

# KOLLABORATIVES ENGINEERING

## GRUNDZÜGE UND HERAUSFORDERUNGEN DER UNTERNEHMENSÜBERGREIFENDEN ZUSAMMENARBEIT BEIM ENGINEERING VON PRODUKTEN UND BEGLEITENDEN SERVICES

Studie im Auftrag des Bundesministeriums für  
Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen der  
Begleitforschung zum Technologieprogramm  
PAiCE – Platforms | Additive Manufacturing |  
Imaging | Communication | Engineering

# Impressum

## Herausgeber

Begleitforschung PAiCE  
iit-Institut für Innovation und Technik in der VDI / VDE Innovation + Technik GmbH  
Peter Gabriel  
Steinplatz 1  
10623 Berlin  
gabriel@iit-berlin.de

## Autoren

Dr. Matthias Künzel  
Dr. Tom Kraus  
Sebastian Straub LL.M.

## Gestaltung

Loesch*Hund*Liebold  
Kommunikation GmbH  
Hauptstraße 28 | 10827 Berlin  
paice@lhk.de

## Stand

Februar 2019

## Bilder

Begleitforschung PAiCE

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Inhalt

<b>Management Summary</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>6</b>
<b>2 Methodik</b> .....	<b>8</b>
<b>3 Stand der Fachdiskussion</b> .....	<b>10</b>
3.1 Die Erweiterung des Engineering-Begriffs .....	10
3.2 Modellansatz „digitaler Zwilling“ und virtuelles Abbild .....	11
3.3 Das kollaborative Engineering .....	12
3.4 Unternehmenskooperationen und -kollaborationen .....	13
3.4.1 Typologisierung .....	13
3.4.2 Ausprägungen und Best Practices .....	15
<b>4 Herausforderungen und Lösungsansätze aus einer fachübergreifenden Expertensicht</b> .....	<b>18</b>
4.1 Kollaborationsmanagement .....	18
4.1.1 Ausgangslage .....	18
4.1.2 Einschätzung aus Praxissicht .....	19
4.2 Technik .....	21
4.2.1 Ausgangslage .....	21
4.2.2 Einschätzung aus Praxissicht .....	21
4.3 Arbeitsorganisation .....	26
4.3.1 Ausgangslage .....	26
4.3.2 Einschätzung aus Praxissicht .....	26
4.4 Ökonomie .....	30
4.4.1 Ausgangslage .....	30
4.4.2 Einschätzung aus Praxissicht .....	31
4.5 Recht .....	34
4.5.1 Ausgangslage .....	34
4.5.2 Einschätzung aus Praxissicht .....	35
<b>5 Resümee: Grundzüge und Herausforderungen des kollaborativen Engineerings</b> . . .	<b>40</b>
5.1 Kollaborationsmanagement .....	40
5.2 Technik .....	41
5.3 Arbeitsorganisation .....	41
5.4 Ökonomie .....	42
5.5 Recht .....	43
<b>6 Schritte zur Umsetzung des kollaborativen Engineerings</b> .....	<b>44</b>
6.1 Die konzeptionelle Erweiterung des digitalen Zwillings .....	45
6.2 Offene Herausforderungen .....	48
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>50</b>

# Management Summary

Das Engineering entscheidet wesentlich über den ökonomischen Erfolg von Produkten und Services. Jedoch wandeln sich zunehmend die Erfolgskriterien: Nicht nur Preis, Qualität und Funktionalität sind die Schlüsselfaktoren. Vielmehr werden zunehmend auch die Voraussetzungen für spätere Geschäftsmodelle im Engineering geschaffen, indem begleitende Services und neuartige Möglichkeiten der Produkterweiterung angelegt werden. Das Engineering muss künftig die gesamte Lebensdauer eines Produktes begleiten.

Unter diesen Voraussetzungen ist es äußerst vorteilhaft, wenn sich die heute selbstverständliche Zusammenarbeit von Unternehmen in einem kollaborativen Engineering widerspiegelt. Damit können die ohnehin stark arbeitsteilige Fertigung und die zunehmende Mehrteiligkeit von Systemen in einem gemeinsamen Engineering-Prozess der beteiligten Unternehmen abgebildet werden. Komponenten und Endprodukte können auf diese Weise bereits im Erstentwurf wesentlich besser aufeinander abgestimmt werden. Bei späteren Änderungen oder Weiterentwicklungen können Komponentenhersteller, Systemintegratoren, aber auch zu einem späteren Zeitpunkt hinzugekommene Akteure das System ohne aufwändige Datentransformation oder Bestandsaufnahme weiterentwickeln.

Erfahrungen im kollaborativen Arbeiten bestehen gegenwärtig vor allem im Bereich Forschung und Entwicklung (F&E), also im eher vorwettbewerblichen Bereich. Dieses wird häufig mit dem Schlagwort „Open Innovation“ umschrieben. Auch in der unmittelbaren Produktion haben sich Modelle der engen Zusammenarbeit verbreitet; beispielhaft dafür sei die Automobilproduktion mit ihrer Zulieferarchitektur genannt. Auch ist die Vergabe von Engineering-Leistungen als Unterauftrag heute bereits gängige Praxis. Dabei handelt es sich aber um abgegrenzte, zeitlich eher befristete Geschäftsbeziehungen, die zudem mit klaren Vertragsverhältnissen (Beauftragung) einhergehen. Das Modell der Kollaboration ist hingegen auf Gleichberechtigung ausgerichtet. Regionale Innovationscluster stellen beispielsweise ein solches auf Gleichberechtigung und langfristige strategische Zusammenarbeit ausgerichtetes Ökosystem dar, das sich in den letzten Jahrzehnten als wirtschaftlich erfolgreich bewährt hat.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden 36 Experten aus Unternehmen und Forschungseinrichtungen in Einzel- und Gruppeninterviews zu den Herausforderungen des kollaborativen Engineerings in den Bereichen Technik, Arbeitsorganisation, Ökonomie und Recht befragt beziehungsweise in einem Review-Workshop um ein Feedback zu einer Entwurfsfassung gebeten.

