



IFOK.

Bericht

Rat für Nachhaltige Entwicklung (RNE)

Industrie 4.0 und Nachhaltigkeit:  
Chancen und Risiken für die Nachhaltige  
Entwicklung

Berlin, 30.12.2016

## Inhalt

1.	<b>Ausgangssituation</b> .....	2
2.	<b>Grundlegende Fragestellungen und Rahmenbedingungen der digitalen Transformation mit Blick auf Nachhaltigkeit</b> .....	2
3.	<b>Handlungsempfehlungen</b> .....	7
4.	<b>Das Beispiel: Circular Economy</b> .....	10
5.	<b>Experten</b> .....	12
6.	<b>Autoren</b> .....	13
7.	<b>Quellen</b> .....	13
8.	<b>Anhang</b> .....	14

## 1. Ausgangssituation

---

Der digitale Wandel ist eine der prägenden Entwicklungen unserer Zeit. Treiber dieser dynamischen Entwicklung sind vor allem die technologischen und prozessualen Möglichkeiten, die sich in besonderer Weise im Bereich der „Industrie 4.0“ eröffnen. Mit Blick auf eine nachhaltige Entwicklung stehen hierbei die Synergien, zum Beispiel durch Effizienzgewinne auf der Ressourcenseite, Konflikte, zum Beispiel durch Rebound-Effekte, entgegen.

Der Rat für Nachhaltige Entwicklung (RNE) ist bereits mit vielfältigen Aktivitäten im Themenfeld Industrie 4.0 aktiv, unter anderem zu aktuellen Fragen der High-Tech-Strategie der Bundesregierung. Allerdings wird der explizite Zusammenhang zwischen einer nachhaltigen Entwicklung und den Chancen und Risiken der Industrie 4.0 bislang nicht strukturiert und systematisch betrachtet.

Ziel dieses Berichts ist, auf Basis eines Expertenworkshops, Interviews und aktueller Literatur, die Debatte zu strukturieren und mögliche Handlungsfelder zu skizzieren. In diesen Handlungsfeldern soll es gelingen, mit Hilfe technologischer und prozessualer Möglichkeiten im Bereich Industrie 4.0 Nachhaltigkeitsziele besser zu erreichen. Nachhaltigkeit wie Digitalisierung bedeuten aber auch, mit Zielkonflikten umzugehen. Es sollen daher gleichzeitig mögliche kritische Entwicklungen aufgezeigt werden, zum Beispiel hinsichtlich der Verfügbarkeit und des Eigentums an Daten oder Transparenz und Kontrolle etwa bei Rückverfolgbarkeit von Produkten.

Aus Sicht der nachhaltigen Entwicklung sind vor der Spezifizierung einzelner Themen übergeordnete Aspekte wichtig. Hier geht es um die Sicherheit und Zuverlässigkeit der Datensysteme, insoweit diese eine Voraussetzung für moderne Infrastrukturen sind und zu der schlichten Aufrechterhaltung von staatlichen und demokratischen Strukturen zwingend erforderlich sind. Freiheitliche Grundordnungen können durch Datenmanipulationen ernsthaft gefährdet werden. Die Nachhaltigkeit (Planet, People, Prosperity, Peace, Partnership) ist mit Cyber-Angriffen und verdeckten Manipulationen ebenso wenig vereinbar wie etwa mit der Missachtung von Menschenrechten und kriegerischer Aggression.

Dieser Bericht versteht sich als Anstoß zu einer Diskussion, die in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft geführt werden muss. Aufbauend auf bisherigen Erkenntnissen werden hier **Thesen**, **Leitfragen** und **Handlungsempfehlungen** formuliert, die hinweisen, in welchen Feldern besonders große Potenziale von Industrie 4.0 für eine nachhaltige Entwicklung liegen. Die globalen Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen (Sustainable Development Goals, SDGs) werden dabei als Diskussionsrahmen genutzt.

## 2. Grundlegende Fragestellungen und Rahmenbedingungen der digitalen Transformation mit Blick auf Nachhaltigkeit

---

Den Handlungsempfehlungen in diesem Bericht liegen Thesen und Leitfragen zu Grunde, die die Autoren auf Basis von Interviews und einem Workshop mit renommierten Experten sowie vertiefender Literaturrecherche entwickelt haben:

Die Verknüpfung von Industrie 4.0 und nachhaltiger Entwicklung bedarf eines neuen Wirtschaftsverständnisses mit einer spezifischen Indikatorik zur Erfolgsmessung.

Basis für eine erfolgreiche Nutzung der Potenziale von Industrie 4.0 für eine nachhaltige Entwicklung ist die gesellschaftspolitische Verankerung eines auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Wirtschaftssystems. Die Spannbreite der möglichen Entwicklung reicht von einer auf „grünes“ Wachstum fokussierten „Green Economy“, über „inklusives“ Wachstum, wie es in den globalen Nachhaltigkeitszielen verankert ist, bis hin zu „degrowth“ Konzepten, die lediglich qualitatives Wachstum akzeptieren würden. Hierbei stellt sich

zudem die weitreichende Frage, dass mit Industrie 4.0 und der Digitalisierung der Gesellschaft Wertschöpfung nicht mehr nur aus den Faktoren Kapital, Ressourcen und Arbeit entsteht, sondern dass die Daten selbst zur Quelle von Wertschöpfung werden.

- *Wie muss ein neues Wirtschaftssystem gestaltet sein, das auf nachhaltigen Geschäftsmodellen die Realisierung der globalen Nachhaltigkeitsziele fördert?*
- *Inwieweit müssen Daten als Quelle von Wertschöpfung betrachtet werden und inwieweit sind hierzu politische Konzepte erforderlich, dies zu regeln?*
- *Lässt sich der Ressourcenverbrauch durch höhere Besteuerung minimieren?*
- *Können wir unseren Wohlstand ohne Wachstum dauerhaft erhalten?*
- *Welche Forschungsschwerpunkte sind im ökonomischen Bereich notwendig, um neue Wirtschaftsmodelle und deren Auswirkungen zu ergründen (z.B. Transformationsforschung)?*
- *Wie wollen wir Erfolg unter den Rahmenbedingungen nachhaltiger Entwicklung messen?*
- *Wie kann ein Indikatorensystem aussehen, in dem der technologische Fortschritt (Industrie 4.0) und die Anforderungen der Nachhaltigkeitsziele kohärent miteinander verknüpft sind?*

Regulatorische Rahmenbedingungen für Industrie 4.0 sollten technologische Entwicklungsrichtungen vorgeben, ohne Raum für Innovationen zu nehmen.

