erfolgt. Die klassische Stichprobenmessung wird dabei zunehmend abgelöst, die Messmaschinen übernehmen die Rolle der **Referenzprüfmittel** und dienen der Kalibrierung oder Validierung von Qualitätssicherungsalgorithmen in den oben genannten integrierten Systemen. In Verbindung mit Technologien der Datenauswertung und der **künstlichen Intelligenz** werden die eingesetzten Algorithmen komplexere Zusammenhänge steuern, wodurch letztlich **selbstlernende** und **sich selbst optimierende Fertigungssysteme** ermöglicht werden. Das “**Precision Engineering**“ im Werkzeugbau, in der Halbleiterindustrie und Optik bleibt ein spannendes Forschungsgebiet mit großem Potenzial für die nachhaltige Produktion von morgen. ■

**Klassische Fertigungsverfahren** sind auch zukünftig von zentraler Bedeutung für die Produktion und müssen weiter verbessert werden. Dies gilt auch für photonische Technologien, deren Potentiale bei weitem noch nicht ausgeschöpft sind.

Die **additive Fertigung** ist mittlerweile eine Schlüsseltechnologie für die moderne Produktion.

Diese wird durch **autonome, modulare und wandlungsfähige Produktionssysteme** geprägt sein, die an die Stelle unflexibler und kapitalintensiver Produktionsstraßen rücken.

## 2.2. Digitale Transformation

Studien zeigen, dass österreichische Arbeitnehmer\*innen kaum damit rechnen, durch Technologien auf Basis von künstlicher Intelligenz (Artificial Intelligence AI) ersetzt zu werden. Fest steht aber auch, dass **“Artificial Intelligence“ die meisten Berufsbilder verändern wird** und dass die Vorteile dieser Technologie durchaus überwiegen. In der Produktion werden AI-Algorithmen zunehmend zur **Optimierung der Abläufe** und zur **Datenanalyse** eingesetzt. Das Ziel der aktuellen Entwicklung sollte eine **Innovationsoffensive** in Österreich sein, die von einer Vielzahl neuer, durch **“Machine Learning“ ertüchtigter Produkte des Maschinen- und Anlagenbaus** getragen wird. Damit einhergehend, könnte eine komplett **neue Generation der Automatisierungstechnik** zu einem Modernisierungsschub in Industrie und Gewerbe führen.

Immer häufiger wird die **autonome Produktion während der Nacht** durch ein automatisiertes Beladen der Maschinen mit Werkstücken. So können durch Serien in den Nachtschichten Kapazitäten für Einzelteile und Kleinserien in den Tagschichten freigehalten werden. Das **Lean-Automation-Programm** zur kostengünstigen Automatisierung von Werkzeugmaschinen stellt ein weiteres aktuelles Beispiel dar.

Autonome Flurförderfahrzeuge (Automated Guided Vehicles, AGV) gehören mittlerweile zum Erscheinungsbild einer modernen Fertigung. Im Zusammenspiel mit einem Flotten-Management mit zentraler Steuerung mehrerer **“Shuttles“** mit hoher Traglast und längeren Ladeintervallen erweisen sich AGVs als Schrittmacher einer agilen Produktion der Zukunft. Jüngst vorgestellte Ortungstechnologien ermöglichen den Einsatz von **fahrerlosen Transportsys-**



# Unser Ziel

Innovations-Offensive in Österreich, um durch "Machine Learning" einen Modernisierungsschub in Industrie und Gewerbe auszulösen.

**temen und Drohnen in der Produktion** mit integrierter Überwachung der Lieferkette durch die Nutzung von Ultrabreitband, RFID, 5G und GPS. Grundidee ist die Systemoffenheit für eine flexible Konfiguration von Gesamtanlagen.

Neben den vielfältigen Aspekten der Digitalen Transformation in allen Phasen des Produktlebenszyklus, also von der ersten Produktidee über Produktentwicklung, Produktion, Distribution, Produktnutzung, Service bis hin zur Produktablösung kommt auch der Hersteller\*innen-Kunden\*innen-Beziehung eine immer größere Bedeutung zu. "Klassische" Industrien werden vermehrt **Technologien auf Basis des Internets der Dinge, Datenservices und Online-Dienste** einsetzen und nutzen. Die damit verbundene Echtzeit-Vernetzung von Produkten, Prozessen und Infrastruktur wird die Arbeitswelt der Zukunft nachhaltig verändern. Die zunehmende **Flexibilität und Komplexität** von Produktionssystemen und **innerbetrieblicher Logistik** stellt damit eine neue Herausforderung dar.

Die bisherige Interpretation von Industrie 4.0, der gemäß produktionstechnische Lösungen durch ihre Verknüpfung mit der Informatik zur vernetzten Produktion führte, wird durch **agile, selbst lernende Systeme** abgelöst bzw. erweitert.

Fertigungssysteme werden Fähigkeiten aufweisen, **sich selbst zu programmieren, sich selbst zu organisieren**, werden an sich selbst neue Anforderungen stellen und sich adaptieren und selbst optimieren. Der damit verbundene Forschungsbedarf umfasst hier vor allem neue Ansätze hinsichtlich der Einbindung von unterschiedlichen Steuerungs- und Kommunikationssystemen (Aufbrechen der gängigen Automatisierungspyramide), von Technologien zu

Safety und IT-Security sowie der Entwicklung und Adaptierung von Informationsschnittstellen und Datensemantik. Von wachsender Bedeutung ist dabei auch die **disziplinenübergreifende Virtualisierung von Prozessen, Maschinen und Abläufen**. Die Entwicklung und Nutzung von **multiphysikalischen, gekoppelten Simulationsmodellen** zur Beherrschung der wachsenden Systemkomplexität rückt vermehrt in den Vordergrund. Methoden des maschinellen Lernens und künstlicher Intelligenz spielen in der Nutzung von Informationen in künftigen Produktionssystemen eine entscheidende Rolle. Dabei ist besonderes Augenmerk auf die **Übertragbarkeit** etablierter Informationssysteme und Lösungen auf die zukünftige Nutzung zu legen. Die vollständige Durchdringung der Wertschöpfungsprozesse durch integrierte Informationssysteme und systemübergreifende Optimierungsmethoden stellen entscheidende Schlüssel für die ressourcenschonende Fertigung dar. ■

"Artificial Intelligence" und "Machine Learning" werden einen **Modernisierungsschub** in Industrie und Gewerbe auslösen und viele Berufsbilder nachhaltig verändern.

Die Beherrschung der wachsenden **Systemkomplexität neuartiger Produktionssysteme** erfordert die Entwicklung und Nutzung von multiphysikalischen, gekoppelten Simulationsmodellen.

Eine nachhaltige und ressourcenschonende Fertigung setzt die vollständige **Durchdringung der Wertschöpfungsprozesse mit integrierten Informationssystemen und systemübergreifenden Optimierungsmethoden** voraus.

### 2.3. Beitrag der Produktion zum Green Deal

Ursula von der Leyen hat als neue Kommissionspräsidentin die Marschrichtung vorgegeben. Bis **2030** sollen die **Treibhausgas-Emissionen um 50% gegenüber 1990 gesenkt werden**, und bis **2050** soll die **vollständige Klimaneutralität der EU** erreicht werden. Dies ist nur mit einem weitreichenden Umbau aller Wirtschaftssektoren zu erreichen. Für die industrielle Produktion bedeutet der **“Green Deal“** eine **Strategie der Kreislaufwirtschaft** mit deutlich verringertem Ressourceneinsatz und systematischer Wiederverwendbarkeit der Produkte durch intelligentes Upcycling und Recycling. Das Schließen von Energie- und Materialkreisläufen ist Voraussetzung für die **“Circular Economy“**. Dem Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken (VDW) zufolge besteht darin eine Chance zur Kreation neuer Umsatzträger durch den Blick auf das Machbare, um die ambitionierten Ziele der CO<sub>2</sub>-Reduzierung auch tatsächlich zu erreichen. Den **größten Treiber zur Zielerreichung** sieht der VDW in der **digitalen Vernetzung** unter **Einsatz neuer Geschäftsmodelle**. Dies manifestiert sich auch in der Nachhaltigkeit bei der Stahlerzeugung (**Dekarbonisierung**) und beim **Einsatz von Wasserstoff** als innovativem Energieträger. Der Wasserstoffpfad, beginnend mit der Wasserstoffherzeugung über dessen Verteilung bis hin zur Mobilitätsanwendung, muss in einem gemeinsamen Projekt beschritten werden.

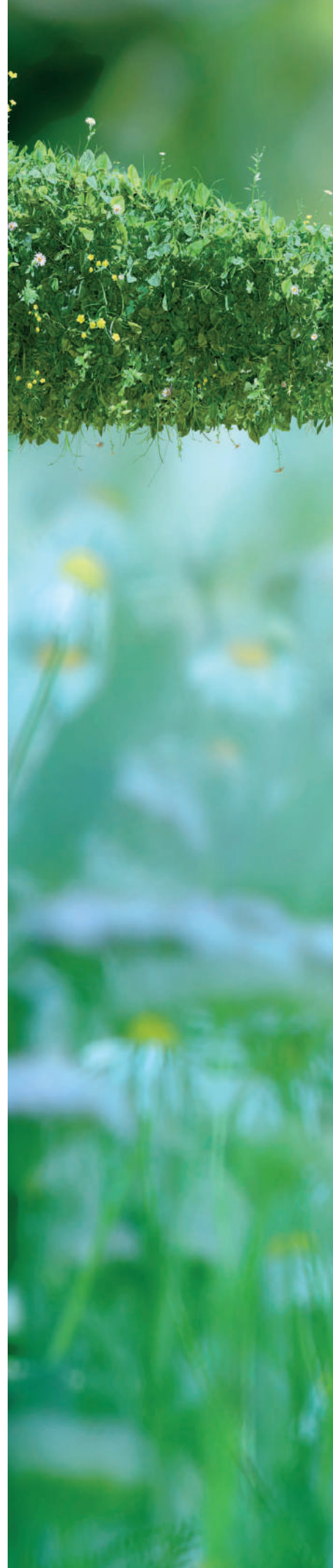
Alle neuen Industrie- und Konsumgüter, die für eine nachhaltige Energieversorgung, -verteilung und -verwendung notwendig sind, müssen auch produziert werden. Dies bedingt gerade in Österreich und Europa ein teils disruptives Umgestalten der Produktionsstätten zu neuen Wertschöpfungszentren und -netzwerken einer ökologischen Produktion. Dies setzt die **Beherrschung komplexer Wirkzusammenhänge** und den Einsatz von neu gedachten, **geschlossenen Materialkreisläufen** voraus.

Unsere Gesellschaft ist angehalten, rasch fokussierte Innovationsprogramme zu starten, um den gesetzten Zielen auch in der Umsetzung gerecht zu werden. ■

Die mittel- und langfristigen Klimaziele der EU bis hin **zur vollständigen Klimaneutralität in 2050** können nur durch einen weitreichenden Umbau aller Wirtschaftssektoren erreicht werden.

Sie erfordern ein teils **disruptives Umgestalten** von Produktionsstätten, die Beherrschung **komplexer Wirkzusammenhänge** und den Einsatz neu gedachter, **geschlossener Materialkreisläufe**.

**Fokussierte Innovationsprogramme** müssen umgehend gestartet werden, um den gesetzten Klimazielen auch in der Umsetzung gerecht zu werden.







50% Senkung der  
Treibhaus-  
gas-Emissionen bis 2030

2050  
EU Klimaneutralität

# 3. Produkte

Alois Ferscha, Klaus Zeman

**E**ine völlig neue, "mitdenkende" Produkt- und Industrietechnik, gesteuert durch kleine und kleinste, robuste, zuverlässige, flexible, autonome, teilweise energieautarke und echtzeitfähige eingebettete Künstliche Intelligenz.