Es zeigt sich, dass es für eine detaillierte strategische Roadmap zur konkreten Umsetzung des kollaborativen Engineerings noch zu früh ist. Der Status quo und absehbare Schritte, um die Voraussetzung für ein kollaboratives Engineering zu schaffen, lassen sich dennoch gut beschreiben.

Auf technischer Seite stehen der Wandel hin zu domänen- und wertschöpfungskettenübergreifenden Austauschformaten, die Fähigkeit zur standortübergreifenden Datenkonsistenz und die Notwendigkeit der aufgabenspezifischen Dimensionsreduktion im Mittelpunkt absehbarer und notwendiger Entwicklungsschritte. Künstliche

Intelligenz wird als neu verfügbare zu integrierende Fähigkeit im Engineering Berücksichtigung finden; als Engineering-Werkzeug reicht der aktuelle Entwicklungsstand von künstlicher Intelligenz aber absehbar nur für Routinetätigkeiten.

Das Engineering ist insbesondere hinsichtlich seines kreativ-schöpferischen Anteils von der Ablösung durch Automation eher wenig betroffen. Veränderungen sind hingegen in der Arbeitskultur zu erwarten: Heterogene Teams, Agilität und quasi-parallele Arbeit stellen neue Herausforderungen dar. Regionale und fachliche Kulturunterschiede können nur durch die Stärkung interdisziplinärer Kommunikationsfähigkeiten und die Herausbildung einer Kommunikationskultur überwunden werden.

Die Frage der Datenhaltung im zukünftigen kollaborativen Engineering zeigt beispielhaft die enge Interaktion zwischen den Betrachtungsebenen. Hier werden sowohl technische Aspekte als auch wirtschaftliche und rechtliche Faktoren über die zukünftige Entwicklung entscheiden. Sowohl Plattformkonzepte als auch Peer-to-Peer-Lösungen erscheinen erfolgversprechend und gehen jeweils mit prinzipbedingten Vor- und Nachteilen einher. Welche Lösung sich für das kollaborative Engineering und die damit verbundenen zukünftigen, digital unterstützten Wertschöpfungsketten und Geschäftsmodelle gerade in der Investitionsgüterindustrie durchsetzen wird, ist heute nicht absehbar.

Die rechtliche Situation im kollaborativen Engineering verunsichert die Anwender in verschiedener Hinsicht. Herkömmliche Vorgehensweisen bilden globale Wertschöpfungsketten unzureichend auf national geprägtes Recht ab. Die Schöpfungshöhe von Engineering-Leistungen weist dem stark internationalisierten Urheber- oder Patentrecht eine Schlüsselrolle zu. Im Bereich der Datenhoheit als Grundlage von Geschäftsmodellen steht man hingegen erst am Anfang. Umfangreiche Vertragskonstruktionen können das ausgleichen, jedoch zu einem Abbild von asymmetrischer Marktmacht führen.

Das Leitbild des digitalen Zwillinges kann zukünftig nur durch eine Erweiterung seine Schlüsselfunktion als virtuelles Abbild für das Engineering erfüllen, um alle zu betrachtenden Ebenen zusammenzuführen. Die Erweiterung wird etwa die Simulation von Geschäftsmodellen zur Bewertung wirtschaftlicher Potenziale ermöglichen, Informationen zur Urheberschaft und Fachwissen von Personen berücksichtigen, kollaborative Geschäfts- und Beteiligungsmodelle begründen und auch national geltende Bestimmungen und Gesetze berücksichtigen. Damit wird der erweiterte digitale Zwilling zum Schlüsselement des Erfolgs für die verbreitete Nutzung des kollaborativen Engineerings.

# 1 Einleitung

Das kollaborative Engineering ist eine besondere Form der unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit, die zu unterschiedlichen Phasen des Lebenszyklus von ingenieurtechnischen Anlagen, Produkten, Diensten und Prozessen erfolgen kann. Das kollaborative Engineering zeichnet sich dabei durch das parallele, gemeinsame Arbeiten von mehreren Akteuren (Ingenieure, Techniker und Informatiker) aus, die in aller Regel über unterschiedliche Unternehmen verteilt sind. Typische Motivation der kollaborierenden Unternehmen ist dabei der Erwerb von Wettbewerbsvorteilen hinsichtlich Innovationsfähigkeit oder Effizienz.

Der durchgehende Einsatz von Software-Tools für Design, Konstruktion, Simulation, Test, Produktdatenmanagement und die technische Dokumentation in der Entwurfsphase ist seit langem gängige Praxis. Dies ermöglicht sowohl kürzere Entwurfszeiten als auch ein abgestimmtes Ineinandergreifen von unterschiedlichen Fachgebieten im Engineering-Prozess (zum Beispiel Mechanik, Elektronik, Softwaretechnik) und damit effizientere Lösungen. Gerade für langlebige Wirtschaftsgüter findet Engineering aber nicht mehr nur in den frühen Phasen der Wertschöpfung statt. Vielmehr ist es zunehmend ein begleitender Prozess von der Systemintegration über laufenden Betrieb, Maintenance, Retrofit und Systemumgestaltung bis hin zum Rückbau.

Es ist absehbar, dass die heute stark arbeitsteilige Fertigung und die zunehmende Mehrteiligkeit von Systemen (Integration von Zulieferteilen) auch in einem gemeinsamen Engineering-Prozess der verschiedenen Unternehmen abgebildet werden. So können Zulieferteil und Endprodukt besser aufeinander abgestimmt, die Grundlage für neuartige Dienstleistungen geschaffen, die Ressourceneffizienz gesteigert und neuartige Produkteigenschaften erzielt werden.