Eine Voraussetzung für die erfolgreiche Verbindung von Industrie 4.0 und Nachhaltigkeit ist der Aufbau von geeigneten regulatorischen Rahmenbedingungen. Diese setzen auf der einen Seite ganz neue Formen der Zusammenarbeit voraus, auf der anderen Seite gilt es, die Möglichkeiten der Regulierung für die Erreichung der globalen Nachhaltigkeitsziele zu nutzen.

- *Wie kann Regulierung „smart“ gestaltet werden, um sich, an den sich immer schneller ändernden technologischen Rahmenbedingungen zu orientieren?*
- *Wie kann Regulierung von Industrie 4.0 so gestaltet sein, dass sie der nachhaltigen Entwicklung dient, ohne die wirtschaftliche Grundlage in Frage zu stellen?*
- *Welchen Beitrag kann Regulierung zur nachhaltigen Änderung des Wirtschaftssystems leisten?*
- *Wie kann sichergestellt werden, dass die Regulierung auf unterschiedlichen staatlichen Ebenen im Sinne der globalen Zielsetzung erfolgt?*

Die Wirtschaft wird stärker geprägt durch komplexe Wertschöpfungsnetzwerke, neue Geschäftsmodelle und die Herausforderungen des technologischen Forecasts.

Das Angebot von Produkten und Dienstleistungen entsteht künftig nicht mehr entlang linearer Wertschöpfungsketten, sondern in flexiblen Wertschöpfungsnetzwerken. Ein Ergebnis dieser immer dynamischer werdenden Entwicklung ist unter anderem die mangelnde Planbarkeit. Dies zeigt sich allein an der Entwicklung der vergangenen zehn Jahre.

- *Welche Kompetenzen zur Arbeit in neuen Kooperationsformen sind auf Organisationsseite notwendig, um Wertschöpfungsnetzwerke transparent und „nachhaltig“ zu gestalten?*
- *Welche Anforderungen müssen digitale Geschäftsmodelle im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung erfüllen?*
- *Wie kann ein technologischer Forecast für die Verwirklichung von Nachhaltigkeitszielen eingesetzt werden?*
- *Wie sind die Anforderungen nach flexiblen, agilen Systemen mit einer langfristigen Zielsetzung der Nachhaltigkeit vereinbar?*

Künstliche Intelligenz und embedded Software werden die zentralen Treiber in Entwicklung, Produktion und Betrieb neuer Produkte und Services.

Physische Produkte werden sich künftig fast ausschließlich über ihre Software definieren. Diese Softwarebasierung führt zu einem völlig neuen Verständnis, bei dem Kommunikation zum zentralen „Enabler“ für Digitalisierung wird. Die Entwicklung der Software wird zunehmend durch intelligente, selbstlernende Systeme vorangetrieben.

- *Inwieweit führen softwaredefinierte Produkte zu weniger Materialverbrauch und weniger Verschwendung?*
- *Wie lässt sich Software in Richtung nachhaltige Entwicklung steuern, wenn intelligente Algorithmen eine stetige Weiterentwicklung bestehender Systeme betreiben, ohne dass sie im Detail vom Menschen gesteuert werden?*
- *Inwieweit kann Künstliche Intelligenz für die Verwirklichung der Nachhaltigkeitsziele genutzt werden?*

Der Trend der „Mass-Personalization“ wird sich verstärken und mit möglichen Auswirkungen auf die nachhaltige Entwicklung einhergehen.

Der digitale Wandel ermöglicht künftig durch ortsunabhängige Produktion individualisierte Produkte zu Kosten von Massenproduktion herzustellen. Dies könnte im nächsten Schritt „Mass-Sustainability“ und schließlich die De-Carbonisierung nach sich ziehen.

- *Wie lassen sich bei einer zunehmenden Individualisierung und vereinfachter, günstiger Produktion Rebound-Effekte und Materialverschwendung vermeiden?*
- *Wie können Produktionsverfahren und neue Technologien einen Beitrag zur gesamtheitlichen Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstosses beitragen, bzw. einen Beitrag zur De-Carbonisierung leisten?*

Es besteht ein großer Forschungsbedarf an den Wechselwirkungen von Industrie 4.0 und der nachhaltigen Entwicklung.

Dringlich ist eine breit angelegte Erforschung der nachhaltigkeitspolitischen Konsequenzen, die sich aus der Industrie 4.0 und Digitalisierung der Gesellschaft ergeben. Auch umgekehrt sollte nach den sich aus Nachhaltigkeitsstrategien ergebenden Möglichkeiten zur besseren Nutzung von digitalen Daten und den damit verbundenen Prozessen gefragt werden. Eine systematische Erforschung dieser Aspekte steht bislang aus. In Deutschland bringt die nachhaltige Entwicklung bereits jetzt schon neue Partnerschaften zwischen Staat, Wirtschaft und Politik/Öffentlichkeit hervor wie z.B. das Textilbündnis oder das nachhaltige Bauen, nachhaltige Produkt- und Rohstoffherzeugung am Beispiel Kakao, Holz, Fisch. Dieser Trend wird sich verstärken und verbreitern. Nötig sind gezielte Forschungs-Strategien für Datenaustauschplattformen, die private und kommunale / öffentliche Daten branchen- und sektorbezogen zusammenbringen.

- *Inwieweit ergeben sich Wechselwirkungen zwischen Industrie 4.0 und bereits bestehenden Nachhaltigkeitsstrategien, die sich in konkreten Partnerschaften zwischen Wirtschaft und Politik nutzen lassen?*
- *Wie lassen sich ganzheitliche Forschungsstrategien entwickeln, die über die bisherigen Branchen- und Sektorgrenzen hinaus die notwendigen Erkenntnisse zusammentragen?*

Es ergeben sich Handlungsfelder aus Industrie 4.0 bezogen auf die Nachhaltigkeitsziele.

Bringt man die Themen der Industrie 4.0 mit den globalen Nachhaltigkeitszielen (SDG) zusammen, lassen sich konkrete Handlungsfelder identifizieren. In der folgenden Themenlandkarte sind acht besonders relevante Themen zur Fragestellung abgebildet:

***„Wo gelingt es aufgrund neuer technologischer und prozessualer Möglichkeiten im Bereich Industrie 4.0 Nachhaltigkeitsziele besser zu erreichen?“***

Die jeweiligen Bereiche aus der Industrie 4.0 sind in der Darstellung mit passenden Nachhaltigkeitszielen verknüpft. Die in der Themenlandkarte entwickelten Empfehlungen basieren auf Leitfragen zum Thema (siehe Anhang) und beziehen sich auf die Kategorien „nachhaltige Produkte“, „nachhaltige Produktionsprozesse“, „Governance“ und „Unternehmensentwicklung“.