## 3.1. Kognitive Produkte

Bislang wurden Produkte nach den Bereichen der sie konstituierenden Komponenten eingeteilt, wie etwa Produkte aus dem Maschinenbau, der Elektrotechnik oder des Software Engineering. Heute werden Produkte zunehmend nach ihren Fähigkeiten und nicht mehr nur nach ihren Komponenten unterschieden. Ausgehend von **flexiblen, anpassbaren, personalisierbaren, zeit-, orts- und verwendungssensitiven Produkten**, ist je nach dem Grad der in Material, Hardware und Software eingebetteten Autonomie oder Intelligenz zunehmend von "smarten" oder **intelligenten Produkten** die Rede. Die Produktentwicklung selbst hat einen signifikanten Wandel von hochspezialisierten Einzelfachgebieten hin zu komplexen, multidisziplinären, synergetischen Fachgebietsorchestrierungen geführt, die noch dazu hochgradig etwa in Produktdesign, Prototypenbau, Fertigungsorganisation, Qualitätssicherung, Interoperabilität, Gebrauchstauglichkeit und Rezyklierfähigkeit ausdifferenziert sind.

Der technologische Fortschritt, insbesondere die **Miniaturisierung der Mikroelektronik**, zusammen mit der **globalen Vernetzung** im Internet und WWW haben in den letzten beiden Jahrzehnten - und die Weiterentwicklung der Methoden der **Künstlichen Intelligenz** in der letzten Dekade - zu völlig neuen industrie- und wirtschaftsrelevanten Einsatzszenarien **eingebetteter Informations- und Kommunikations-technologien**, und damit zu hochinnovativen Produktgestaltungsmöglich-

keiten geführt. **Miniaturisierung, Digitalisierung, Datenverschränkung und Virtualisierung** eröffnen ein nie da gewesenes Spektrum an Möglichkeiten für zukünftige Produkte (Intelligente Produkte, Digitale Produkte, Products-as-a Service) und deren Herstellungsprozesse (Intelligente Fabriken, Digitale Produktion, Virtuelle Fabriken). Erstmals können und müssen Produkte und Produktionssysteme als eng verwoben, verstanden, gestaltet, entwickelt und betrieben werden. **Produkte**, ihre **Entwicklung** und **Produktion** werden in Zukunft stärker "ineinander verschränkt" sein als je zuvor. Die autonome Anpassung an geänderte Randbedingungen und Updates während der Nutzungsphase, die Wiederverwendung von materiellen Produktbestandteilen nach ihrer Nutzung (Upcycling) oder die Rückkopplung von Betriebsdaten in die Produktentwicklung sind nur einige der Trends, die an Bedeutung gewinnen werden.

Zentral in dieser Verschränkung wird die Ausgestaltung autonomer, echtzeitfähiger, vertraubarer, vernetzter, eingebetteter Intelligenz in Produkten sein. Die nächste Generation intelligenzaugmentierter Produkte wird absehbar **menschenähnliche kognitive Fähigkeiten** wie **Erkennen, Wahrnehmen, Interpretieren, Verstehen, Gewahrsein, Memorieren und Lernen, Antizipieren und Vorhersagen, Planen, Vergessen, Intuition, Schlussfolgern, Entscheiden** haben und mit entsprechendem **kognitions-gesteuertem Handeln** ausgestattet sein. **Kognitive Produkte** also - die im





technischen Sinne “denken” werden. Die Konsequenz ist nicht geringer als eine völlig neue, “mitdenkende“ Produkt- und Industrietechnik, gesteuert durch kleine und kleinste, robuste, zuverlässige, flexible, autonome, teilweise energieautarke und echtzeitfähige **eingebettete Künstliche Intelligenz**.

Kognitive Produkte sammeln Daten ihrer Umwelt, ihrer Verwendung, ihrer Besitzer und Bediener und ihres eigenen Status durch vielfältige, multimodale Sensoren. Die so erhobenen Daten und daraus abgeleiteten Situations-, Gebrauchs-, Mobilitäts- und Interaktionsmuster werden analysiert und interpretiert und lösen kontextsensitiv geeignete Reaktionen durch ebenfalls eingebettete Aktuatoren aus. Entscheidend dabei ist eine situationsangepasste und nicht einem starren Regelalgorithmus entspringende Reaktion. Ziel der Forschung im Bereich **kognitiver technischer Systeme** (KTS) generell ist es, Inspiration aus der kognitiven Psychologie des Menschen zu schöpfen und damit menschenähnliche kognitive Fähigkeiten - hier speziell in technischen Produkten - zu imitieren. In diesem Punkt unterscheiden sich herkömmliche reaktive Hardware-Software Co-Designs und mechatronische Produkte mit geschlossenem Regelkreis (z.B. nach VDI 2206) von kognitiven Produkten, da ihre Anpassungsfähigkeit nicht nur vorhersagbare, sondern auch aufgrund der datenbasierten Lageeinschätzung nicht vorhersagbare Situationen betrifft, wofür wiederum flexible, anpassbare, lernfähige Regelkreise erforderlich sind. Kognitive technische Systeme reagieren also auf ein und denselben Input nicht notwendigerweise immer deterministisch mit demselben Output, sondern mit dem situationsangepassten, wissens-, erfahrungs-, erwartungs- und schlussfolgerungsgeleiteten (richtigen) Output. Darüber hinaus wird das Verhalten von KTS nicht nur von einzelnen kognitiven Komponenten, sondern vom Zusammenwirken vieler unterschiedlicher kognitiver Elemente determiniert. KTS müssen in der Lage sein, ihr **Verhalten erklären** und begründen zu können, und sollen im Idealfall menschenähnlich handeln (“**act human-like**“). Eine normative Kategorisierung der Fähigkeiten eines KTS existiert zwar bis dato nicht, aber die genannten Fähigkeiten wie Wahrnehmen, Lernen, Planen, Ver-

handeln und Entscheiden von Wissensmodellen ableiten zu können, ein Model über sich selbst zu haben, umgebungsgewahr zu sein, kommunikations- und interaktionsfähig zu sein, in unstrukturierten Umgebungen handlungsfähig zu sein, gehören zweifelsfrei dazu.

Zu den herausragenden **technologischen Enablern** von kognitiven Produkten zählen die radikale Miniaturisierung der digitalen Elektronik (Mikrocontroller, Mikroprozessoren, System-on-Chip), der High Performance Signalverarbeitung (analoge Signalverarbeitung, Adaptive Filter, zeitdiskrete Integration, DSP Hardware), der drahtlosen Kommunikation und Funkmodule wie WiFi 6, 5G Cellular, LPWA, MMW, Software-Defined Radio, RFID, NFC, BTLE, ZigBee, LoRa, LTE, der Positionierung (UWB indoor) und Lokalisierung (GPS, BeiDou, GLONASS, NavIC, Galileo, Quasi-Zenith, Skymark, ImageNav), der multimodalen Sensorik (Licht, Geräusch, Vibration, chemisch, elektrisch und elektromagnetisch, Metalldetektoren, thermisch, optisch, bildgebend, Druck, Kraft, Beschleunigung, Fluss, Viskosität, Rauch, Gas, etc.) und Sensor Netzwerke. ■

Die **Digitale Transformation** augmentiert physikalische Produkte um **digitale Produktrepräsentationen**, bzw. ergänzt digitale Services um **physische Verkörperungen**. Die daraus resultierende **Verschränkung** der traditionellen **Sachgüterindustrie** mit der entstehenden Digitalgüterindustrie kann als **stärkster Innovationsmotor** der Industriegeschichte verstanden werden.

Die nächste Generation **intelligenzaugmentierter Produkte** wird absehbar **menschenähnliche kognitive Fähigkeiten** wie Erkennen, Wahrnehmen, Interpretieren, Verstehen, Gewahrsein, Memorieren und Lernen, Antizipieren und Vorhersagen, Planen, Vergessen, Intuition, Schlussfolgern, Entscheiden aufweisen und mit **entsprechend kognitionsgesteuertem Handeln** ausgestattet sein.

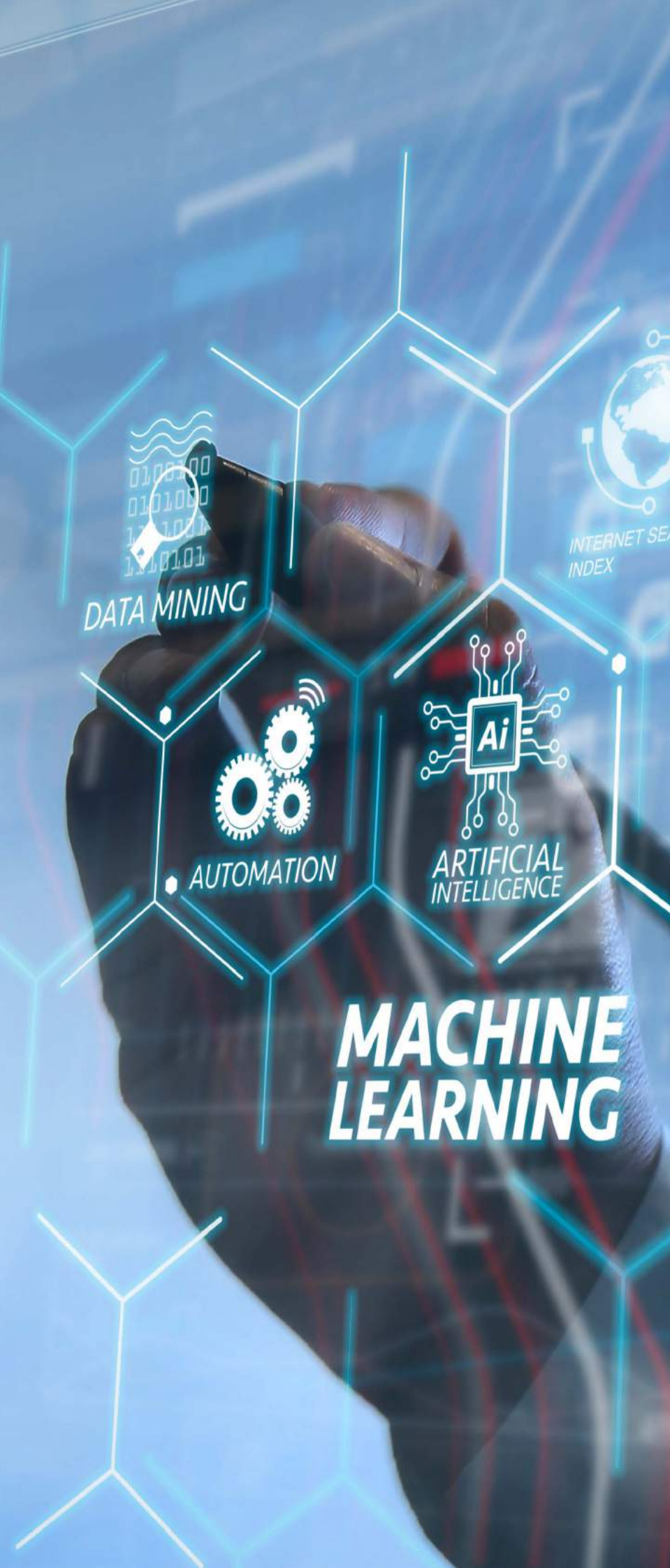
### 3.2. Embedded AI

Im Kern der technischen Realisierung kognitiver Produkte stehen **eingebettete Systeme**, insbesondere solche, die **lernfähige Künstliche Intelligenz** implementieren (**Embedded AI**). **Machine Learning** und **Knowledge Representation** werden in zukünftigen Generationen kognitiver Produkte eine entscheidende Rolle spielen. Waren es bislang noch traditionelle Methoden der **mathematischen Mustererkennung** (Klassifizierung, Clustering, Regressionsanalyse, statistisches Inferencing wie Schätzen und Testen, Markov'sche Prozesse), die in Industriesparten wie der Elektronik und Halbleitertechnik, der Avionik, Landwirtschaft, im Bank- und Versicherungswesen, in der Soziale Medien-, Konsum- und Konsumenten-Verhaltensanalyse, im Gesundheitswesen, der Rohstofferschließung, in Transport und Logistik, in der Touristik, in der Telekommunikation, und nicht zuletzt in der Automobilindustrie hauptsächlich und auf großen Rechner-Systemen (Supercomputing) mit extrem großen Datenbeständen (Big Data) eingesetzt wurden, so zeichnet sich auch hier ein klarer Trend in Richtung kleiner und kleinster AI Lösungen für kleine und kleinste Ausführungsplattformen ab (Mobile AI, Edge AI, Embedded AI). Damit einher geht auch eine rapide Weiterentwicklung der Lern- und Mustererkennungsmethoden, die zum Großteil auf Neuronalen Netzwerkmodellen beruhen. Mit Deep Learning werden maschinelle Lernverfahren verfolgt, in denen künstliche neuronale Netze in mehreren Schichten

zur Repräsentation unterschiedlicher Abstraktionsebenen von Lerninhalten eingesetzt werden (feed forward FFNs, konvolutionale CNNs, rekurrente RNNs, generativ gegensätzliche GANs). Das Lernprinzip der Verstärkung durch Belohnung (Reinforcement Learning), der Übertragung von Lernergebnissen auf ähnliche und vergleichbare Lernprobleme (Transfer Learning) und das Lernen im Kollektiv unterschiedlicher Lernalgorithmen (Ensemble Learning) stellen sich als die vielversprechendsten Strategien des Deep Learning dar, da sie ohne die Involvierung zeit- und kostenintensiver menschlicher Steuerung und Überwachung auskommen. Konsequenterweise werden Lernstrategien konzipiert und entwickelt, welche die Vorab-Erzeugung bzw. -Verfügbarkeit von sog. Trainingsdaten vermeiden (One Shot Learning, Few Shot Learning) und damit eine evolutionäre Lernform realisieren.