Mit der unternehmensübergreifenden Kollaboration beim Engineering wachsen die Anforderungen: Auf technischer Ebene wächst die Heterogenität der einbezogenen Softwaresysteme deutlich, und es müssen unterschiedliche Arbeitsweisen und Prozessabläufe berücksichtigt werden. Wirtschaftlich muss sich die Kollaboration für alle beteiligten Akteure unter Berücksichtigung der in der Investitionsgüterindustrie typischen Produktlebenszyklen lohnen.

Die Voraussetzungen und Erfolgsfaktoren des kollaborativen Engineerings sind aber noch weitgehend unbekannt. Ob sich Lösungen und Erfahrungen aus anderen Märkten und Ökosystemen auf das Engineering als Schlüsselement der industriellen Wertschöpfung einfach übertragen lassen, ist noch offen:

- Digitale Plattformen haben sich als Werkzeug der digitalen Ökonomie bewährt. Bestehende Plattformmodelle wie Märkte oder datenbasierte offene Systeme erscheinen in ihrer bisherigen Ausprägung aber nur bedingt für Engineering-Aufgaben geeignet, da sie wirtschaftliche Interessenlagen, Zeiträume der Datenhaltung, Fragen des geistigen Eigentums und rechtliche Konstellationen nicht hinreichend abbilden.
- Bestehende Unterschiede in den Rechtssystemen können für kollaborative Engineering-Prozesse erhebliche Unsicherheiten schaffen. Beim kollaborativen Engineering treffen globale Wertschöpfungsketten auf stark national geprägtes Recht mit unterschiedlichen Interpretationen von Geschäftsmodellen und mit unterschiedlichen Festlegungen etwa im Urheber-, Datenhoheits- oder Immaterialgüterrecht.
- Das kollaborative Engineering wird einen Wandel in den Arbeitsorganisations- und den Managementprozessen mit sich bringen. So müssen etwa der Wegfall hierarchischer Strukturen und dynamische Teamzusammenstellungen durch geeignete Führungsmethoden berücksichtigt werden.

- Auf der technischen Ebene müssen bereits während des ingenieurtechnischen Erstentwurfs die notwendigen Voraussetzungen für die Integration noch nicht spezifizierter Komponenten oder Services in den langfristigen Betrieb geschaffen werden.

Um diesen und weiteren Fragestellungen nachzugehen, wurde die vorliegende Studie im Rahmen der PAiCE-Begleitforschung erstellt. Dafür wurden im Kern der Studie 36 Experten aus Unternehmen und Forschungseinrichtungen interviewt beziehungsweise in einem Review-Workshop um ein Feedback zu einer Entwurfsfassung der Studie gebeten.

Im Einzelnen stellt Kapitel 2 die Methodik der Studie vor. Kapitel 3 umreißt den aktuellen Stand der Fachdiskussion zum erweiterten Begriff des Engineerings und zu heutigen Ansätzen des kollaborativen Engineerings. Die Befragung der Experten zu den praktischen Herausforderungen des kollaborativen Engineerings und zu ersten Lösungsansätzen bildet den Schwerpunkt der Untersuchung. Diese Ergebnisse werden in Kapitel 4 vorgestellt. Kapitel 5 fasst die Ergebnisse der Interviews und Analysen zusammen. Kapitel 6 formuliert erste Schritte für eine nachhaltige Umsetzung des kollaborativen Engineerings und benennt noch offene Herausforderungen.

Die Autoren bedanken sich herzlich bei den Experten für die Teilnahme an den Interviews beziehungsweise am Peer-Review-Workshop (Nennung in alphabetischer Reihenfolge):

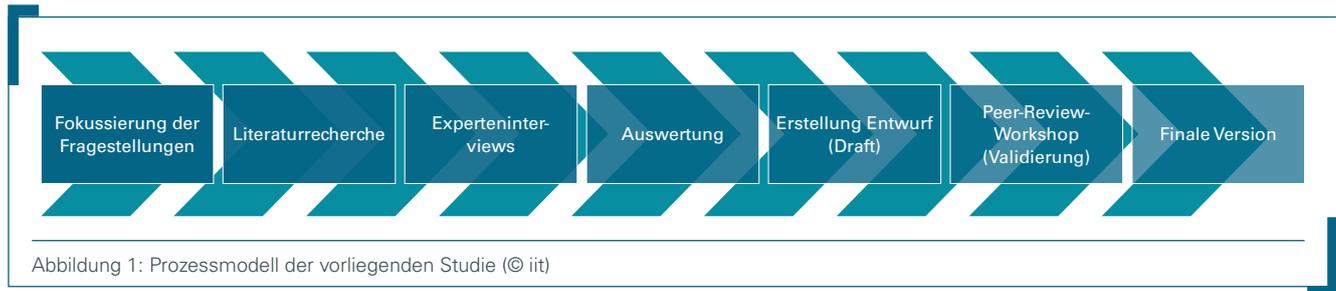
- |   |  |
|---|--|
| ■ Prof. Dr. Thomas Bauernhansl, Universität Stuttgart, Fraunhofer IPA   | ■ Lukas Kwiatkowski, Otto Fuchs KG                               |
| ■ Martin Bode, Airbus Group   | ■ Dr. Felix Loske, HARTING Stiftung & Co. KG                     |
| ■ Matthias Brossog, FAU Erlangen-Nürnberg   | ■ Thomas Makait, QPRI Unternehmensberatung                       |
| ■ Ralph Eckardt, maexpartners GmbH  | ■ Dr. Helmut Meitner, DRÄXLMAIER Group                           |
| ■ Andreas Faath, VDMA Forum Industrie 4.0   | ■ Prof. Dr. Verena Nitsch, RWTH Aachen                           |
| ■ Prof. Dr. Svenja Falk, Accenture  | ■ Prof. Dr. Oliver Niggemann, Hochschule Ostwestfalen-Lippe      |
| ■ Prof. Dr. Alexander Fay, Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg  | ■ Nele Oldenburg/Michael Russ, Krones AG                         |
| ■ Norbert Finkel, COSCOM Computer GmbH  | ■ Dr. Dirk Ortloff, camLine Holding AG                           |
| ■ Dr. Klaus Funk, Zentrum Digitalisierung.Bayern  | ■ Prof. Dr. Peter Post, Festo AG & Co. KG                        |
| ■ Prof. Dr. Jürgen Gausemeier, Universität Paderborn  | ■ Dr. Markus Rickert, fortiss GmbH                               |
| ■ Dr. Arnold Herp, HEITEC AG  | ■ Prof. Dr. Wolfgang Rosenstiel, edacentrum/Universität Tübingen |
| ■ Prof. Dr. Thomas Herrmann, Ruhr-Universität Bochum  | ■ Prof. Dr. Christoph Runde, VDC Fellbach w. V./HS Pforzheim     |
| ■ Dr. Lorenz Hundt/Daniel Wolff, inpro Innovationsgesellschaft für fortgeschrittene Produktionssysteme in der Fahrzeugindustrie mbH | ■ Prof. Dr. Sebastian Sattler, FAU Erlangen-Nürnberg             |
| ■ Christof Gebhardt, CADFEM GmbH  | ■ Alexander Sayer, Zentrum Digitalisierung.Bayern                |
| ■ Jörg Hölig, EDAG Engineering GmbH   | ■ Andreas Schertl, Siemens AG                                    |
| ■ Dr. Nasser Jazdi, Universität Stuttgart   | ■ Clemens Schlegel, Schlegel Simulation GmbH                     |
| ■ Andreas Keil, InnoZentOWL e. V.   | ■ Dr. Benjamin Schleich, FAU Erlangen-Nürnberg                   |
| ■ Roland Kolbeck, Osram GmbH  | ■ Prof. Dr. Rainer Stark, TU Berlin, Fraunhofer IPK              |
|   | ■ Sebastian Steinbuß, International Data Spaces Association      |