In den folgenden Abschnitten werden auf dieser Basis konkrete Handlungsempfehlungen erarbeitet und anhand des Themas „Circular Economy“ exemplarisch eine tiefere Betrachtung vorgenommen.

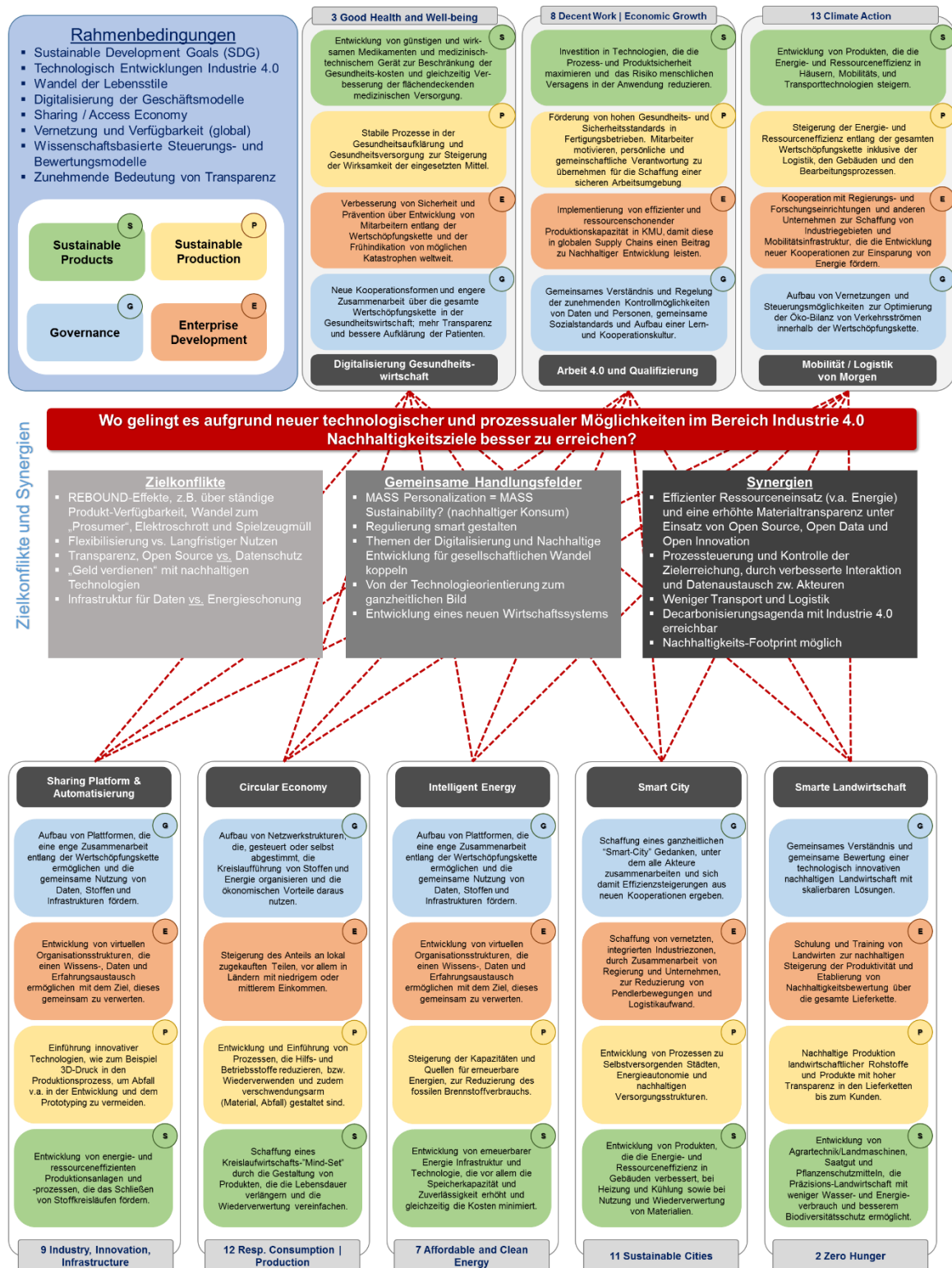


Abbildung 1: Themenlandkarte mit Handlungsfeldern aus Industrie 4.0 bezogen auf die SDGs.

### 3. Handlungsempfehlungen

---

Mit den globalen Nachhaltigkeitszielen erfährt die Debatte um eine nachhaltige Entwicklung eine Strukturierung, die anschlussfähig ist an andere gesellschaftliche und technologische Veränderungen. Der digitale Wandel – hier im Besonderen die neuen technologischen Entwicklungen durch Industrie 4.0 – können über konkrete Themen (z.B. Smart City, eHealth, Arbeit 4.0, Mobility) einen guten Beitrag zur Realisierung von Nachhaltigkeitszielen leisten, sofern diese Themen gesamtheitlich betrachtet werden.

**Die tiefgreifenden Veränderungen, die aktuell die Digitalisierung in nahezu allen Lebensbereichen verursacht, sollten daher genutzt werden, um die Ziele einer nachhaltigen Entwicklung fest in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft zu verankern.** Nachhaltige Entwicklung könnte in diesem Fall mit ihren kohärenten Zielen in die Veränderungen der Digitalisierung so eingebunden werden, dass starke Synergien zwischen der digitalen und der Nachhaltigkeits-Transformation erzeugt werden.

Ziel dieses Abschnitts ist es, übergreifende Handlungsempfehlungen zu entwickeln, die eine konkrete Hebelwirkung von Industrie 4.0 auf einen maximalen positiven Nachhaltigkeits-Effekt entfalten können.

**Für die Nachhaltigkeitsziele verschränkt mit Industrie 4.0 Lösungen in, mit und durch Deutschland realisieren.**

Deutschland ist internationaler Vorreiter in nachhaltiger Entwicklung und Industrie 4.0, sowohl was die Umsetzung innerhalb Deutschlands angeht, als auch die Fähigkeit, diese Lösungen als Partner oder Lösungsanbieter ins Ausland zu tragen. Deutschland sollte nicht nur technologisch, sondern auch in der Entwicklung eines gemeinsamen Verständnisses einer nachhaltigen Entwicklung weltweit eine Treiberrolle einnehmen. Hierfür bedarf es aber einer stringenten Verknüpfung des Transformationsprozesses in Richtung Nachhaltigkeit mit der Veränderung durch die Digitalisierung in einer klaren Strategie und Struktur. Die SDG mit ihrer universellen Gültigkeit (alle Länder) und ihren umfangreichen Anforderungen an Datenmanagement (Indikatorik, Indices, Monitoring) sind dabei selbst Teil von Digitalisierungsstrategien. Nur mit dieser Grundlage ist es für die handelnden Entscheidungsträger aus der Politik möglich, die Nachhaltigkeitsziele in, mit und durch Deutschland zu realisieren.