Begleitet wird dieser Methodenwandel der Mustererkennung und des Machine Learning generell von einer enorm agilen und variantenreichen Entwicklung von Algorithmen, Referenzimplementierungen, Programm-, Software- und Werkzeugbibliotheken wie TensorFlow, Keras, PyTorch, Caffe, Microsoft Cognitive Toolkit, PaddlePaddle oder OpenNN - um nur wenige zu nennen. Für Roboter als Produkte sind die so implementierten kognitiven Produktfähigkeiten bereits heute eine de facto Realität. Das tagesaktuell beobachtete Momentum dieser Entwicklung wird sehr kurzfristig dazu führen, dass die **Einbettung von AI** in praktisch jedes Produkt eine durchgehende Realität sein wird.





Eine besondere Beschleunigung in der **“Kognifizierung”** – in Analogie zur Elektrifizierung mechanischer Systeme durch allgegenwärtigen Zugang zu elektrischer Energie – erfahren die Produkte der Digitalgüterindustrie. Hier ist die Ausstattung mit kognitiven Fähigkeiten durch Vernetzung, also durch allgegenwärtigen Online-Zugang zu Sensoren und selbstlernender künstlicher Intelligenz vergleichsweise einfach realisierbar. Die erzielbaren Effekte sind industriell wie wirtschaftlich bahnbrechend. Nimmt man als Beispiel den Volkswagenkonzern als Referenz für europäische Sachgüterindustrie mit einem Unternehmenswert (2020) von 33.797 M€ bei 200.000 Mitarbeitern (0,17 M€ / Mitarbeiter) und vergleicht mit Microsoft als Referenz für US-amerikanische Digitalgüterindustrie mit einem Unternehmenswert (2020) von 1.470.106 M€ bei nur 163.000 Mitarbeitern (9,02 M€ / Mitarbeiter), so wird klar, dass die Rohstoffe der **anlagenintensiven Realgüterindustrie** (Stahl, Aluminium, Kunststoff) grundverschieden von jenen der **Know-How-intensiven Digitalgüterindustrie** (Kognitive Kompetenz, Intelligenz) sind. Darüber hinaus erfolgt die Kognifizierung von Digitalgütern – und damit die Mehrwertgenerierung – nahezu ohne Mitarbeiterzutun: Selbstlernende künstliche AI wird mit jeder Nutzung intelligenter und besser.



Mit **Edge AI** als Implementierungsstrategie für die Kognifizierung in der Realgüterproduktion wird dem Prinzip der Datenanalyse und Intelligenzsteuerung am Ort ihrer Entstehung, also unter Vermeidung einer zeit- und kommunikationsintensiven Datenübertragung zu zentralen Server- oder Cloudressourcen, Rechnung getragen. Eine absehbare Folgeentwicklung der hier noch zwischenspeicherungs-basierten Implementierung wird eine konsequent nicht speichernde, sondern **stream-basierte Intelligenzimplementierung** sein, bei der Daten von Onlinesensoren zwar abgegriffen, ausgewertet, ggfs. transformiert, aber nicht für spätere Neubearbeitung gespeichert bzw. archiviert werden können ("Transform-and-Forget"). Kleine und kleinste Ausführungsplattformen verfügen nur über äußerst limitierte Speicherkapazitäten und aufgrund der sehr beschränkten Energieressourcen auch kaum über drahtlose Kommunikationsmöglichkeiten. Besonders aus der Sicht einer wartungsfreien Nutzung kognitiver Produkte wird die Betriebsenergie zur alles entscheidenden Implementierungsfrage. **Energieautarkie** durch nach dem Energy-Harvesting-Prinzip betriebene Sensoren (Energiewandlung aus Licht, Wärme, Schall, Beschleunigung, Druck etc.) wird zur technologischen Schlüsselfrage. Für kognitive Produkte als reaktive Systeme wird eine **durchgehende Echtzeitfähigkeit** des Systemverhaltens erforderlich, d.h. zeitlich eingegrenzte **Reaktions- und Antwortgarantien** sind zwingend erforderlich. Best-Effort Strategien, wie sie in heutigen Standardbetriebssystemen (Windows, Linux, MacOS) oder in Standardkommunikationsprotokollen (IPv4) zum Einsatz kommen, erweisen sich für die Implementierung anpassungsfähiger, selbstorganisierender, fehlererkennender, fehlertoleranter, autonomer Produkte als ungeeignet. Solche Produkte müssen in der Lage sein, Informationen über die Situation und ihre Lage eigenständig

erheben und verstehen zu können, ohne menschliche Intervention operativ zu sein, ohne menschliche Hilfe lernen und neues Wissen erschließen zu können ("Self-evolving Intelligence"), bzw. den Nutzer, sich selbst oder andere Objekte der Betriebs- oder Nutzungsumgebung vor Gefahren oder Bedrohungen zu schützen. Besonders hier wird die Bedeutung der Echtzeitfähigkeit des Betriebes kognitiver Produkte klar. Mit zunehmender Verbreitung, Benutzungs-dichte und Benutzungshäufigkeit von Embedded AI betriebenen kognitiven Produkten tritt auch die Frage der Kompatibilität und friktionsfreien Koexistenz menschlicher und künstlicher Intelligenz in den Vordergrund. Kognitive Produkte werden nur dann Benutzerakzeptanz und letztlich Benutzervertrauen finden, wenn sie Motivation und Ratio ihres Verhaltens gegenüber dem Nutzer auch nachvollziehbar – explizit oder implizit – erklären können (von "Black-Box AI" zu "Explainable AI"). ■

Das aktuell beobachtbare **evolutionäre Momentum** der Verschränkung von Sach- und Digitalgüterindustrie, gepaart mit dem **wissenschaftlichen (AI)** und technischen Fortschritt (**Miniaturisierung, radikale Vernetzung**) führt logisch notwendig in eine **Post-Digitalisierungsepoche der Kognifizierung**. Die Einbettung von Intelligenz in Produkte (kognitive Produkte) muss **Lenkungspriorität** der Forschungs- und Industriepolitik sein.

Die Gestaltung, Entwicklung und der Betrieb bzw. die Nutzung **AI-gesteuerter kognitiver Produkte, Produktensembles** und **Produktföderationen** erfordert eine **Harmonisierung der Symbiose** aus **menschlicher Intelligenz** und **Künstlicher Intelligenz**.

### 3.3. Dependable IoT

Die rasante Evolution des Internets und der damit einhergehenden Vernetzung aller Dinge (Internet of Things, IoT) in den unterschiedlichsten Bereichen, besonders aber in kritischen Anwendungsdomänen wie in intelligenten Gesundheitssystemen, Verkehrs- und Leitsystemen, Gebäudetechnik, komplexen Fertigungsanlagen und Produktionssystemen, kritischer Infrastruktur etc., erhöht den Bedarf an robusten, fehlertoleranten, betriebssicheren und resilienten Betriebs- und Vernetzungstechnologien, die selbst unter **hochdynamischen, unvorhersehbaren und harschen Umgebungsbedingungen** verlässlich und stabil funktionieren (müssen).

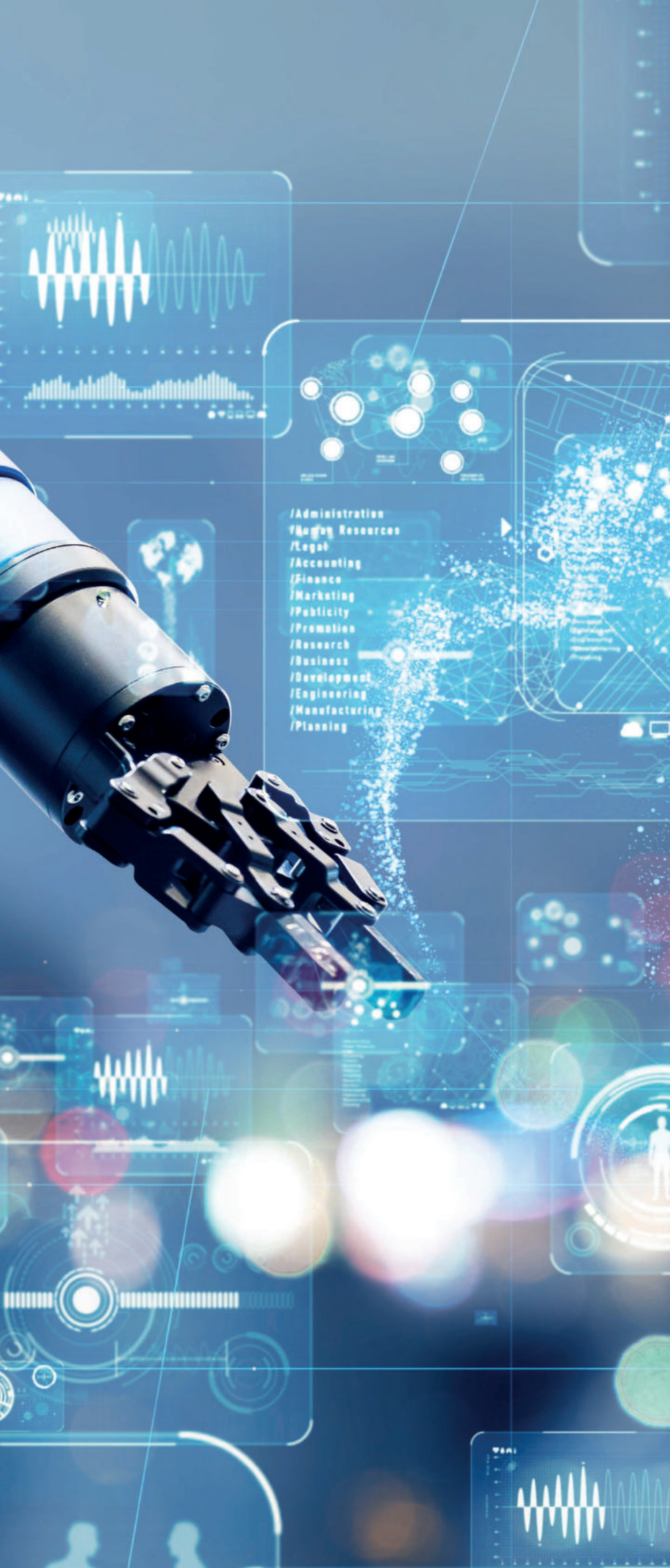
Als IoT-Geräte ausgeführte kognitive Produkte sind stark ressourcenbegrenzt und in ihrem Betrieb beliebig widrigen (aufgrund von Kälte, Hitze, Feuchtigkeit, Strahlung, Beschleunigung, Elektromagnetismus, Gasen, etc.) naturgegebenen oder (durch Fehlbedienung, destruktive Benutzung, cyberphysikalische Angriffe etc.) herbeigeführten Umgebungsbedingungen ausgesetzt. Häufige Bedrohungen für IoT-Systeme sind intentionale Angriffe oder das aus systemischer Komplexität resultierende Fehlfunktionsrisiko. Oft konzipiert als **Systems-of-Systems**, verschärft sich das inhärente **Fehlfunktionsrisiko** aufgrund spontaner Änderungen der Systemtopologie und -konfiguration, Austauschs bzw. Reorganisation kritischer Systemkomponenten, Ergänzungen, Erweiterungen oder Einschränkungen der Betriebsfunktionalität durch Software- oder Serviceupdates, aufgrund Hinzufügens oder Entfernens von Hardwarekomponenten, Vorliegens von Design- und/oder Skalierungsfehlern oder nicht zuletzt aufgrund einer komplexitätsbedingten **Nichtvalidierbarkeit des Gesamtsystems**. Von zentraler Bedeutung für den zuverlässigen Betrieb homogener oder heterogener kognitiver Produktensembles sind **sichere Energieversorgung** und **sichere drahtlose**