Die Studie wurde im Rahmen der Begleitforschung zum Technologieprogramm „PAiCE“ (Platforms | Additive Manufacturing | Imaging | Communication | Engineering) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie erstellt.

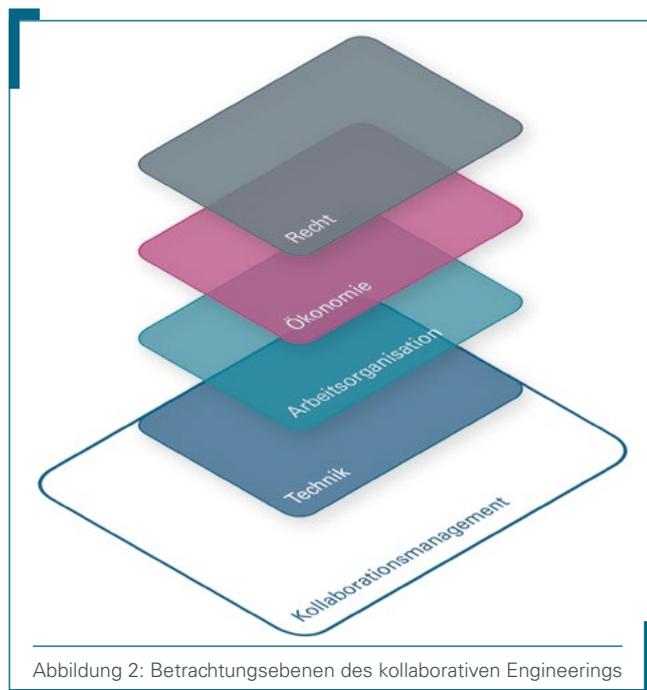
Die Verantwortung für den Inhalt dieser Studie liegt ausschließlich bei den Autoren.

## 2 Methodik

Methodische Grundlage der Studie war ein mehrstufiger Ansatz aus Literaturrecherche, strukturierter Diskussion mit Vertretern aus Wirtschaft und Wissenschaft und abschließendem Validierungsworkshop (Abbildung 1).



Aus der Literaturrecherche und der Analyse der Fachdiskussion (Kapitel 3) wurde deutlich, dass eine erfolgreiche Zukunft für das kollaborative Engineering nicht nur von technischen Voraussetzungen abhängig ist. Vielmehr ist ein mehrschichtiges Betrachtungsmodell erforderlich. Darauf aufbauend wurde ein Leitfaden für strukturierte Interviews von Vertretern aus Industrie und Forschung sowie von Multiplikatoren erstellt. Der Leitfaden rückt zunächst das Kollaborationsmanagement in den Fokus, das heißt den strukturellen Rahmen der unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit, und anschließend technische, arbeitsorganisatorische, wirtschaftliche sowie rechtliche Aspekte der Kollaboration (siehe Abbildung 2).



Zu jeder der fünf Betrachtungsebenen wurden auf Basis der Literaturrecherche sieben bis elf Teilaspekte zur Priorisierung und nachfolgenden vertieften Betrachtung vorgeschlagen, um den Untersuchungsgegenstand zu fokussieren.

Im Rahmen der Interviews wurde zuerst die Vollständigkeit der vorgegebenen Teilaspekte hinterfragt und danach (nach gegebenenfalls erfolgter Ergänzung) um eine Priorisierung gebeten. Mit der Anforderung, dabei jeweils genau eine „Priorität 1“ sowie eine „Priorität 2“ festzulegen, besteht zwar das Risiko, dass einzelne Themen im „Mittelfeld“ an Sichtbarkeit verlieren, dem steht jedoch eine deutliche Fokussierung in dem sehr breit aufgestellten Studiengegenstand gegenüber.