**Für die Politik** stellen sich wichtige Fragen auf internationaler Ebene und auf zwischenstaatlicher Ebene bei Handels- und Kooperationsabkommen zur universellen Anschlussfähigkeit und zur gleichberechtigten Teilhabe an Daten-Ressourcen.

**Die Wirtschaft** ist für die Verankerung der Nachhaltigkeit in den Unternehmen verantwortlich. Diese beginnt mit dem Produktdesign und der Auswahl der Materialien. Zahlreiche Unternehmen arbeiten bereits mit Systemen, die eine Bewertung von Nachhaltigkeitskriterien im Entwicklungsprozess ermöglichen, diese Systeme gilt es nun noch breiter zu etablieren und konsequent zu nutzen.

**Die Gesellschaft** ist dabei gefordert, sich den Herausforderungen der Digitalisierung durch konsequenten Kompetenzaufbau zu stellen. In diesem Zusammenhang sollte neben technologischen Fragestellungen vor allem das Nachhaltigkeitswissen bei den Verbrauchern gestärkt werden.

**Transparenz in der Steuerung einer Synergiebildung zwischen Nachhaltigkeit und Industrie 4.0 durch ein angepasstes Indikatorensystem schaffen.**

Die Umsetzung der globalen und der nationalen Nachhaltigkeitsziele wird durch entsprechende Indikatorensysteme mit einer laufenden Erfolgskontrolle begleitet. Diese Erfolgskontrolle hat bereits eine lange Tradition und wurde durch die Entwicklung eines gemeinsamen Indikatorensatzes zu den globalen Nachhaltigkeitszielen auf Ebene der Vereinten Nationen gestärkt. Die Digitalisierung kann durch die Schaffung von Transparenz und Sicherheit einen wertvollen Beitrag zur Erfolgsmessung leisten. Um die Themenfelder Nachhaltigkeit und Industrie 4.0 wirksam miteinander zu verknüpfen, gilt es nun, bestehende



Indikatorensysteme auf Industrie 4.0-relevante Fragestellungen zu prüfen und die Indikatoren so anzupassen bzw. zu erweitern, dass eine gesamtheitliche Steuerung und die Identifikation weiterer Nachhaltigkeitspotenziale möglich werden. Hinzu kommt, dass für die Messung eines Fortschritts im Bereich Industrie 4.0 keine passenden Indikatoren vorliegen, also weitere Forschungsarbeiten notwendig sind.

**Für die Politik** leitet sich die Forderung ab, eine moderne, effiziente Regulierung so zu gestalten, dass sie gleichzeitig einen klaren Fokus auf nachhaltige Produkte und Prozesse legt. Sanktions- und Steuerungsmechanismen könnten Verbote und Steuern sein. Darüber hinaus sollten OpenData Strukturen geschaffen werden, mit deren Hilfe Datenmodelle für nachhaltige Wertschöpfungsnetzwerke gebaut werden können. Mit dieser Transparenz ließen sich wertvolle Erkenntnisse zum Beispiel zur Kreislaufwirtschaft abbilden und damit gleichzeitig Vertrauen und Akzeptanz in der Gesellschaft schaffen.

**Die Unternehmen** sollten die Möglichkeiten von Open Source und Open Innovation stärker nutzen, um die Potenziale einer Zusammenarbeit in den Wertschöpfungsketten und mit Akteuren aus Wissenschaft und Gesellschaft im Sinne der Nachhaltigkeitsziele zu heben.

### Neue Akteursgemeinschaften zur Entwicklung innovativer Produktlösungen aktivieren.

Die Nachhaltigkeitsziele können oft nur realisiert werden, wenn organisationsübergreifende Kooperationen entstehen, die sich der gemeinsamen Verwirklichung dieser Ziele verschreiben. Gleichzeitig bilden sich durch die Digitalisierung neue Akteursgemeinschaften („digital ecosystems“), um als neue Steuerungslösungen die entstehenden komplexen Wertschöpfungsnetzwerke abzubilden. Entsprechend gilt es beide Entwicklungen in neuen Kooperationsmodellen zusammenzuführen, die sowohl die technologischen und prozessualen Möglichkeiten ausschöpfen, als auch einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung leisten. So könnte zukünftige Förderung noch stärker die Hebelwirkung solcher Netzwerke (z.B. Cluster) nutzen, um eine Steuerung in Richtung nachhaltiger Entwicklung zu erwirken.

**Für die Wirtschaft** sollte eine Zielsetzung neuer Akteursgemeinschaften sein, die Entwicklung nachhaltiger Geschäftsmodelle stärker voranzutreiben und Innovationen im Kontext der Digitalisierung konsequent für die Verwirklichung der Nachhaltigkeitsziele einzusetzen.

### Chancen von Digitalisierung für eine nachhaltige Entwicklung aufzeigen und die Entwicklung funktionierender Geschäftsmodelle für nachhaltige Entwicklung fördern.

Neben der gesellschaftlichen und politischen Zielsetzung einer nachhaltigen Entwicklung, bieten die Nachhaltigkeitsziele im Kontext einer digitalisierten Wirtschaft große geschäftliche Potenziale. Notwendig ist daher ein besseres Verständnis für nachhaltige Geschäftsmodelle zu erwirken, die die Digitalisierung nutzen, um Nachhaltigkeitsziele zu erreichen. Ein wichtiger Aspekt ist hierbei die öffentliche Berichterstattung über nicht-finanzielle Leistungen von Unternehmen, aber auch öffentlichen Einrichtungen (Nachhaltigkeitsberichte). Der Nachhaltigkeitsbezug in der öffentlichen Beschaffung macht mittelfristig auch Datenkonzepte erforderlich, die in der 4.0 Digitalisierung einfacher und effizienter zu handhaben sein werden. Ergänzend dazu könnte eine gezielte Förderung vielen Unternehmen entsprechende Anreize zur Umstellung auf nachhaltige Geschäftsmodelle setzen.

**Die Politik** sollte für die Bereiche, in denen nachhaltige Technologie noch nicht wettbewerbsfähig ist, Anreizmechanismen durch ein ausgewogenes Förderprogramm für Unternehmen schaffen.