**Kommunikation**. Die Realisierung **energieautarker kognitiver Produkte** ist aufgrund physikalischer und technischer Einschränkungen (Batterie unterstützt: Zinc-Air, Lithium; Autonom: Solar, Wind, thermisch; speicherbar: Superkondensator) nur durch hohe (und damit kostspielige) Redundanz abzusichern, die Wahl einer Drahtloskommunikationstechnologie ist von der Betriebsumgebung (Reichweite, Signalausbreitung, Dämpfung, Verzerrung, Streuung, Rauschen, Signalinterferenzen etc.), der Betriebsmodalität (Duplex, Halbduplex), der Leistungsaufnahme (Low Energy), der Media Access Control, des gewählten Kommunikationsprotokoll, der Adressierungsschemas etc. abhängig. Hierzu existieren bislang wenige bis keine gebrauchstauglichen Technologien, die "very low energy", "mid range", und spontane (vorvereinbarungsfreie) Vernetzung bei gleichzeitiger Unterstützung für enorme Skalierung bereitstellen würden.

Des Weiteren ist eine garantierte Absicherung eines für den Menschen gefahrlosen Umganges mit solchen Systemen über deren gesamten Produktlebenszyklus hinweg unerlässlich. Jegliche Abweichungen vom spezifizierten Systemverhalten über die Situationswahrnehmung und Lageeinschätzung kann zu dramatischen **Sicherheitsverletzungen**, körperlichen Schäden an Menschen und Dingen oder nachhaltigem Vertrauensverlust über die Betriebssicherheit führen. Auslöser dafür können Nachrichtenverlust aufgrund von banalen Überlastungen von Funkkanälen, Signalinterferenzen zweier Funksysteme, kurzfristigem Ausfall der Energieversorgung, Nähe zu elektromagnetischen Feldern oder Signaldämpfung durch offenstehende Glastüren sein. Ungünstige Umgebungsbedingungen haben in der Regel starke Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit und Energieeffizienz der IoT-Kommunikation, was es schwierig macht, ein System für alle möglichen Umgebungsbedingungen zu entwickeln. Infolgedessen ist die heutige Bedeutung







von IoT-Lösungen stark eingeschränkt und oft auf nicht kritische Überwachungsanwendungen beschränkt. Herkömmliche Resilienzmethoden basieren in der Regel auf Redundanz, was im Widerspruch zu den IoT-Ressourceneinschränkungen steht. Daher ist die anwendungsspezifische IoT-Zuverlässigkeit ein äußerst wichtiges offenes Forschungsthema. Das zukünftige Internet der "verlässlichen Dinge" muss aus situations-, kontext- und ortsbewussten kognitiven Komponenten bestehen, die in koordinierten Kollektiven oder Ensembles organisiert sind und einen fehlertoleranten, ausfallsicheren und widerstandsfähigen Betrieb auch für sicherheitskritische Missionen gewährleisten. Netzwerktechnisch muss Zuverlässigkeit auf den Physical, Data Link, Network und Transport Ebenen realisiert werden. Dies stellt eine Grundvoraussetzung für zuverlässige (dependable) kognitive Produktensembles dar. Erst durch realwelttaugliche, gesellschaftlich akzeptierbare, praxiserprobte, spontan belastbare dependable IoT Lösungen werden solche Systeme eine industrielle, wirtschaftliche und auch von der Gesellschaft akzeptierte Digitale Transformation bewirken. ■

Selbst unter **hochdynamischen, unvorhersehbaren und harschen Umgebungsbedingungen** müssen **robuste, ausfalls- und betriebs-sichere** und **resiliente** Betriebs- sowie Vernetzungstechnologien **verlässlich** und **stabil** funktionieren.

Das zukünftige Internet der "**verlässlichen Dinge**" muss aus situations-, kontext- und ortsbewussten kognitiven Komponenten bestehen, die in **koordinierten Kollektiven** organisiert sind, und einen **fehler-toleranten Betrieb** auch für sicherheitskritische Missionen gewährleisten.



### 3.4. Nachhaltige Produkte

Die Europäische Kommission hat mit dem **Circular Economy Action Plan** als wesentlichem Bestandteil der neuen Europäischen Wachstumsstrategie **“European Green Deal“** (Ursula von der Leyen, Dec. 2019: “It shows how to transform our way of living and working, of producing and consuming so that we live healthier and make our business innovative.”) eine herausfordernde Programmatik zur Erreichung der Klimaneutralität Europas bis 2050 vorgelegt. Der neue Aktionsplan kündigt Initiativen entlang des gesamten Lebenszyklus von Produkten an. Nachhaltiges Produktdesign, die Gestaltung und Einbettung von Produkten in Kreislaufwirtschaftssysteme, die Transformation zu nachhaltigen Produkten und der Versuch, Rohstoffe so oft und so lange wie möglich im Zyklus zu halten sind dabei zentrale Ansätze bzw. Vorgaben. Als probate Maßnahmen dafür werden u.a. genannt, nachhaltige Produkte zur Norm in der EU zu machen, die systemische Rolle von Konsumenten und Verbrauchern im Zyklus zu stärken, Sektoren zu fördern, die hohes Potenzial für zyklusfähige Ressourcen haben (Elektronik, IT, Batterien, Fahrzeuge, Verpackungen, Kunststoffe, Textilien, Bauwirtschaft, Gebäude, Lebensmittel, Wasser, Nährstoffe), Abfall größtmöglich zu vermeiden, die Zykluswirtschaft regional und in Städten menschenfreundlich zu gestalten und damit global beispielhaft zu wirken. Insgesamt wird eine konsequente Implementierung und Stärkung des **Kreislaufprinzips in Produktionsprozessen** angestrebt, die Kreislauforientierung wird auch als **Voraussetzung für die Klimaneutralität** gesehen.

**Nachhaltiges Produktdesign, die Gestaltung und Einbettung von Produkten in Kreislaufwirtschaftssysteme, die Transformation zu nachhaltigen Produkten und der Versuch, Rohstoffe so oft und so lange wie möglich im Zyklus zu halten, sind zentrale Ansätze bzw. Vorgaben der Europäischen Kommission zum Circular Economy Action Plan.**

**Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz u. a. durch AI optimierte Prozesse, Produkt-updates während und nach der Nutzungsphase, CO<sub>2</sub>-emissionsvermeidendes Re-Manufacturing, hochwertiges Upcycling und Recycling, das Einschränken von “one-way-products“ und geplanter Obsoleszenz, die Einführung eines Verbots der Vernichtung nicht verkaufter langlebiger Güter und Anreize für Product-as-a-Service Geschäftsmodelle, volle Nutzung des Potenzials der Digitalisierung von Produkten, Engineering- und Produktionsprozessen und andere Maßnahmen dienen der Realisierung des Nachhaltigkeitsgedankens.**

Die Schärfung des Nachhaltigkeitsgedankens sowohl in der Produktgestaltung wie auch in der Produktion selbst wird durch eine Reihe von Möglichkeiten konkret. Beispielsweise durch die Verbesserung der Haltbarkeit, Wiederverwendbarkeit, Aufrüstbarkeit und Reparierbarkeit eines Produkts, die Reduktion bzw. das Verbot des Einsatzes gefährlicher Chemikalien in Produkten, die Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz durch beispielsweise AI optimierte Prozesse in der Produktion, durch die konsequente Erhöhung des Recyclinggehalts in Produkten bei gleichzeitiger Gewährleistung ihrer Leistungsfähigkeit und Sicherheit durch CO<sub>2</sub>-emissionsvermeidendes Re-Manufacturing und hochwertiges Recycling, durch das Einschränken der einmaligen Verwendung von Produkten (“one-way-products“) und “eingebauter“ geplanter Obsoleszenz, durch die Einführung eines Verbots der Vernichtung nicht verkaufter langlebiger Güter, durch Anreize für Product-as-a-Service Geschäftsmodelle oder andere Modelle, bei denen die Hersteller\*innen das Eigentum am Produkt behalten oder die Verantwortung für seine Leistung während seines gesamten Lebenszyklus tragen, durch die konsequente Nutzung des Potenzials der Digitalisierung von Produktinformationen, beispielsweise eines “Produktgedächtnisses“, bzw. durch Produktursprungs-Verfolgbarkeitslösungen (Identity-Traceability) wie digitales Identity-Management, Kennzeichnung mittels RFID, NFC, QR Codes, digitale Watermarks, usw.

Der angestrebte Wandel im Bereich der Produkte und ihrer Produktion kann durch zielorientierte **Forschung**, zyklusfähige **Innovationen** und eine flächig tragende **Digitalisierung** zunächst angestoßen, aber dann letztlich nachhaltig implementiert und gesichert werden. Hier liegt enormes Potenzial für kreislauforientierte Innovatoren Österreichs und Europas (Stahl- und Leichtmetallindustrie, Petrochemie, Papierindustrie, Energieversorger, Kunststoffindustrie, Zulieferindustrie, Textilindustrie). Österreich wie die EU können aber nur erfolgreich sein, wenn ihre Bemühungen dazu führen, die Transformation zu einer gerechten, klimaneutralen, ressourceneffizienten und kreislauforientierten Wirtschaft auch auf globaler Ebene voranbringen. Hier ist bereits bei allen lokalen und regionalen Maßnahmen und Anstrengungen in der Produkt- und Produktionswirtschaft mit einer globalen Perspektive vorzugehen. ■

# 4. Werkstoffe

Martin Stockinger, Christof Sommitsch, Clemens Holzer

**D**ie voranschreitende Digitalisierung bietet eine einzigartige Möglichkeit, ressourcenschonend zu produzieren, ohne gleichzeitig den Nutzen, die Qualität und die Produktionskosten der hergestellten Produkte negativ zu beeinflussen.