Für die Prioritäten 1 und 2 wurden mit den Interviewpartnern jeweils im zweiten Schritt in freier Diskussion die aktuellen Fragestellungen und Herausforderungen des Teilaspekts erörtert (Abbildung 3). Von den Interviewpartnern ergänzte Teilaspekte konnten auch priorisiert werden, jedoch erreichte keines der ergänzten Themen – unabhängig von unterschiedlichen Formulierungen – befragungsübergreifend eine herausragende Stellung.



Bei der Auswahl der Interviewpartner wurde neben deren Expertise in mindestens einer der vier operativen Betrachtungsebenen auf eine Mischung aus Vertretern entlang der Wertschöpfungskette (Forschung, Engineering-Dienstleister, Zulieferer, OEM) sowie auf Erfahrungen in Gremienarbeit, Netzwerken oder analogen Strukturen im Sinne einer übergeordneten Perspektive für die Berücksichtigung des Kollaborationsmanagements geachtet.

Einige Interviews wurden als Gruppeninterviews geführt, ohne den methodischen Rahmen zu ändern. Die betreffenden Ergebnisse wurden uneingeschränkt in die Auswertung einbezogen.

Im Rahmen eines Verifikationsworkshops wurde einer Gruppe von Experten, die nicht an den Interviews beteiligt war, eine Entwurfsfassung der Studie vorgestellt. Für diesen Personenkreis galt neben denselben Auswahlkriterien wie für die Interviewteilnehmer die besondere Anforderung, als Multiplikator, etwa im Rahmen eines Clustermanagements oder eines Industrieverbundes, tätig zu sein.

# 3 Stand der Fachdiskussion

Das kollaborative Engineering setzt implizit auf einen erweiterten Engineering-Begriff auf, der über den Erstentwurf von Anlagen, Produkten, Diensten oder Prozessen hinausgeht. Diese Erweiterung wird am Anfang des Kapitels beschrieben, um dann die aktuelle Fachdiskussion zum Engineering zu umreißen und einen Blick auf Typologien der Kooperation und Kollaboration von Unternehmen zu werfen sowie erste Ausprägungen in der Praxis vorzustellen.

## 3.1 Die Erweiterung des Engineering-Begriffs

Die vorliegende Studie richtet den Engineering-Begriff stark auf die Anforderungen der Industrie 4.0 und deren Vorreiterbranchen (Maschinen-, Fahrzeug- und Anlagenbau) aus, wobei den damit einhergehenden Fachgebieten Konstruktionstechnik, Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik eine herausgehobene Stellung eingeräumt wird.<sup>1</sup> Der Lebenszyklus von Produkten der genannten Branchen umfasst häufig viele Jahre bis einige Jahrzehnte und wird zunehmend durch produktbezogene Dienstleistungen geprägt. An Bedeutung gewinnen Geschäftsmodelle, die klassische Produkte („Hardware“) mit intelligenten Dienstleistungen kundenspezifisch verknüpfen (Europäische Kommission 2012; Harbor Research Inc. 2014; acatech 2016). Der Ausbau produktbezogener Dienstleistungen und die Kollaboration stellen auch ein neues Potenzial für die regionale Wirtschaft dar. Somit interagiert der globale Ansatz digitaler Plattformen mit der regionalen Wertschöpfung (Komninos et al. 2018).

Mit den Anforderungen an Produkte für eine digital vernetzte Industrie verändern sich in regelmäßigen Abständen auch die Anforderungen an das Engineering, was eine stetige Erweiterung des klassischen Engineering-Begriffs erforderlich macht (Künzel et al. 2016). Im letzten Jahrzehnt hinzugekommen ist das Smart Engineering zum Entwurf von kommunikationsfähigen, intelligenten Produkten und begleitenden Dienstleistungen, die das Potenzial auszeichnet, eine nachhaltige Veränderung des Informationsaustauschs und des Product-Lifecycle-Managements (PLM) bewirken zu können (acatech 2016, 2014). Ebenfalls zu nennen ist das alle Phasen des Produktentstehungsprozesses betreffende Digital Engineering, das unter anderem Predictive Analytics und Big-Data-Analysen einschließt und letztlich eine Nachverfolgbarkeit von Produkt- und Produktionsdaten auch über Unternehmensgrenzen hinweg ermöglicht.

Eine aktuelle Studie zur Ausbreitung von Digital-Engineering-Ansätzen in der fertigen Industrie findet sich in (Bitkom e. V. 2017). Das Virtual Engineering, das als eine Erweiterung des Digital Engineering gesehen werden kann und die Unterstützung des Entwurfs von Produkten, Anlagen oder Dienstleistungen mithilfe von Augmented-Reality- und Virtual-Reality-Darstellungen und -Tools fokussiert, stellt nicht zuletzt aufgrund der verstärkten Nutzung dieser Technologien eine weitere wichtige Erweiterung des Engineering-Begriffs dar. Von großer Bedeutung für die Entwicklung und den effizienten Betrieb komplexer Systeme ist auch das seit langem etablierte Systems Engineering, das sich jedoch aufgrund der zunehmenden Vernetzung von Subsystemen in der Industrie zu einer der zentralen Teildisziplinen des Engineerings entwickelt hat.

Das wichtigste Instrument in Bezug auf einen optimalen Systementwurf und -betrieb bleibt in diesem Zusammenhang die Simulation als Grundlage für die Entscheidungsunterstützung

<sup>1</sup> Die häufig unter dem Begriff „Bioengineering“ zusammengefassten Methoden der Bioverfahrenstechnik sind explizit kein Gegenstand der vorliegenden Betrachtung.

und Optimierung von Prozessen. Für die Planung von komplexen Industrieanlagen hat sich das Konzept des Front-End Engineering Design (FEED) beziehungsweise Front-End Loading (FEL) zur Grundlagen- und Aufwandsplanung entwickelt, anhand derer der technische, finanzielle und zeitliche Aufwand für die Umsetzung von Großprojekten abgeschätzt werden kann.