### Investition in IT-Safety & Security priorisieren.

Die IT eines Unternehmens zählt im Zeitalter der Digitalisierung zu der sensibelsten Infrastruktur, deren Schädigung Effizienzgewinne an anderer Stelle unmittelbar gefährdet. Folglich sind Investitionen in Sicherheitstechnologie notwendig. Ohne entsprechende Sicherheit im bestehenden System, können alle

Vorteile der Industrie 4.0 zunichtegemacht werden. Neben der technischen Absicherung kommt vor allem den Mitarbeitern eine hohe Verantwortung zu. Die Mitarbeiter müssen für das Thema sensibilisiert werden, es bedarf einer digitalen Kompetenz. In eine solche Aus- und Weiterbildung können gleichzeitig Nachhaltigkeitsaspekte eingebaut werden.

**Die Wirtschaft** ist dabei in der Verantwortung, die möglichen Risiken, die sich durch Industrie 4.0 Technologien ergeben, frühzeitig zu erkennen und im Dialog mit dem Gesetzgeber Investitionen in den Bereich der IKT Sicherheit zu fördern.

### Datenzugang unter Wahrung der Privatsphäre und Sicherheit ermöglichen.

Transparenz ist eines der Kernthemen einer nachhaltigen Entwicklung. Gerade im unternehmerischen Bereich sind die Anforderungen an Transparenz in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen, diese Anforderungen reichen von den Kennzahlen zur Nachhaltigkeit über die Lieferketten bis zur Traceability im Produktbereich. Die Erwartungen an die Lösungsbeiträge von Industrie 4.0 sind hierbei hoch, da beispielsweise durch Sensoren oder strukturierte Datenanalyse („Big-Data“) nicht nur Transparenz in einfacher Weise geschaffen werden kann, sondern auch eine Steuerung von komplexen Systemen (z.B. Mobilität) möglich wird. Es bedarf daher einer Antwort auf den Zielkonflikt, inwieweit das gemeinschaftliche Interesse am offenen Zugang zu Daten in ein ausgewogenes Verhältnis zum individuellen Datenschutz- und Verwertungsinteresse zu bringen ist.

**Die Politik** sollte dafür sorgen, dass globale, verbindliche Regelungen für den Datenzugang und Datenverwertung unter Beachtung eines globalen Kartell- und Urheberrechts geschaffen werden, die für Sicherheit bei Unternehmen und Verbrauchern hinsichtlich der Datennutzung sorgen.

### Forschungsförderung auf neue Themenfelder fokussieren: Volkswirtschaftliche Modelle für Transformation / Computer Simulation / Empirie und Komplexitätsforschung.

Entscheidungen können am besten in Alternativen und auf Basis wissenschaftlich gesicherter Erkenntnisse getroffen werden. Für eine digitale Gesellschaft ist daher die Untersuchung verschiedener volkswirtschaftlicher Modelle hilfreich, womit Transformationsalternativen aufgezeigt werden. Computer Simulation und entsprechende Komplexitätsforschung können diese Untersuchungen sinnvoll ergänzen.

**Die Politik** sollte passende und flexible Forschungsförderung gestalten, die einer dynamischen Entwicklung in diesem Bereich gerecht wird. Ein Fokus sollte auf der Erforschung bereits sich entwickelnder nachhaltiger Bündnisse (zum Beispiel im Bereich Textil) liegen.

### Call for action - Roadmap

Der Diskurs über das Wirtschaftssystem der Zukunft und eine konsequente Ausrichtung auf qualitatives Wachstum zur Vermeidung von Rebound-Effekten muss in der Gesellschaft geführt werden. Nur dadurch können politische Entscheidungen in diesem Kontext auf eine breite Akzeptanzbasis gestellt werden. Die Zuordnung einzelner Anregungen zu den Handlungsempfehlungen in dieser Auflistung ist keinesfalls trennscharf, sondern muss im Sinne der nachhaltigen Entwicklung ganzheitlich gesehen werden. Dies setzt die Bereitschaft aller Akteure zu übergreifenden Kooperationen voraus.

Im nächsten Schritt könnte die bislang fehlende Strukturierung über eine „**Nachhaltigkeitsgovernance und Technologie-Roadmap**“ entwickelt werden. In dieser würde die Umsetzung der Empfehlungen entsprechend durch die jeweils adressierten Akteure priorisiert und konkretisiert. Die Roadmap trägt zum einen die anstehenden technologischen und prozessualen Innovationen auf der Zeitachse ab. Zum anderen setzt sie diese in einen Zusammenhang mit den notwendigen Aktivitäten im gesellschaftspolitischen Bereich (Regulierungen, Kooperationsmodelle etc.). Damit eröffnet sich die konkrete Chance die Verwirklichung der Nachhaltigkeitsziele an die Entwicklung der Digitalisierung zu knüpfen.

## 4. Das Beispiel: Circular Economy

---

Im Rahmen eines Expertenworkshops wurde das Themenfeld „Circular Economy“ als besonders relevant für die Betrachtung der Auswirkungen neuer technologischer Möglichkeiten durch Industrie 4.0 auf die nachhaltige Entwicklung bewertet. Im Kern geht es in diesem Abschnitt darum das Spannungsverhältnis und mögliche Synergien näher zu untersuchen.

Ausgangspunkt war die Betrachtung der vier relevanten Bereiche aus der Themenlandkarte:

1. **Sustainable Products** mit der Schaffung eines Kreislaufwirtschafts-„Mind-Sets“ sowie Produkten mit verlängerter Lebensdauer.
2. **Sustainable Processes** mit dem Fokus auf Reduzierung von Verschwendung vor allem im Bereich der Hilfs- und Betriebsstoffe.
3. **Governance** mit dem Aufbau von Netzwerkstrukturen zur ökonomischen Nutzung abgestimmter Kreislaufführung.
4. **Entwicklung von Unternehmen** durch die Steigerung des Zukaufs an lokal verfügbaren Teilen.

Wie in der Themenlandkarte gezeigt, lässt sich die Circular Economy auf das globale Nachhaltigkeitsziel Nr. 12 (Responsive Consumption / Production) beziehen und anhand einiger Leitfragen (siehe Anhang) lässt sich der Zusammenhang zu Industrie 4.0 gut herstellen.

Das Thema „Circular Economy“ wird von Seiten der Experten als äußerst relevant eingeschätzt. Deutschland ist hier schon gut aufgestellt und es ergeben sich sichtbare Synergien zwischen den neuen Möglichkeiten mit Industrie 4.0 und der Verwirklichung der Nachhaltigkeitsziele. Dennoch lassen sich auch einige Zielkonflikte definieren, die für eine Nachhaltige Entwicklung noch gelöst werden müssen.