## 4.1. Einleitung

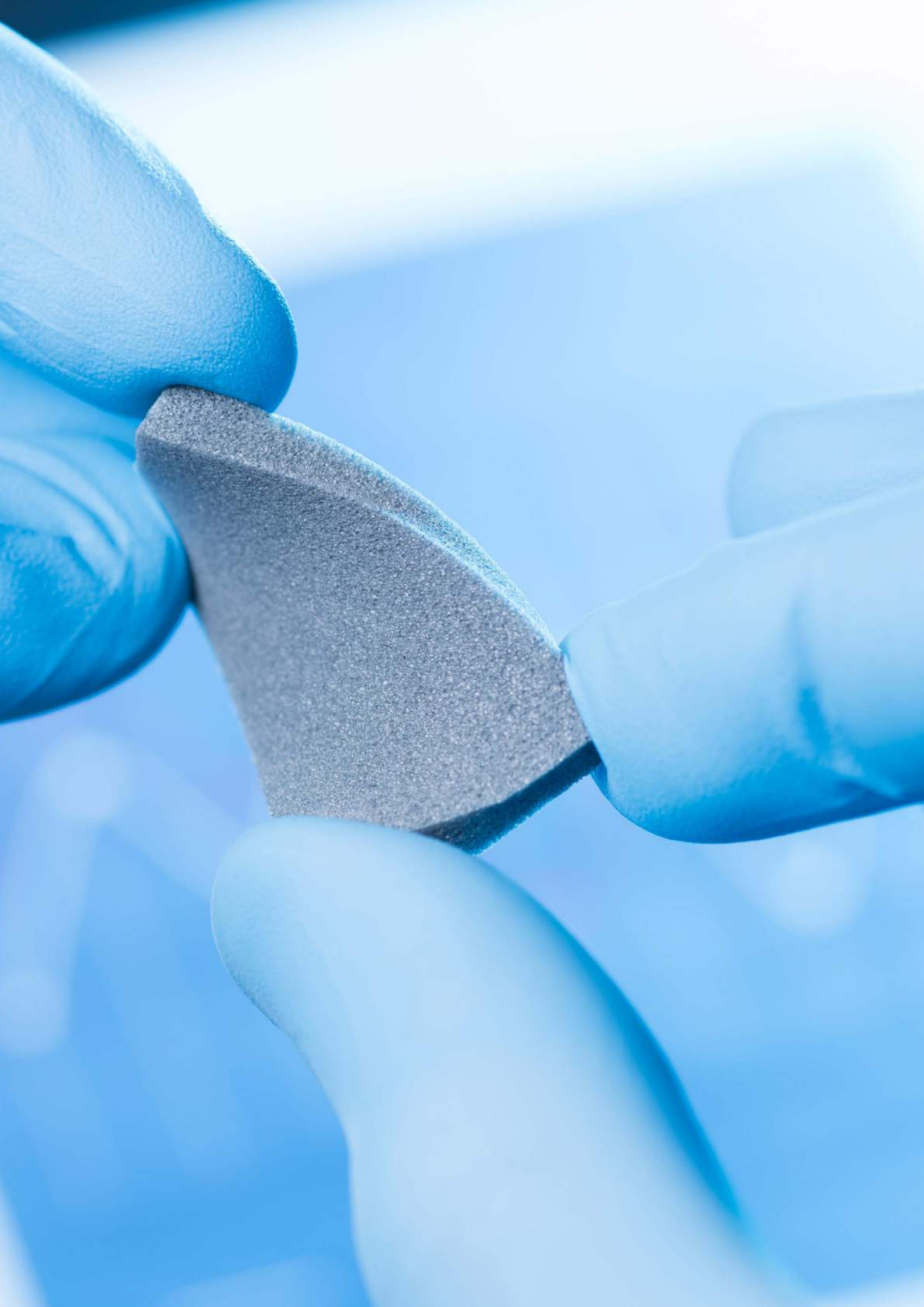
Werkstoffe sind ein Schlüsselthema für alle nachhaltigen, zukünftigen Entwicklungen in den zentralen Themen, welche die Welt beschäftigen (Globalisierung, Urbanisierung, Mobilität, Gesundheit, Ressourcen).

An den Universitäten sowie Forschungsinstituten in Österreich wird intensiv in den Werkstoffwissenschaften geforscht und es gibt etliche Firmen, die international Spitzenpositionen innehaben wie z.B. AMAG, Borealis, Infineon, RHI, TDK, TI oder die voestalpine. Die Werkstoffwissenschaften sind ein Quer-

schnittsbereich und die Basis für neue Entwicklungen, welche kontinuierlich oder disruptiv sein können.

Die voranschreitende Digitalisierung bietet eine **einzigartige Möglichkeit** ressourcenschonend zu produzieren ohne gleichzeitig den Nutzen und die Qualität der hergestellten Produkte negativ zu beeinflussen. Einen erheblichen Kostenfaktor stellen dabei die verwendeten Werkstoffe dar. **Neue Werkstoffe** müssen den künftigen technischen Anforderungen entsprechen, in ausreichender Menge verfügbar sein und preislich die Erwartung der Kunden erfüllen. ■









## 4.2. Werkstoffentwicklung

Die vier **Paradigmen der Wissenschaft**, d.h. die **empirische, theoretische, numerische** und **datenbasierte** Wissenschaft, finden sich auch in der **Werkstoffentwicklung** wieder. Das Entwickeln eines breiten naturwissenschaftlichen Verständnisses ist hierfür die Grundlage.

In den letzten Jahren gab es große Entwicklungen auf dem Gebiet der Modellierung und Simulation von Werkstoffen und der Werkstoffherstellung aufgrund der Entwicklung im IKT-Bereich. Ein weiterer wichtiger Trend ist das **Lernen von der Natur**, was zu **neuen Werkstoffkonzepten** vor allem über das verbesserte Verständnis der Funktionen verschiedener Größen- und Hierarchieebenen führt. Darüber hinaus ermöglicht der Einsatz von **Multi-Materialien** Produkteigenschaften, die mit einzelnen Materialien nicht möglich wären. Die Treiber für die Werkstoffentwicklung sind neben den stetig steigenden Anforderungen und Funktionalisierungen, neue Technologien wie Additive Fertigung, die Ressourcenschonung bei Gewinnung, Herstellung und Einsatz sowie die Recyclierbarkeit und die Kosten. Werkstoffe werden mehr und mehr maßgeschneidert, aber nicht nur in Bezug auf ihre Anwendungen, sondern auch auf die optimalen Produktionstechnologien. ■

Bedingt durch den **Klimawandel** und der steigenden Forderung nach **Kreislaufwirtschaft** verschieben sich die **Anforderungen an neu zu entwickelnde Werkstoffe** und **Werkstoffsysteme**. Eine holistische Herangehensweise im Entwicklungsprozess, der neben den klassischen Zielen der Produkteigenschaften, der Entwicklungskosten und der Entwicklungszeit auch die **nachhaltige Produktion** und **ökologischen Ziele** wie die **Rezyklierbarkeit**, die **Ökobilanz** sowie die **Vermeidung** oder **Verwertung** der bei der Produktion anfallenden **Abfälle** berücksichtigt, muss künftig als Standard gelten.

### 4.2.1. Werkstoffmodellierung und -simulation

Die **Materialmodellierung** nutzt die Erkenntnis von **physikalischen** und **chemischen Gesetzmäßigkeiten in Werkstoffen**, um diese mittels **mathematischer** und **numerischer Methoden** zu beschreiben. Die makroskopischen Gebrauchseigenschaften ergeben sich aus der Materialstruktur bzw. Änderung dieser im Zuge der Generierung, Verarbeitung und Belastungen im Einsatz. Die strukturellen Werkstoffkenngrößen aller Größenordnungen, von der Elektronen-, atomaren bis hin zur makroskopischen Struktur, müssen dafür berücksichtigt werden.

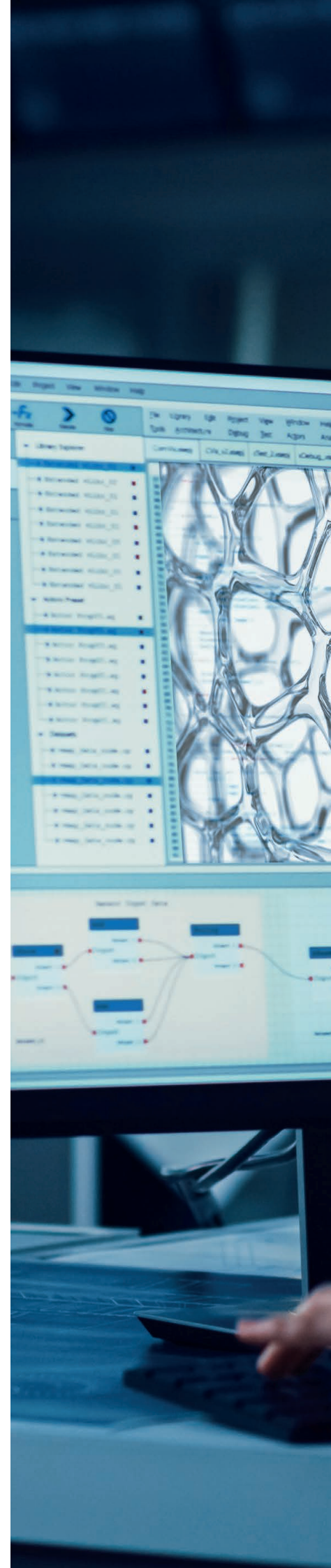
Dies wird im Ansatz der **Multiskalenmodellierung** berücksichtigt, in dem (multi-physikalische) Konstitutivgesetze mittels mesoskopischer, atomistischer und quantenmechanischer Modellierung auf die grundlegenden Mechanismen zurückgeführt und damit entscheidend verbessert werden. Die Verkopplung über die Skalen ermöglicht eine nahtlose Beschreibung von Werkstoffsystemen durch elektronische und atomistische Elementarprozesse, indem Informationen von der Nanoskala durch eine Simulationskette bis hin zur Makroskala weitergegeben werden. Ein großer Fortschritt wird in der **Verknüpfung der Elektronenstruktur-**, der statistischen und der **Molekularfeld-Theorien** erzielt, z.B. mittels der **ab initio Methoden** (Dichtefunktionaltheorie, Quantenchemie). Diese Ansätze unterstützen die Bestimmung der Bindungen und elementare Anregungszustände, von denen alle Materialeigenschaften abhängen. Auf der Ebene darüber werden die **Molekularodynamik** und die **Monte Carlo Methoden** angewandt für die Beschreibung von kinetischen Mechanismen. Auf

der **mesoskopischen Ebene** werden mittels Molekularfeld-Näherungen gemittelte dynamische Eigenschaften berechnet, sowie mit Hilfe von Automaten, wie etwa der Zellulären Automaten Methode. Schließlich werden **kontinuums-basierte, thermodynamische oder konstitutive kinetische Modelle** (Phasenfeldmethode, Navier-Stokes) auf der meso- und makroskopischen Ebene verwendet.

Die Simulationsroutinen bzw. -programme können auf unterschiedlichen numerischen Lösungsmethoden basieren, wie etwa der Finiten-Differenzen-Methode, der Finiten-Elemente-Methode oder der Finiten-Volumen-Methode.

Durch die **immer stärkere Rechenleistung** (z.B. Vienna Scientific Cluster VSC in Österreich, European High Performance Computing EuroHPC auf europäischer Ebene) können in Zukunft größere und komplexere Strukturen berechnet werden. ■

Um die Exzellenz in diesem Feld in Österreich zu halten und die wissenschaftliche Community optimal zu unterstützen, ist der **Zugang zu potenten Rechnerstrukturen** und der für die **Werkstoffmodellierung erforderlichen Software** unbedingt notwendig. Aufwendige Antragsphasen mit geringer Erfolgswahrscheinlichkeit – exzellente Anträge werden aufgrund von zu beschränkten Mitteln abgelehnt! – bei der **grundlagennahen Forschung** sind das größte Hindernis im **internationalen Wettbewerb**.





Face Tracking and Recognition

debug mode enabled

Analyzing video input...  
Tracking facial features...  
Tracking eye movement.