### 3.2 Modellansatz „digitaler Zwilling“ und virtuelles Abbild

Nach einer abgeschlossenen Entwurfsphase verursachen jedes Re-Design und jede Erweiterung eines Produkts, Prozesses oder Dienstes mit hoher Wahrscheinlichkeit beträchtliche Kosten. Simulationsbasierte Analysen zur Quantifizierung relevanter technischer Eigenschaften gehören daher in der Entwurfsphase jeder hinreichend komplexen Entwicklung zum etablierten Methodenkatalog und werden als Garant für hohe Produkt- und Dienstqualität und kurze Entwicklungszyklen bereits heute umfassend eingesetzt. Virtuelle Abbilder von Produkten, Prozessen oder auch Diensten sind jedoch längst nicht mehr nur in der Entwurfsphase und somit zu Beginn der Wertschöpfung relevant. So sind etwa die Überwachung von Betriebsdaten und deren gezielte Übermittlung an Hersteller oder Servicedienstleister zu Zwecken des Monitorings oder der Wartung heute zunehmende Praxis. Auf Basis ausreichender und geeigneter Betriebsdaten werden mittels virtueller Abbilder kundenspezifische „Predictive Maintenance“-Dienstleistungen für eine vorausschauende Wartung ermöglicht. Da sich für Hersteller und Servicedienstleister aufgrund der regelmäßigen Betriebsdatenübermittlung von Anwendern realistischere Simulationsmöglichkeiten ergeben, können auf dieser Basis wiederum erhebliche Qualitätssteigerungen bei Anpassungen oder dem Neudesign von Produkten, Diensten oder Prozessen erreicht werden.

In der Industrie hat sich aktuell das Konzept des „digitalen Zwillings“ (englisch: digital twin) etabliert, der ein virtuelles Abbild von realen Produkten oder Prozessen beinhaltet (Grösser). Trotz durchaus unterschiedlicher Auffassungen über die genaue technische Ausgestaltung enthält dieses virtuelle Abbild nach allgemeiner Ansicht eine Beschreibung der Elemente und der Dynamik des zugehörigen realen Produkts, Prozesses oder Dienstes sowie relevante Zustandsinformationen über den jeweiligen Lebenszyklus. Der digitale Zwilling kann somit die Funktion einer Echtzeitrepräsentation seines realen Gegenstücks erfüllen, als Speicher relevanter Lebenszyklusinformationen fungieren oder für Simulationen unterschiedlichster Art eingesetzt werden. Im Rahmen der Industrie 4.0 ergeben sich auf der Basis des digitalen Zwillings und seiner Einsatzmöglichkeiten über den gesamten Lebenszyklus hinweg eine Vielzahl von Optimierungspotenzialen, von der Integration über den Betrieb und der Instandhaltung bis hin zur Wiederverwertung.

Durch den geeigneten Entwurf eines digitalen Zwillings

- kann eine Inbetriebnahme, Erweiterung oder Umrüstung von realen Systemen durch virtuelle Planung maßgeblich unterstützt werden, falls entsprechende Modularität und Softwareschnittstellen beim Entwurf der digitalen Abbilder von Systemen beziehungsweise Komponenten vorgesehen werden (Integration),
- kann ein zeit- und energieoptimaler Betrieb von realen Systemen realisiert werden, wenn geeignete Informationen zur Systemdynamik vorliegen (Betrieb),
- können Ausfallwahrscheinlichkeiten vorhergesagt und Maschinenstillstände vermieden werden, wenn geeignete Informationen zur Systemdynamik vorliegen (Instandhaltung),
- kann eine effiziente Wiederverwertung von Elementen oder Materialien (im Fall von Produkten) realisiert werden, wenn geeignete Daten über den gesamten Lebenszyklus vorliegen (Wiederverwertbarkeit).

Die genannten Nutzungsmöglichkeiten sind allesamt technischer Natur. Darüber hinausgehend werden bereits heute, wenn auch recht eingeschränkt, Teilaspekte der Arbeitsorganisation, wie beispielsweise Expertise von Anwendern, in digitalen Zwillingen von komplexen Produkten und Systemen berücksichtigt, um eine verbesserte Mensch-Maschine-Organisation zu befördern. Dass der digitale Zwilling in seiner heutigen Ausprägung angesichts der Nutzungsmöglichkeiten zur Effizienzerhöhung von Produkten, Prozessen oder Diensten selbst zu einem ökonomischen Faktor werden kann, liegt auf der Hand. Da über die Simulation indirekt oder direkt auch ökonomische Kollaborationspotenziale abgeleitet werden können, ist durch virtuelle Abbilder auch eine Unterstützung bei der Bewertung von Kollaborationspotenzialen denkbar. Unter der Voraussetzung einer entsprechenden Modellierung kollaborativer Systeme ist auf der Basis multikriterieller Optimierungsansätze theoretisch sogar die Berücksichtigung unterschiedlicher und nicht quantitativ vergleichbarer Akteursinteressen beim Entwurf und Betrieb der Systeme vorstellbar.

### 3.3 Das kollaborative Engineering

Kollaboratives Engineering, das heißt kollaboratives Arbeiten im Engineering, erfordert, dass zwei oder mehr Akteure einen geteilten Pool von Inhalten gemeinsam nutzen und verändern, um daraus etwas Neuartiges zu schaffen. Laut (Shen et al. 2008) ist kollaboratives Engineering ein Konzept zur Optimierung von Engineering-Prozessen mit dem Ziel einer besseren Produktqualität, kürzerer Durchlaufzeiten bei der Fertigung, wettbewerbsfähigerer Kosten und höherer Kundenzufriedenheit.