### Die größten Synergien:

- Neue Produktionsverfahren ermöglichen ein recyclingorientiertes Produktdesign und eine bessere Wiederverwendung von Ersatzteilen, bzw. ökonomisch darstellbare Produktion entsprechender Teile mit verbesserter Reparaturoption.
- Neue Regulierung im Rahmen von Industrie 4.0 kann gleichzeitig zur Regelung von Recyclingstandards kombiniert mit funktionierenden Sanktionsmechanismen genutzt werden.
- Die Nutzung lokal verfügbarer biobasierter Materialien sowie die dezentrale Materialisierung einer digitalisierten Produktion reduziert Transporte entlang der Wertschöpfungskette erheblich.
- Die Daten aus Industrie 4.0 Prozessen sorgen für eine gute Transparenz und schaffen damit auch hinsichtlich der späteren Wiederverwertung eine höhere Transparenz in der Zusammensetzung von Stoffen. Das führt bei Unternehmen zu Prozess- und Kostenvorteilen und bei Verbrauchern zu einer höheren Akzeptanz.
- Mit der Software als leistungsdominierendes Element sind Produktupdates ohne materiellen Aufwand zunehmend möglich, sodass sich die Lebensdauer des physischen Produkts bei steigendem Kundennutzen verlängert.
- Der zunehmende Konsum von Services reduziert den Aufwand physischer Produkte und folglich auch deren Entsorgung.

Trotz großer Synergien lassen sich auch Zielkonflikte identifizieren:

- Mit immer günstiger werdender Produktion lohnt sich ein aufwendiges Recycling von Materialien nicht mehr (zu ressourcenintensiv), teilweise ist auch die Zusammensetzung der Materialien unbekannt, bzw. zu komplex, um daraus wieder Rohstoffe zu gewinnen.
- Recycling, bzw. längere Nutzungsdauern von Produkten verhindern Innovation in Materialien und neue Produkte, die im Einsatz aber deutlich effizienter wären.
- Bestehende Systeme zum Recycling kombiniert mit günstigeren Produktionskosten könnte auf Verbraucherseite die Wegwerfkultur weiter verstärken und zu entsprechenden Rebound-Effekten führen (Beispiel Dosenpfand führt zu steigendem Dosenabsatz, weil der Kunde durch die Rückgabeoption kein schlechtes Gewissen mehr hat).

Auf Basis dieser Abwägung lassen sich konkrete Handlungsoptionen für das wichtige Themenfeld „Circular Economy“ entwickeln:

- Das allgemeine Verständnis für Recycling und Kreislaufwirtschaft muss als integraler Bestandteil einer digitalisierten Gesellschaft gestärkt werden. Nicht nur in Deutschland und Europa, sondern international. Gemeinsame zwischenstaatliche Initiativen sollten dazu gestartet werden.
- Es muss ein neues regulatorisches Umfeld für Circular Economy geschaffen werden (Systemfrage!), mit anderen Anreizmechanismen bei der Inverkehrbringung und funktionierenden Sanktionsmechanismen, wie zum Beispiel einer Recycling-Maut.
- Mit zunehmender Industrialisierung der Bauindustrie und Einzug von Industrie 4.0 Technologien sollten Fragen der Recyclingfähigkeit von Anfang an mit in die Planung einfließen. Diese Langfristpolitik ist ein besonders nachhaltiger Aspekt, da im Bauwesen weiterhin die größten Potenziale verschwendet werden.
- Über ein gemeinsames Datenmodell für Recycling (vergleichbar zur Referenzarchitektur) wird Transparenz geschaffen, was den Verbraucher in die Lage versetzt, über den Konsum besonders recyclingfähiger Produkte zu entscheiden. Besonders wichtig ist hierbei die Frage nach der „Sicherung“ des gemeinsamen Datenmodells, hier spielen Open Source, Open Data und Open Innovation eine entscheidende Rolle.
- Circular Economy muss bei künftiger Standardisierung von Anfang an mitgedacht werden. Dazu zählt auch die Frage nach angestrebten Innovationszyklen. Zur Vermeidung sog. „Pseudo-Innovationen“ sollte bei neuen Produkten immer der Mehr-Nutzen ausgewiesen sein.

## 5. Experten

Die Erkenntnisse dieses Berichts basieren auf zahlreichen aktuellen Quellen und Studien. Diese wurden in einer Themenlandkarte gebündelt, die wiederum Grundlage für eine intensive Diskussion mit Experten und einem entsprechenden Workshop waren. Die teilnehmenden Experten waren:

1.	<b>Ax, Christine</b>	Selbstständig	Forscht und schreibt seit Mitte der 90er Jahre über Fragen des nachhaltigen Wirtschaftens mit einem Schwerpunkt auf lokale Ökonomie und Handwerk.
2.	<b>Bauernhansl, Prof. Thomas</b>	Fraunhofer-Institut Produktionstechnik und Automatisierung	Leiter des Instituts, an denen innovative Lösungen für die nachhaltige Produktion in den Zukunftsbranchen realisiert und die fachlichen Kompetenzen und die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Mitarbeitern als Motor für qualitatives Wachstum gefördert werden.
3.	<b>Ertel, Prof. Dr. Wolfgang</b>	Hochschule Ravensburg Weingarten	Leiter des Instituts für Künstliche Intelligenz, Spezialgebiete sind maschinelles Lernen und lernfähige Roboter, Mathematik und Theoretische Informatik.
4.	<b>Huthmacher, Dr. Karl Eugen</b>	Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)	Leiter der Abteilung „Zukunftsvorsorge – Forschung für Grundlagen und Nachhaltigkeit“.
5.	<b>Metzger, Sebastian</b>	Think Thank 30 / CO2Online	Spezialisierung auf Social Business Development im Bereich der Nachhaltigkeit sowie Energieeffizienz.
6.	<b>Mittelbach, Dr. Klaus</b>	ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.	Bereits in verschiedenen Verbänden, u.a. VCI, BDI und VdL in verantwortlicher Position tätig, vor allem zu den Schnittstellen mit dem Thema Nachhaltigkeit.
7.	<b>Neves, Dr. Luis</b>	Deutsche Telekom	Konzernbeauftragter Klimaschutz und Nachhaltigkeit Deutsche Telekom AG
8.	<b>Niedbal, Dr. Meike</b>	DB AG	Leiterin Nachhaltigkeitsmanagement und Zukunftsforschung (GES 3), Konzernstrategie, Deutsche Bahn AG
9.	<b>Petschow, Ulrich</b>	Institut für ökologische Wirtschaftsforschung	Autor der Studie "Dezentrale Produktion 3D-Druck und Nachhaltigkeit", Leiter des Forschungsfeldes Umweltökonomie und Umweltpolitik.
10.	<b>Sauer, Dr.-Ing. Olaf</b>	Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung	Leiter des Geschäftsfeldes Automatisierung, forscht seit vielen Jahren im Bereich der Industrie 4.0, aktueller Projektleiter für eine Studie zur Untersuchung von Nachhaltigkeitsaspekten
11.	<b>Schön, Friedrich</b>	Fraunhofer FOKUS	Leiter des Geschäftsbereichs System Quality Center
12.	<b>Schmidt, Dr. Falk</b>	IASS Potsdam	Leiter "Querschnittseinheit Transdisziplinarität"