Root Diagram

Documentation

Nulla et diam congue, rutrum necula nec. luctus  
Felis. Donec tincidunt  
facilisis nulla, vitae

ut tristique risus. Donec lobortis imperdiet sagittis.  
Sed utper id rutrum risus.  
Donec varius lobortis mattis. Vestibulum finibus

Selection and Tracking

Output Results

Debug Log

Message	File	Priority
No Errors Recorded		skip
Track interrupted		skip
Recognition success..		skip
No Errors Recorded		skip
Track interrupted		skip
Recognition success..		skip
No Errors Recorded		skip
Track interrupted		skip
Recognition success..		skip
No Errors Recorded		skip
Track interrupted		skip
Recognition success..		skip
No Errors Recorded		skip
Track interrupted		skip
Recognition success..		skip



## 4.2.2. Werkstoffcharakterisierung

Unter dem Gesichtspunkt einer optimierten und schnelleren Entwicklung neuer Werkstoffe und der im vorigen Kapitel hervorgehobenen Bedeutung der Modellierung ist ein starker Fokus auf die Erforschung besonders **effizienter Charakterisierungsmethoden** zu setzen. Für die Ableitung von Modellparametern sowie die Verifikation bestehender Modellansätze für neue Materialien sind qualitativ hochwertige Daten ein Muss. Durch die neuen Möglichkeiten große Datenmengen rasch verarbeiten zu können, ist es z.B. möglich, den Messvorgang direkt während des Messens zu simulieren, um so deutlich genauere Ergebnisse zu bekommen. Daher gibt es aus Sicht des ÖWGP einen erhöhten Bedarf für Forschungsaktivitäten in den folgenden Analysebereichen:

### 4.2.2.1. Bildgebende Analyse

Bildgebende Methoden von der **Lichtmikroskopie** bis zur **Rastertunnelmikroskopie** sind seit Jahren weltweit im Einsatz und daher sehr gut entwickelt. Trotzdem ist es auch hier notwendig neue Schritte zu setzen, um die Effizienz weiter zu steigern. So sollte eine einfachere Bedienbarkeit lokal aber auch über das Netzwerk, schnellere Detektoren und Auswertesoftware und damit günstigere Analysemöglichkeiten in der Elektronen-Mikroskopie besondere Schwerpunkte darstellen. Um diese wiederum qualitativ hochwertig durchführen zu können, muss auch die Präparationstechnik weiterentwickelt werden. Damit sollte es auch für kleinere Labors möglich werden, gutes Probenmaterial z.B. für hochauflösende EBSD Analyse anzufertigen. Für großtechnisch hergestellte Materialien stellt auch die Charakterisierung der Variationen der Gefüge-Charakteristika eine besondere Herausforderung dar. Bei Metallen z.B. führen chemische Seigerungen aus der Flüssigphase sowie unterschiedliche thermische Zyklen im Produktionsprozess zu nicht vermeidbaren metallografischen Unterschieden und folglich zu Variationen in den lokalen Eigenschaften. Für eine saubere, statistisch aussagekräftige Auswertung muss daher auch

an Methoden gearbeitet werden, die eine schnelle Analyse großer Bereiche ermöglichen, wie z.B. die "Frequency Spectrum Spatially Resolved Acoustic Spectroscopy (F-SRAS)" Methode.

### 4.2.2.2. Chemische Analysen

Neben der **Struktur** spielt vor allem die **chemische Zusammensetzung** eine wichtige Rolle. Auch die dafür notwendigen Methoden sind gut erforscht bieten aber auch Potential zur Beschleunigung und Verbesserung der Genauigkeit. Schnelle Methoden wie die Funkerossionspektroskopie zeigen einen relativ großen Streubereich, exaktere nasschemische Analysen sind andererseits sehr aufwändig. Die ebenso bedeutsamen Analysen von lokaler oberflächennaher chemischer Zusammensetzung, wie sie z.B. mit der Auger Elektronen Spektroskopie durchgeführt werden können, sind nur schwer zugänglich und bedürfen hoher Qualifikation in der Auswertung. Auch hier sollte mit Hilfe der Digitalisierung ein einfacherer Zugang zu qualitativ hochwertigen Methoden realisiert werden.

### 4.2.2.3. In-Situ Analysen

Besonders Methoden die eine **direkte Beobachtung physikalischer Vorgänge** ermöglichen liefern einen extrem wertvollen Beitrag für den **Aufbau adäquater Materialmodelle**. So können z.B. durch Kleinwinkelstreuexperimente im Synchrotron während thermischer Zyklen Phasenumwandlungen quantitativ erfasst werden. Da der Zugang zu derartigen sehr aufwendigen und kostspieligen Methoden jedoch limitiert ist, stellt die Entwicklung günstigerer Methoden mit ähnlich qualitativ hochwertigen Ergebnissen und Methoden mit höherer temporaler Auflösung eine große Herausforderung dar. Die Weiterentwicklung von Hochtemperatur XRD, Konfokal- und Rasterelektronenmikroskope sowie die Kopplung von thermomechanischen Prüfgeräten mit Laser-Ultraschall oder Wirbelstrom Sensorik sind dafür vielversprechende Beispiele.





#### 4.2.2.4. Weitere Analysemethoden

Obschon der Fokus bei der Entwicklung neuer Werkstoffe auf deren Eigenschaft und ihrem Nutzen im Einsatz gelegt werden soll, darf sie **nicht unabhängig von den späteren potentiellen Herstellprozessen** passieren. Die Nachbildung von Produktionsprozessen im Labormaßstab ist daher ebenfalls ein wesentlicher Forschungsaspekt. Analyseseitig ist hier der Transfer der Informationen aus dem Realprozess in die Laborumgebung und damit an und für sich einfacher Daten wie Zeit, Temperatur, Druck, Verformung das wesentliche Thema. Hier liegt es vor allem daran die Größen mit möglichst hoher Genauigkeit und Reproduzierbarkeit zu erfassen. ■

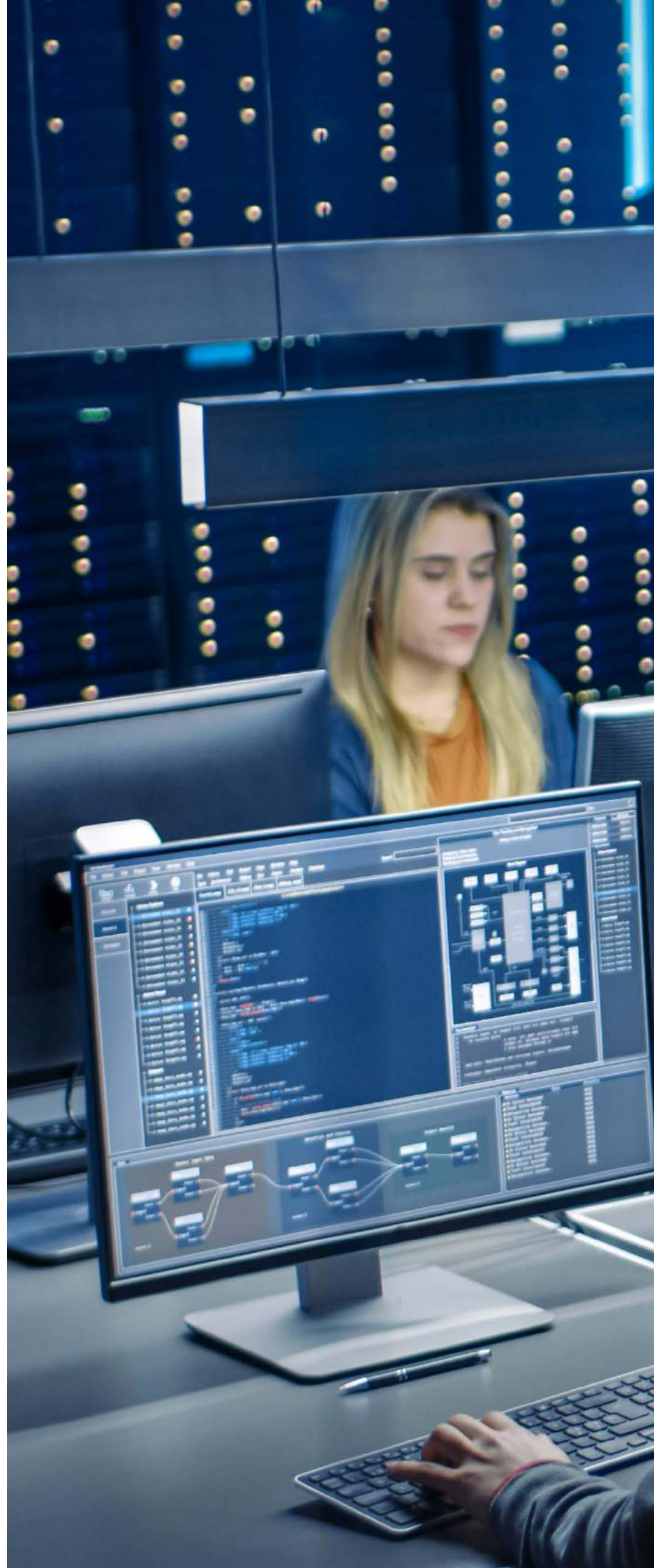
Um die **Digitalisierung in der Werkstoffentwicklung** voranzutreiben und somit einen optimierten Entwicklungsprozess zu garantieren, ist es notwendig die Werkstoffe **hinsichtlich ihrer vielfältigen Eigenschaften zu charakterisieren, Modellparameter aus Versuchen abzuleiten und Werkstoffmodelle zu verifizieren**. Dies bedingt die Investition in **moderne Analysemethoden vor Ort**, aber auch den Zugang österreichischer Forscher\*innen zu **internationalen Forschungseinrichtungen**. Durch die Digitalisierung ergeben sich **neue Geschäftsmodelle**: Firmen / Institute, welche die Daten erarbeiten, verwalten, verkaufen.


### 4.2.3. Werkstoffdatenverarbeitung

Eine weitere große Herausforderung stellt die **effiziente Verknüpfung der Material- und Prozessdaten mit passenden Materialmodellen** und **heterogener Softwareumgebung** dar.

Die heutige sehr **personalintensive schrittweise manuelle Methode** muss für eine Beschleunigung und Reduktion der menschlichen Einflussgröße weitgehend automatisiert werden. Dafür ist es nicht nur notwendig die Daten aus den einzelnen Sensorsystemen und Analysemethoden über akkurate Zeitstempel miteinander zu verknüpfen und zu archivieren, sondern es müssen auch schnelle Methoden zur Evaluierung der Fehlergrößen der jeweiligen Daten in Abhängigkeit ihrer Herkunft implementiert und berücksichtigt werden. Der Aufbau geeigneter Systeme zur Reduktion von störenden **Fehlern aufgrund mangelhafter Daten** muss ein zentraler Forschungsschwerpunkte im Bereich der Materialdatenverarbeitung vor allem im betrieblichen Umfeld sein, die **Verkettung beliebiger Softwareprodukte** ein anderer. In der Verknüpfung von Material und Prozessdaten mit der Modellwelt sind künftig besonders jene Methoden interessant die weniger starr sind, sondern sich selbständig mit zunehmender Datenmenge verbessern. Dazu ist es notwendig Daten nicht nur einseitig zum Modell hin zu koppeln, sondern auch die **Anbindung bidirektional** z.B. in Form "künstlicher Intelligenz" zu realisieren. Je höher die Menge an verwertbarer, qualitativ hochwertiger Daten ist, desto besser werden diese Methoden funktionieren. In der Grundlagenforschung ist es sinnvoll Rohdaten für die Erstellung von datenbasierten Modellen **weltweit verfügbar zu machen**, diese also im Sinne des **Open Source Gedankens** breiter zu nutzen. Die Problematik solcher Datenbanken über Werkstoffe, Prozesse, bereits durchgeführter und zukünftiger Experimente stellt hier die Verfügbarkeit der oft firmenbezogenen Daten dar, wodurch auch die weitere Entwicklung sicherer Systeme zur Verwendung anonymisierter Daten ein zukunftssträchtiges Forschungsfeld darstellt, welches auch für neue Geschäftsideen interessant werden wird.

In der Betrachtung der Nachhaltigkeit von Werkstoffen liegt ein weiterer großer Nutzen durch die Digitalisierung. Umweltrelevante Daten sollten in einer Form gesammelt werden, die es ermöglicht, Simulationen und nicht nur Materialflussanalysen durchzuführen. Eine solche Datenstruktur ermöglicht auch eine Datenanalyse über das gesamte System und verbessert so die **Umweltdatenbanken**. ■



A woman with glasses and a plaid shirt is working at a computer in a server room. The room is dimly lit with blue light from the server racks. In the foreground, a man with glasses is seen from the back, working at a computer. The computer monitors display various data visualizations, including a large network diagram on the right monitor. The overall atmosphere is professional and technical.

Die **Kooperation der Werkstoffforschung** mit der **Datenwissenschaft** sowie der Sensorentwicklung muss künftig forciert werden. Die geforderte Agilität in den datenbasierten Wissenschaften ist für die involvierten „alten“ Domänen eine Barriere, die nur durch einen **zielgerichteten Kulturwandel** abzubauen ist. Die dafür notwendige **gemeinsame Sprache** sowie Anwendung **moderner Methoden** kann durch **übergreifende Ausbildungsprogramme, kooperative Studien** und durch gezielte Förderung **multidisziplinärer Forschungsprojekte** erreicht werden.