Bereits in (Stiefel 2011) wurden informationstechnische Ansätze für den organisationsübergreifenden Datenaustausch analysiert, die für die Unterstützung einer effizienteren Wissensverarbeitung im kollaborativen Engineering infrage kommen. Hierarchische Architekturen wurden bereits zum damaligen Zeitpunkt als zu unflexibel eingeschätzt, um Kollaborationsnetzwerke der zukünftigen Generation zu unterstützen. Vielmehr ging man davon aus, dass sich Architekturansätze des Peer-to-Peer-Computing besser eignen. Als Ziel wurde die „Entwicklung eines Ansatzes für zukünftige lose gekoppelte Kollaborationsplattformen“ unter Berücksichtigung wichtiger IT-Schlüsseltechnologien wie der „serviceorientierten Architektur (SOA) oder der modellgetriebenen Softwareentwicklung (MDSD)“ formuliert (Stiefel 2011).

Zwischenzeitlich haben sich Plattformen als informationsarchitektonischer Ansatz für viele vergleichbare Aufgaben durchgesetzt. Die Spanne reicht hier vom Musikvertrieb über den Handel von Neu- und Gebrauchtwaren im Privat- und Businessbereich bis hin zur Mobilität und darüber hinaus. Das B2B-Geschäft setzt in einigen Feldern auch auf Plattformlösungen; im Engineering ist das aber bis jetzt nicht üblich.

Mit der Ursachenforschung beschäftigt sich diesbezüglich auf wissenschaftlicher Ebene beispielsweise die Jönköping University, die Herausforderungen, Besonderheiten und einen möglichen Lösungsansatz dafür aufzeigt:

- Der Erfolg einer Plattform ist letztlich von den Mehrwerten und der Kundenzufriedenheit abhängig. Diese Kundenzufriedenheit hängt in der Industrie häufig von hochgradig maßgeschneiderten Produkten ab, deren Engineering mit schwankenden Anforderungen konfrontiert ist. Diese hohe Anforderung unterscheidet sich von Unternehmen, die Endverbraucherprodukte entwickeln, die feste Spezifikationen verwenden und bei denen Produktplattformen oder modulare Ansätze erfolgreich eine effiziente Anpassung ermöglicht haben. Solche klassischen Produktplattformen

sind häufig nicht in der Lage, Unternehmen in einem derartigen Umfeld vollständig zu unterstützen (André et al. 2017).

- Im Rahmen der Forschungsarbeiten wurde eine Designplattform für das Engineering maßgeschneiderter Produkte erstellt, die über herkömmliche Plattformkonzepte hinausgeht. Dieser Plattformansatz bietet eine kohärente Umgebung für heterogene Design-Assets, indem sowohl die Designaktivität als auch die fertigen Lösungen unterstützt werden (Elgh et al. 2017). Die Behandlung wirtschaftlicher und rechtlicher Fragen wurde nicht untersucht.

Insgesamt zeigt sich das Bild eines soliden Fundaments hinsichtlich technischer Lösungen zum kollaborativen Engineering, die für unternehmensinterne Prozesse eine wichtige Grundlage darstellen. Eine ganzheitliche Betrachtung unter Berücksichtigung von rechtlichen, wirtschaftlichen und arbeitsorganisatorischen Fragestellungen, die für ein unternehmensübergreifendes kollaboratives Engineering notwendig ist, steht aber noch aus.

### 3.4 Unternehmenskooperationen und -kollaborationen

Die Qualität einer Zusammenarbeit von wirtschaftlich und rechtlich unabhängigen Unternehmen kann anhand von drei Prozessen beziehungsweise Mechanismen klassifiziert werden, die sich hinsichtlich ihrer Zielsetzung und der Intensität der Interaktion unterscheiden: Koordination, Kooperation und Kollaboration (Borsato und Peruzzini 2015). Während die Koordination einen in der Regel weniger umfangreichen Informationsaustausch zum Zweck einer inhaltlichen oder zeitlichen Abstimmung von Teilaufgaben erfordert, zeichnen sich Kooperation und Kollaboration durch ein gemeinsames Arbeiten an einer geteilten Problemstellung aus. Bei der Kollaboration ist jedoch im Gegensatz zur Kooperation die Aufteilung und Abgrenzung von Teilaufgaben, die Akteure einzeln bearbeiten können, nicht mehr möglich, sodass sich hier in der Regel die höchste Komplexität der Interaktion ergibt. Es besteht ein klares hierarchisches Verhältnis zwischen den drei benannten Prozessen, da Kooperation immer auch Koordination und Kollaboration erfordert.

#### 3.4.1 Typologisierung

Eine Unternehmenskooperation oder -kollaboration zwischen zwei oder mehr Unternehmen ist zielführend, wenn ein reeller Mehrwert für alle beteiligten Akteure generiert werden kann. Eine solche Zusammenarbeit muss folglich zumindest den Aufwand für die Koordination zwischen den Unternehmen rechtfertigen. Generelle Motive sind Vorteile durch den Zugang zu neuen Technologien, Reduktion von Kosten und Risiken, sowie wettbewerbsstrategische, Zeit- und Flexibilitätsvorteile (Jensen 2001; Moerman et al. 2016). Schlüsselbedingungen für eine erfolgreiche Kollaboration, bei der im Vergleich zur allgemeinen Kooperation aufgrund einer engeren Verflechtung keine zeitliche Aufteilung der Aufgaben möglich ist, werden etwa von (Wouters et al. 2017) in einem definierten gemeinsamen Ziel der Partner, einer kontinuierlichen Synchronisation von Handlungen, einem sinnvoll gesteuerten Datenaustausch und nicht zuletzt einer gewissen Komplementarität der Kompetenzen von Partnern gesehen.