## 6. Autoren

---

**Henning Banthien**, Geschäftsführer, IFOK GmbH

**Dr. Alexander Bode**, Senior Consultant, IFOK GmbH

## 7. Quellen

---

**Ax, C. (2016):** Erhalt und Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit des Handwerks – unter besonderer Berücksichtigung der Digitalisierung.

[Gutachten im Auftrag der Enquete Kommission im Landtag Nordrhein-Westfalen, Information 16/396]

**Bock, K. (2016):** Chemie 4.0 – mehr als Digitalisierung.

[In: chemie report 12/2016, Verband der Chemischen Industrie e.V. / online verfügbar: <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/publikation/chemie-report/cr2016-12.pdf> ]

**Petschow, U. et al. (2014):** Dezentrale Produktion, 3D-Druck und Nachhaltigkeit.

[Online verfügbar: [https://www.ioew.de/uploads/tx\\_ukioewdb/IOEW\\_SR\\_206\\_Dezentrale\\_Produktion\\_3D-Druck\\_und\\_Nachhaltigkeit.pdf](https://www.ioew.de/uploads/tx_ukioewdb/IOEW_SR_206_Dezentrale_Produktion_3D-Druck_und_Nachhaltigkeit.pdf) ]

**Zhao, H. et al. (2016):** Summary Report: #SystemTransformation How Digital Solutions will drive progress towards the sustainable development goals.

[online verfügbar: <http://systemtransformation-sdg.gesi.org/> ]

## 8. Anhang

---

Zu den einzelnen Themenfeldern und ihren zugeordneten Nachhaltigkeitszielen (SDGs) wurden im Zuge der Ausarbeitung Leitfragen formuliert, die einen guten Anstoß für eine weiterführende Debatte bieten können:

### 1) Digitalisierung Gesundheitswirtschaft >> Ziel Nr. 3: Good Health and Well-being

Wie kann Industrie 4.0 dazu beitragen,

- Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz zu fördern? (auch in Entwicklungsländern)
- den Zugang zu Gesundheitsleistungen zu erleichtern?
- Gesundheitsrisiken, die aus industriellen Produktionsprozessen resultieren, zu minimieren (Belastungen von Wasser, Boden und Luft) und das Management dieser Gesundheitsrisiken zu verbessern (Erfassung von Umweltdaten, Information, Krisenmanagement)?
- individuelle Gesundheitsvorsorge zu verbessern?
- den Zugang zu günstigen Medikamenten, Aufklärung und Vorsorge zu verbessern? (insbesondere in Schwellen- und Entwicklungsländern)
- eine kostengünstige medizinische Versorgung (inkl. Pflege) auf breiter Basis zu fördern?
- über strukturierte Datenanalyse Gesundheitskatastrophen und Pandemien frühzeitig zu erkennen?

### 2) Arbeit 4.0 und Qualifizierung >> Ziel Nr. 8: Decent Work | Economic Growth

- Inwieweit können urbane Produktionskonzepte mit Hilfe Industrie 4.0 Leben und Arbeiten wieder enger zusammenbringen zur Schonung von Ressourcen und über eine mitarbeiterorientierte Arbeitsplatzgestaltung?
- Wie kann die Umsetzung von hohen Sozialstandards in den Lieferketten durch Industrie 4.0 / Plattformen gefördert werden?
- Inwiefern kann durch Industrie 4.0 der Anteil von Frauen an der erwerbstätigen Bevölkerung, insbesondere in technischen Berufen gefördert werden?
- Inwiefern kann Industrie 4.0 dazu beitragen, Kinderarbeit zu reduzieren und menschenwürdige Arbeitsbedingungen zu fördern?
- Welche Qualifizierungsbedarfe ergeben sich durch Industrie 4.0?
- Wie kann durch die Nutzung von Industrie 4.0 die Qualität der zu verrichtenden Arbeit verbessert werden? Welche Risiken ergeben sich durch I40 für bestehende Arbeitsplätze im Produktionssektor?
- Wie kann Industrie 4.0 dazu beitragen, die Qualität der Arbeit zu verbessern und dem Anteil von "Grünen Berufen und Arbeitsplätzen" in allen Bereichen zu fördern?
- Inwieweit kann Industrie 4.0 ein Treiber für flächendeckende digitale Bildungsangebote werden?

**3) Mobilität/Logistik von Morgen >> Ziel Nr. 13: Climate Action**

- Wie können Logistik und Mobilität der Zukunft als Treiber einer nachhaltigen Wirtschafte in die Entwicklungen eingebunden werden? Welche Technologien sind zur Steigerung der nachhaltigen Entwicklung notwendig (z. B. RFID-Technologien zur Steigerung der Transparenz in der Lieferkette)?
- Wie kann Industrie 4.0 dazu beitragen, Logistikprozesse hinsichtlich der Ressourceneffizienz zu optimieren? (Just in time/Just in sequence vs. Verlagerung der Lagerhaltung auf die Straße)
- Wie kann Industrie 4.0 dazu beitragen, die Effizienz von Produktionsverfahren zu erhöhen und so die Entkopplung von CO<sub>2</sub>-Emissionen und Produktion zu fördern?
- Inwiefern kann Industrie 4.0 dazu beitragen, Produktion zurück in die Nähe des Absatzes zu holen/dort zu halten und durch regionale Produktionsprozesse und kurze Lieferwege die CO<sub>2</sub>-Bilanz zu verbessern?
- In wie weit kann über neue Technologien die Feinstaubbelastung reduziert werden?
- Wie kann Industrie 4.0 dazu beitragen, die Klimafreundlichkeit von Produkten über den gesamten Lebenszyklus zu optimieren? (Management der Stoffströme)
- Inwieweit kann Industrie 4.0 dazu beitragen, einen CO<sub>2</sub>-footprint transparent zu machen?