#### 4.2.4. Künstliche Intelligenz in der Werkstoffentwicklung

Unter Anwendung des vierten Paradigmas, der **datenbasierten Wissenschaft**, können bestehende Datenmengen (Datenpools, Big Data) analysiert werden, um daraus **Gesetzmäßigkeiten** bzw. **Datenzusammenhänge zu generieren**, die **rein mathematischer** und **statistischer**, jedoch **nicht physikalischer Natur** sind. Als Beispiel hierzu können die Neuronalen Netzwerke genannt werden.

Es existiert in der Werkstoffforschung und -produktion ein großer **Messdatenpool**, spezifisch für die jeweiligen Materialien und Verarbeitungsprozesse, wie etwa die chemische Zusammensetzung, die mechanischen und physikalischen Werkstoffkennwerte und die Prozessdaten (Materialherstellung und Verarbeitung). Diese Daten können durch **physikalisch basierte Werkstoffmodellierung**, **Prozesssimulation** und **Daten für LCAs qualitativ und quantitativ erweitert werden**.

Diese Erweiterung des Datenpools kann durch Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) gesteuert werden. D.h. es müssen Algorithmen entwickelt werden, die vorhandene physikalisch basierte Modelle auswählen, um **bestehende Datenpunkte zu prüfen** sowie um **neue Datenpunkte zu generieren** und somit einen **optimierten Datenpool** zu schaffen (Hybride KI Modelle).

Unterschiedliche **Methoden der Big Data Analyse** (Reverse Engineering) können einerseits genutzt und weiter-

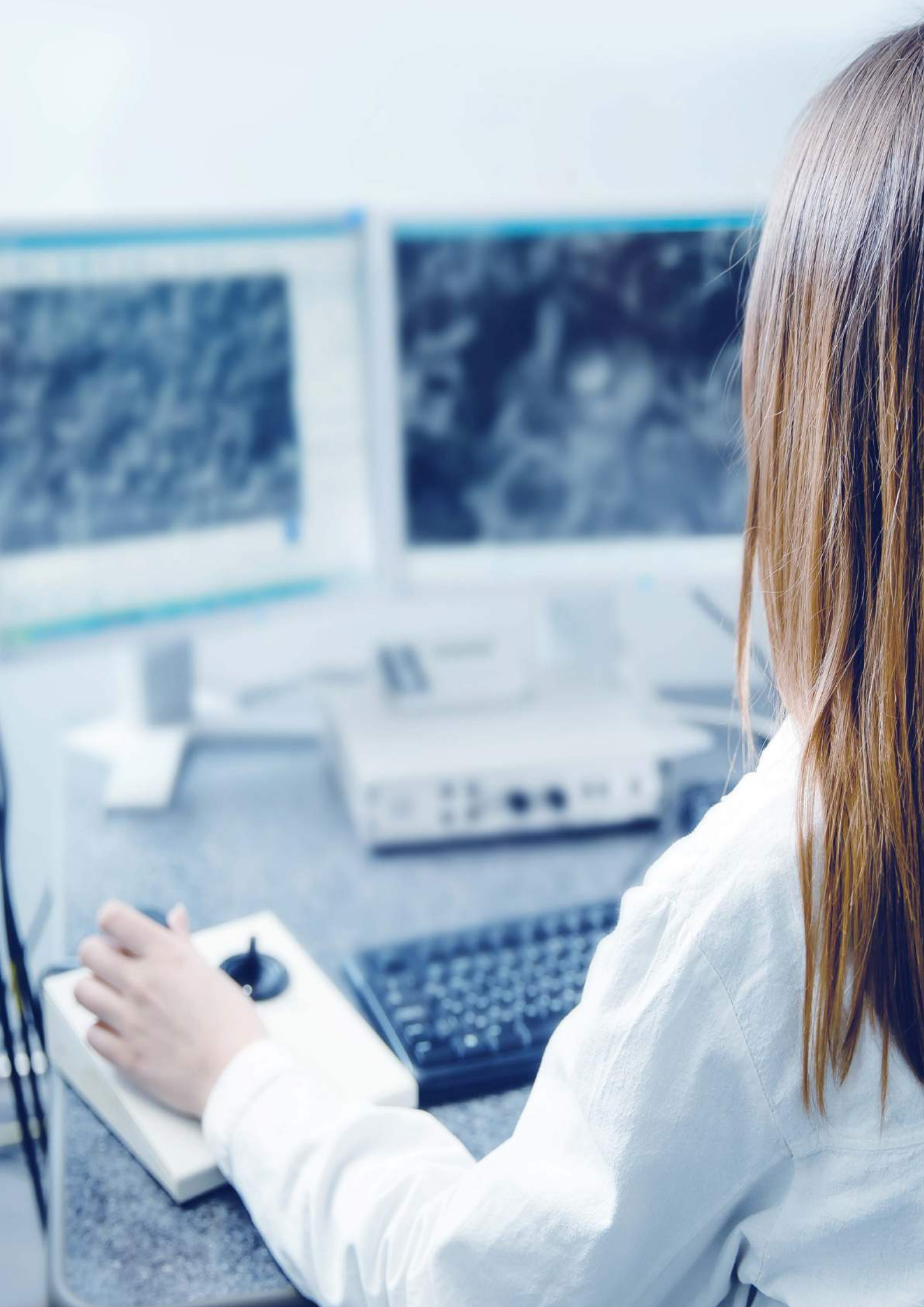




entwickelt werden, um für **neue chemische Zusammensetzungen** und gegebene Verarbeitungsrouten die **Gebrauchseigenschaften von Werkstoffen vorherzusagen**. Andererseits werden damit für eine gegebene chemische Zusammensetzung optimierte Verarbeitungsrouten berechnet, um vorgegebene Materialeigenschaften zu erreichen.

Somit können **Methoden der Künstlichen Intelligenz neue verbesserte Werkstoffe generieren** und auch **Prozessstrecken optimieren**. ■

Die **Echtzeitfähigkeit** physikalisch basierter Modelle ist **umgekehrt proportional zu der Anzahl der Einflussgrößen** im zu simulierenden Prozess. Um moderne Werkstoffe hinsichtlich ihrer Eigenschaften möglichst optimal mit minimalen Streuungen zu nutzen, ist eine **effiziente Modellierung der verketteten Herstellprozesse** notwendig. **Datenbasierte Modelle** wie z.B. **KI-Ansätze** bieten eine Möglichkeit auch **komplexe Zusammenhänge in Echtzeit zu simulieren** und damit **optimierte Prozesse** zu garantieren. Auch in diesem Thema ist die Förderung der Kooperation zwischen den Spezialist\*innen für eine erfolgreiche Implementierung von sehr großer Bedeutung.







### 4.3. Werkstoff im Einsatz

#### 4.3.1. Modellierung

Das **Monitoring von Bauteilen und deren Werkstoffen** im Einsatz kann auf unterschiedlichen Ebenen erfolgen. Zyklisch belastete Teile werden bei definierten **Wartungsintervallen auf Risse** hin untersucht. Von kritischen Rissen wird mittels **Bruchmechanik** die Wachstumsgeschwindigkeit und somit die **Restlebensdauer** bis zum Austausch berechnet. In Kraftwerken werden Referenzproben mit der gleichen Belastung wie Realkomponenten verbaut, um diese in Prüfintervallen auf Schäden hin zu untersuchen. Structural health monitoring Methoden werden etwa im Brückenbau, in der Luft- und Raumfahrt oder in Windkraftanlagen eingesetzt zur Bestimmung und Zustandsüberwachung eines Überwachungsobjektes.

Schließlich können die oben geschilderten Methoden der Werkstoffmodellierung auch genutzt werden, um **lebensdauerbegleitende Vorhersagen der Resteinsatzzeit** zu treffen. Mit Kenntnis der modellierten Gefügestruktur des Bauteils unter Berücksichtigung der Materialherstellung und -verarbeitung können auch die **Gefügeänderungen** im Zuge des Einsatzes berechnet werden. Diese Methode kann einerseits, bei exaktem Wissen der im Betrieb auftretenden Belastungen, für die Auslegung von Komponenten herangezogen werden. Andererseits können Messdaten der Belastungen direkt in ein lebensdauerbegleitendes Modell eingespeist werden, um den aktuellen Materialzustand zu berechnen.

Neben den geschilderten Methoden der Modellierung der Strukturevolution des ungeschädigten Gefüges sind zusätzlich **Modelle der Materialschädigung** (Initiierung und Wachstum) einzusetzen. Ein Beispiel hierzu ist die Berechnung von thermomechanisch belasteten Komponenten und deren Kriechbelastung. Hierbei kann das primäre, sekundäre und tertiäre Kriechen inklusive Porennukleation, -wachstum und -koagulation berücksichtigt und daraus die Restlebensdauer bestimmt werden. Auch in diesem Bereich ist der Einsatz von Methoden der künstlichen Intelligenz möglich, wenn ausreichend Daten vorhanden sind. ■

Um die **Eigenschaftsänderungen** und insbesondere das **Versagen** der im Einsatz befindlichen Werkstoffe **statistisch bewerten** zu können und darauf aufbauend automatisch Maßnahmen abzuleiten, ist es notwendig, **Daten während der Produktnutzung strukturiert und sauber zu erheben** und diese der wissenschaftlichen Community zugänglich zu machen. Neben der **Weiterentwicklung der Sensorik** sowie der **Lebensdauermodelle** sind vor allem die Entwicklung **sicherer Methoden** für den **externen Datenzugriff** sowie klare Regeln für die **Datenverantwortlichkeiten** zentrale zu lösende Herausforderungen.

### 4.3.2. Life Cycle Management

Die zunehmende **Ausbeutung der natürlichen Ressourcen** und deren negativer Einfluss auf unsere Umwelt stellt uns auch in der Materialentwicklung vor große Herausforderungen.

Wenngleich für viele existierende Werkstoffe bereits **Kreislaufprozesse** bestehen, so haben diese hinsichtlich ihrer Effizienz und Umweltverträglichkeit oft noch Entwicklungspotential. Für neue Werkstoffe ist es in Zukunft auch bedeutsam die **Circular Economy Szenarien** bereits in der Entwicklung zu berücksichtigen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass Materialien mit höherer Eco-Effizienz bessere Marktchancen haben werden als schlecht wiederverwertbare. Aus diesen Gründen ergibt sich auch in diesem Bereich großer Bedarf an künftiger Forschungstätigkeit.

Bei Metallen sind dabei natürlich die klassischen Recycling Prozesse über die Flüssigphase im Vordergrund. Auch bei sortenreiner Trennung sind diese Prozesse sehr energieaufwendig und kostenintensiv. Vielversprechende Ansätze liefern Methoden die das Material direkt aus dem festen Zustand, zwar mit Einbußen hinsichtlich Eigenschaften, dafür mit geringem Aufwand zu neuen Produkten verarbeiten.

Allen voran ist das unter dem Begriff **Upcycling** verbreitete direkte Verarbeiten von einzelnen Teilen eines Produktes zu nennen. Kreativen Köpfen sind dabei keine Grenzen gesetzt. Technisch im größeren Stil gedacht gibt es hier jedoch durchaus noch Entwicklungspotential. ■





Auch die Entwicklung **smarter Materialien**, die sich selbständig an äußere Umgebungsbedingungen anpassen wie z.B. selbstheilende Werkstoffe sind ein bedeutendes Forschungsfeld mit hohem Entwicklungspotential. Wesentliche Hilfe bei allen diesen Life Cycle Prozessen könnte das digitale Abbild des Materials über den ersten Lebenszyklus hinaus liefern. Ohne firmenübergreifendes Materialdatentracking ist dieses jedoch nicht realisierbar und stellt somit zwar ein interessantes Potential, aber einen komplexen und nur sehr langfristigen Umsetzungsprozess dar.

Die **heutige lineare Wirtschaft** mit ihrem hohen Bedarf an Rohstoffen ist einer der **wesentlichen Treiber für den Klimawandel**. Ein **nachhaltiger Umgang** mit unseren Ressourcen im Rahmen der **Kreislaufwirtschaft** ist die in der EU angestrebte Lösung. Dafür muss bereits bei der Entwicklung von neuen Werkstoffen und neuen Produkten in der Konzeptphase das Ende ihres Lebenszyklus umfassend betrachtet werden. Neben dem Ansatz des **Design für Recycling** – sowohl für Werkstoffe als auch für Produkte – und der **Optimierung der Recyclingmethoden** muss der Fokus auch auf **Reparaturkonzepte, selbstheilende Systeme** und eine **alternative Nachnutzung der Materialien** gesetzt werden. Für die Bewertung der besten Lösungen müssen umfangreiche **Ökobilanzen** erstellt werden.

# Ziele

## Der Weg zum “NEW DEAL IN PRODUCTION“

Auf dem anspruchsvollen Weg zur **Klimaneutralität** ergeben sich für alle Beteiligten in Zukunft Aufgabenstellungen mit noch höherer **Verantwortung** als bisher, eine lebenswerte Umwelt an die nachfolgenden Generationen weiterzugeben.

Der tradierte Konflikt zwischen **ökonomischen und ökologischen Zielen (Klimazielen)** kann nur durch verbesserte und neue, **nachhaltige Technologien und Systeme** aufgelöst werden.

Dazu sind **Kreativität, Motivation** und **höchste Qualifikation** mehr denn je gefordert.

Attraktive Produkte, effiziente Produktionssysteme und leistungsfähige Werkstoffe sind unverzichtbare Eckpfeiler für eine erfolgreiche Zukunft der produzierenden Wirtschaft in Hochlohnländern wie Österreich. Die zur Realisierung von Produkten eingesetzten Technologien müssen neueste Forschungsergebnisse nutzen, um einerseits immer wieder neue **Innovationsvorsprünge** in Produkten und Prozessen generieren zu können und andererseits die Umsetzung übergeordneter, gesellschaftlicher Zielsetzungen wie **CO<sub>2</sub>-Neutralität, Ressourcenschonung oder Kreislaufwirtschaft** zu ermöglichen.

Aus den in Kapitel 1 identifizierten, **aktuellen Herausforderungen** für Österreichs produzierende Wirtschaft und den in den Kapiteln 2 bis 4 gegebenen detaillierteren Einblicken in die drei Bereiche **Produktionssysteme, Produkte** und **Werkstoffe** werden im Sinne einer zusammenfassenden Gesamtsicht die folgenden **Ziele, Maßnahmen** und **thematischen Schwerpunkte** zur Umsetzung des “NEW DEAL in Production“ und damit zur **Stärkung der Produktion in Österreich** abgeleitet.

### Klimaziele

- Klimaneutralität Europas bis 2050
- Ressourcenschonung, CO<sub>2</sub>-Neutralität
- Nachhaltige Produkte durch nachhaltiges Produktdesign und nachhaltige Produktion
- Kreislaufwirtschaftssysteme für Rohstoffe, Werkstoffe, Produkte (re-use, upcycling, recycling)

### Nachhaltige Technologien

mit Potenzial zur Lösung von Zielkonflikten zwischen

- ökonomischen Zielen
- Klimazielen
- Akzeptanz

durch Förderprogramme und Anreizsysteme

### Ökonomische Ziele

- Rasche Erholung in/nach COVID-19
- Stärkung der Produktionswirtschaft, Wettbewerbsfähigkeit, Prosperität der österreichischen Wirtschaft
- Stärkung österreichischer “Product-Owner“
- Schaffung und Sicherung von Arbeitsplätzen

### Resilienz der Produktion

- Robustheit, Unabhängigkeit, Stabilität
- Ökologisch produzierende Wertschöpfungsnetze statt konventioneller Lieferketten
- Breite Akzeptanz, Erklärbarkeit, soziale Verträglichkeit
- Einklang zwischen Mensch, Technik, Gesellschaft, Umwelt

### Ausschöpfung der Potenziale von Digitalisierung, Agilität und AI

- in Werkstoffentwicklung
- in Produktentwicklung
- in Produktion

### Zielerreichungs-Katalysatoren

- Forschungsexzellenz bei Werkstoffen, Produkten und Produktion
- Motivierte, gut ausgebildete Menschen als wichtigste Ressource für Österreich
- Innovationsfreundliches Umfeld

# Thematische Schwerpunkte

## **Transformation zu agilen, resilienten, ökologischen Wertschöpfungsnetzen**

- Autonome, agile, kognitive Produkte und Produktionssysteme mit "Denkfähigkeit", "Gedächtnis" und Zielen
- Automatisiertes Entscheiden
- Systemübergreifende Optimierung für ressourcenschonende Produktion

## **Durchgängige Digitalisierung**

Durchgängige, digitale Repräsentationen (digitale Zwillinge) von

- Werkstoffen inkl. Herstell- und Verarbeitungstechnologien,
- Produkten über alle Lebensphasen
- Produktionssystemen, -prozessen
- Engineeringprozessen (Product Engineering, Digital Engineering, MBSE)
- Integrierte, flächendeckende Informationssysteme
- Standards (Schnittstellen, Kompatibilität)
- Komplexen, vernetzten Systemen

## **Modellbasierte Methoden**

Modellierung, Simulation und Optimierung von

- Werkstoffen (multi-scale)
- Produkten und Produktionssystemen (multi-physics, multi-level)
- Engineeringprozessen

Verbesserung der Durchgängigkeit, Konsistenz, Nachverfolgbarkeit von Modellen, Parametern, Informationen und Daten

## **Datenbasierte Methoden (Big Data, AI, Machine Learning)**

Nutzung der Datenfülle aus Produktion, Produktnutzung und Service für

- Prognosen
- Zustandsüberwachung
- Produkt-Updates
- Produktverbesserungen

## **Verschmelzung von modell- und datenbasierten Methoden**

Nutzung von

- datenbasierten Methoden zur Adaption von Modellen
- Modellen zur Unterstützung datenbasierter Methoden





### **Klima-Neutralität**

- Kreislauffähigkeit und Ressourceneffizienz von
  - Werkstoffen
  - Produkten (über alle Lebensphasen)
  - Produktionssystemen
  - Engineeringprozessen
- Nachhaltiges Produktdesign und Produktion
- Bewertung der Nachhaltigkeit mittels Life-Cycle Assessment
- Ausschöpfung aller Potenziale aus Digitalisierung, Kognifizierung und AI
- Neugestaltung von Kreislaufwirtschaftssystemen (Re-Manufacturing, Upcycling, Recycling)
- "Green Technologies" als Chance für Industrie und Arbeitswelt
- Umweltschonung als Chance und Sinnstiftung

### **Kognitive Technische Systeme**

- Produkte und Produktionssysteme als kognitive Systeme
- Einbettung kognitiver Fähigkeiten
- Menschenähnliches Handeln ("act human-like")
- Erklärbarkeit von Entscheidungen
- Begründbarkeit des Verhaltens

### **Embedded AI**

- Miniaturisierung, kleinste Ausführungsplattformen (Mobile AI, Edge AI, Embedded AI)
- Internet der "denkenden Dinge"
- Edge AI zur Kognifizierung in der Realgüterproduktion
- Energieautarkie durch Energy-Harvesting als Schlüsselfrage

### **Dependable IoT**

- Zuverlässiges Funktionieren selbst unter hochdynamischen, unvorhersehbaren und harschen Umgebungsbedingungen
- Internet der "verlässlichen Dinge" für fehlertoleranten Betrieb auch für sicherheitskritische Missionen
- Nachweis der Praxistauglichkeit als Voraussetzung für breite Akzeptanz

# Strukturelle Maßnahmen

## Förderprogramme

- **Bipolare Strukturförderung:** Einerseits IKT, andererseits Produktionstechnik bei gleichzeitig zusätzlicher Dotierung
- **Stimulierung von Innovationsschüben:** Durch die Intensivierung der Förderung von Forschung im Bereich der Interaktion zwischen Produktionstechnik und IKT
- für Investitionen in **Rapid-Prototyping Infrastruktur**
- für Investitionen in **Cross-sektorale Data-sharing Infrastruktur**
- zum Ausbau der Möglichkeiten für **Simulation** (besonders in KMUs)
- von Maßnahmen zur Senkung des **Energieeinsatzes** in der produzierenden Industrie
- zur unternehmensübergreifenden **Resilienz**-Erhöhung
- zur Entwicklung von **Lieferantenstrategien/Beschaffungsstrategien** zur **Austauschbarkeit** von Werkstoffen und Bauteilen
- zur Unterstützung von **make-or-buy Entscheidungen**
- für **neue Werkstoffe** und ihre Verarbeitung zu innovativen Produkten mit **speziellen Funktionalitäten**
- Entwicklung und Ausbau **niederschwelliger Einstiegshilfen** für KMUs ("Innovations-Scheck")

## Förderung von Pilotprojekten, Pilot- und Lernfabriken, FabLabs

- zur raschen und frühen **Validierung von Ideen** und Konzepten
- zur **Schulung** im Bereich Digitale Produktion, Additive Fertigung, insb. für Mitarbeiter\*innen aus der produzierenden Industrie
- Unkonventionelle, experimentelle und talentfördernde **Wissensgewinnungs-** und **Wissensvermittlungstechniken**

## Qualifizierung

- Fördermaßnahmen zur **Begeisterung junger Menschen** für **technische Studien** und **Berufe**
- Ausbildung hochqualifizierter Fachkräfte auf allen Ebenen der Organisation
- Fördermaßnahmen zur breiten Etablierung von **Diversität** und **Inklusion**





# NEW DEAL IN PRODUCTION

 **ÖWGP**  
Österreichische Wissenschaftliche  
Gesellschaft für Produktionstechnik

# “Kulturelle” Massnahmen



## Innovationsfreundlichkeit

- Stärkung eines **innovationsfreundlichen Klimas**
- Bekenntnis zu **Forschung / Entwicklung / Innovation**
- **Wertschätzung** und **Anerkennung** von Innovationen
- Optimismus, **Mut zum Scheitern**, Fehlertoleranz, Durchhaltevermögen
- **Überzeugungsfestigung** aus **Rückschlägen** ableiten
- **Innovation als Katalysator** zum Aufbau von Kulturkapital

## Offenheit und Vertrauen

- **Hands-On-Kultur** und **Experimentfreude**
- **Offener Diskurs** zu den Chancen und Risiken neuer Technologien und Geschäftsmodelle
- Förderung von Kreativität durch Akzeptanz unterschiedlicher Lösungsansätze in einer **fehlertoleranten Unternehmenskultur**

## Partnerschaftlichkeit

Schulterschluss zwischen

- **Industrie**
- **Wissenschaft**
- **Politik**


auf gleicher Augenhöhe

## Exzellenzanspruch

- Bekenntnis zur **Exzellenzforschung** als **fundamentale Strategie**
- **Langfristperspektive** beim **Exzellenzaufbau**
- Begleitende **langfristige Perspektiven** für Exzellenzforschung auf allen Ebenen anbieten
- Überprüfung durch **periodische Evaluierungen**

## Pragmatik

- Chancen **suchen, erkennen** und **wagen**
- Fokussierung auf **Stärken** und neue, **aussichtsreiche Möglichkeiten**
- Erfolg durch **opportunistische** Ergreifung und Nutzung **spontaner Chancen**



## Anreize für Klimaziele

Z.B. durch

- Einschränken von **“one-way-products“** und geplanter **Obsoleszenz**
- Einführung eines **Verbots** der **Vernichtung** nicht verkaufter langlebiger Güter
- Anreize für **Product-as-a-Service** Geschäftsmodelle



[www.oewgp.at](http://www.oewgp.at)

© 2021, ÖWGP, Karlsplatz 13, 1040 Wien, Österreich. Alle Rechte vorbehalten. Die Urheberrechte und Nutzungsrechte der Vorträge und deren Inhalte verbleiben bei den jeweiligen Rechteinhaber\*innen. Die Vervielfältigung oder Verbreitung dieses Dokuments ganz oder teilweise, sei es auf Papier, im Internet oder auf einem anderen Medium, bedarf der Genehmigung der jeweiligen Rechteinhaber\*in.