**4) Sharing Platform & Automatisierung >> Ziel Nr. 9: Industry, Innovation, Infrastructure**

- Welchen Beitrag leisten die Datenverarbeitung und die strukturierte Datenanalyse („Big Data“) für die genannten Prozesse und Entwicklungen? Welche Themen von Datentransparenz bis zu Open Source sind hierbei relevant und in die Entwicklung mit einzubeziehen?
- Wie kann Industrie 4.0 dazu beitragen, industrielle Verbundstrukturen für effiziente Stoff- und Energieströme zu fördern (siehe Beispiel Chemieindustrie)?
- Wie kann Industrie 4.0 dazu beitragen die Sicherheit von industriellen Verbundsystemen (z.B. Pipelines) und Gefahrenstoff-Transporten zu erhöhen?
- Welches Potenzial hat Industrie 4.0 neue nachhaltige Geschäftsmodelle „Product as a Service“ (bspw. Chemikalienleasing) zu fördern?
- Welchen Beitrag kann Industrie 4.0 dazu leisten, die Integration von Nachhaltigkeitszielen und –standards in Innovationsprozessen zu fördern (abteilungsübergreifende Geschäftsintegration)?
- Wie kann Industrie 4.0 dazu beitragen, branchenweit einheitliche Nachhaltigkeitsstandards in den Lieferketten zu implementieren? (Bsp. Plattform Together for Sustainability in der Chemie)
- Welchen Beitrag kann das Handwerk künftig zur Nachhaltigen Entwicklung leisten, vor allem unter Einsatz neuer Technologien (Technofaktur)?



## 5) Circular Economy >> Ziel Nr. 12: Resp. Consumption | Production

Wie kann Industrie 4.0 dazu beitragen,

- Stoffströme im Sinne der nachhaltigen Entwicklung über den gesamten Produkt-Lebenszyklus zu optimieren?
- Nachhaltigkeitsstandards und umfassende Transparenz im Sinne des Kunden in den Lieferketten zu etablieren?
- Stoffkreisläufe zu schließen, Recyclingquoten zu erhöhen und cradle to cradle Ansätze zu erleichtern? (bspw. durch Material-Transparenz bis zu Open Source Lösungen)
- IT-Systeme zu entwickeln, die eine Kreislaufwirtschaft von Entwicklung bis Konsum fördern?
- Stoffstromanalysen und Nachhaltigkeitsziele in den Innovations- und Designprozessen zu fördern? (bspw. Materialforschung)
- den Kunden und sein Verhalten in eine Kreislaufwirtschaft einzubinden? (Vom „Endverbraucher“ zum „Zwischennutzer“)
- langlebige Produkte zu fördern (Reparaturfähigkeit) ?
- regional vernetzte Produktionsstrukturen und die Nutzung von Zwischenprodukten zu fördern (Bsp. Blue economy)?

## 6) Intelligent Energy >> Ziel Nr. 7: Affordable and Clean Energy

Wie kann Industrie 4.0 dazu beitragen,

- Energieströme innerhalb des Unternehmens optimal zu managen und auch die Vernetzung von Energieströmen zwischen Unternehmen (Verbundstrukturen) und mit Kommunen im Sinne der Effizienz zu optimieren? (Bedarfsorientierung)
- EE für industrielle Produktionsprozesse (Grundlast und Spitzen) besser nutzbar zu machen und so den Anteil von EE deutlich zu erhöhen?
- dezentrale Versorgungsnetze aufzubauen und neue Energiespeicher besser nutzbar zu machen (Smart Grid)?
- die Kosten für EE zu senken?
- den Lebenszyklus von EE im Sinne der nachhaltigen Entwicklung zu optimieren? (Wartung, Recycling, cradle to cradle)

### 7) Smart City >> Ziel Nr.11: Sustainable Cities

- Wie lassen sich in Smart City Energiekonzepte umsetzen, die die Energiewende fördern und welche technologischen Komponenten sind dafür notwendig? Wie lassen sich mit Hilfe intelligenter Technologien hierbei vor allem der Verbrauch von Wärmeenergie und damit CO<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren, bzw. wie lässt sich erzeugte Wärme noch besser nutzbar machen?
- Welche Industrie 4.0 Technologien können nachhaltiges Bauen fördern (z. B. Building Information Modeling, ressourcenschonende industrielle Fertigung von Gebäudeteilen, Entwicklung neuer Materialien und Geometrien dank neuer Fertigungsverfahren)?
- Wie kann Gewerbe wieder in urbane Räume eingebunden werden, mit dem Ziel, die Verbindung von Leben und Arbeiten nachhaltig zu fördern?
- Wie lassen sich in einem Smart City Konzept der Widerspruch zwischen Dezentralisierung auf der einen Seite (Netzwerke, Plattformen und Arbeit 4.0) und Zentralisierung auf der anderen Seite aufgrund teurer Investitionen in smart factories mit Hilfe flexibler Produktions- und Kooperationsansätze auflösen?
- Wie lassen sich die Konzepte zu Smart City skalieren und in andere Länder übertragen, mit dem Ziel die nachhaltige Entwicklung und Ressourcenschonung global in Anlehnung an die Sustainable Development Goals zu verbessern?
- Wie kann das Konzept versorgungs- und energieautonomer Kommunen durch Industrie 4.0 gefördert werden (Energie, Produkte inkl. Urban Farming)

### 8) Smarte Landwirtschaft >> Ziel Nr. 2: Zero Hunger

- Wie können landwirtschaftliche Produktionssysteme durch Integration von Umweltdaten und Präzisionstechnologien nachhaltiger gestaltet werden?
- Wie können dezentrale Strukturen und der Aufbau von Kapazitäten für nachhaltige Landwirtschaft in Schwellen- und Entwicklungsländern durch Industrie 4.0 gefördert werden?
- Wie kann die Anpassungsfähigkeit der Landwirtschaft an den Klimawandel durch smarte Technologien gefördert werden?
- Wie können landwirtschaftliche Wertschöpfungsketten durch Datentransparenz nachhaltiger gestaltet werden?
- Wie kann Industrie 4.0 dazu beitragen, Nachhaltigkeits-Bewertung in der Landwirtschaft (vom Landwirt bis zum Händler) in der Breite zu etablieren?
- Wie kann Industrie 4.0 dazu beitragen, innovative Ansätze wie die Inwertsetzung von Ökosystemdienstleistungen in der Landwirtschaft zu fördern?
- Wie können Industrie 4.0 Technologien dazu beitragen, dass in der Produktion und beim Verbraucher weniger Lebensmittel vernichtet werden?