Die Erhöhung der Kosten- und Zeiteffizienz bei der Entwicklung und Fertigung von komplexen und zum Teil individualisierten Produkten ist im Engineering eine typische Zielsetzung für eine unternehmensübergreifende Zusammenarbeit. Schlüsselvoraussetzungen für ein erfolgreiches kollaboratives Engineering sind laut (Krause 2007):

- die Nutzung von gemeinsamen Ontologien, mit denen komplexe Datenmodelle und

- Wissensrepräsentationen dargestellt werden können,
- die Integration externer Vorgänge in unternehmensinterne Arbeitsprozesse in Kombination mit geeigneten technischen Sicherheitsinfrastrukturen zum Schutz intellektuellen Firmeneigentums,
- eine geeignete Abstimmung der technischen und organisatorischen Prozesse.

Es existieren unterschiedliche Typen von Kooperationen und Kollaborationen (siehe Tabelle 1). Denkbar sind Ausprägungen von losen Netzwerken über typische Hersteller-Zulieferer-Beziehungen und Clusterorganisationen bis hin zu strategischen Allianzen und Systempartnerschaften, die sich unter anderem hinsichtlich Integrationstiefe, Partnerkoordination und Offenheit unterscheiden (Steinhorst 2005). Während typische Netzwerke und Hersteller-Zulieferer-Beziehungen zumeist aus produkt- und projektbezogenen Überlegungen entstehen, können strategische Allianzen und Systempartnerschaften auch auf längerfristige strategische Ziele wie etwa eine gemeinsame Serienentwicklung ausgerichtet sein. Konkrete Rahmenvereinbarungen, Zeitskalen und die Tiefe der Integration von Unternehmensbereichen können entsprechend individuell ausgestaltet sein. Clusterorganisationen sind ebenfalls auf langfristige strategische Zielstellungen ausgerichtet, jedoch nicht auf dem Niveau von Produkten oder Produktgruppen, sondern auf der Ebene von Branchen oder regionalen Wertschöpfungsnetzwerken (Meier zu Köcker et al. 2016).

Gleichzeitig unterscheidet man Kooperationen und Kollaborationen auch anhand der Abhängigkeit der Unternehmen in der Wertschöpfungskette beziehungsweise dem Wertschöpfungsnetzwerk. Man spricht von vertikalen Unternehmenszusammenschlüssen, wenn Unternehmen unterschiedlicher Marktstufen miteinander kooperieren. Darunter fallen etwa die Verlagerung von Funktionsbereichen zu externen Anbietern (Outsourcing), Zusammenschlüsse von Unternehmen entlang der Wertschöpfung oder auch Franchising. Unter horizontalen Unternehmenszusammenschlüssen versteht man hingegen Kooperationen und Kollaborationen von Unternehmen gleicher Marktstufe. Hierunter fallen zeitlich begrenzte Zusammenschlüsse oder auch längerfristige Bindungen in strategischen Allianzen oder auch Kartellen. Cluster umfassen sowohl horizontale als auch vertikale Kooperationen unter Hinzunahme von Forschungseinrichtungen.

Über die vorgestellten Arten von Unternehmenskooperationen hinaus gibt es noch die sogenannten ko-kreativen Prozesse (englisch: co-creation), durch die auch Endkunden – Geschäftskunden und Endkonsumenten gleichermaßen – in die verschiedenen Gestaltungsphasen, insbesondere von Produkten, maßgeblich einbezogen werden können. Diese Form der Zusammenarbeit kann ebenfalls als eine besondere Art der Kollaboration klassifiziert werden. Dabei führt Ko-Kreation nicht notwendigerweise zu (offenen) Innovationen. Das Risiko „am Kunden vorbei zu entwickeln“, das besonders im Umfeld stetiger technologischer Erneuerungen besteht, kann jedoch aus Sicht von Herstellern und Servicedienstleistern durch ko-kreative Prozesse teilweise gemindert werden, da sich gewisse Kundenpräferenzen aus diesen Prozessen ableiten lassen. Zur Begriffsklärung ist wichtig festzuhalten, dass etwa eine bloße Auswahl aus beispielsweise vorgegebenen Gestaltungselementen oder Features noch nicht als Ko-Kreation gilt. Befragungen von Kunden zeigen, dass diese jene Unternehmen, die ko-kreative Partizipation ermöglichen, deutlich positiver wahrnehmen und dies einer Markenbindung zuträglich ist. Befragungen von Unternehmen belegen gleichzeitig, dass der Hauptvorteil von ko-kreativer Kundenbeteiligung aus Herstellersicht in der erhöhten Wahrscheinlichkeit, Kundenanforderungen zu befriedigen, gesehen wird (Hitachi Europe Ltd. 2015).

	Ausprägungen					
Eigenschaften	Netzwerk	Cluster	Hersteller-Zulieferer-Beziehung	Strategische Allianz	Systempartnerschaft	Ko-Kreation
Leistungsarten	Konzeptentwicklung, Serienentwicklung und Produktion	Konzeptentwicklung, Rahmenbedingungen und Strategie	Serienentwicklung und Produktion	Konzeptentwicklung, Serienentwicklung und Produktion sowie Strategie	Konzeptentwicklung, Serienentwicklung und Produktion	individuelle Konzeptentwicklung und Produktion
Integrationstiefe der Entwicklung	sehr niedrig bis eher hoch	eher hoch bis sehr hoch	sehr niedrig bis eher niedrig	eher hoch bis sehr hoch	eher hoch	sehr niedrig bis eher niedrig
Wertschöpfungsstufen	horizontal, vertikal	horizontal, vertikal	vertikal	horizontal	vertikal	vertikal
Partnerkoordination	föderativ, fokal	föderativ, fokal	fokal	föderativ	fokal	fokal
Kapazitive Redundanz	Single, Dual, Multiple Sourcing	Single, Dual, Multiple Sourcing	Dual, Multiple Sourcing	Single Sourcing	Single Sourcing	Single Sourcing
Wettbewerb	offen	offen	offen, eingeschränkt	eingeschränkt, ausgeschlossen	eingeschränkt	unzutreffend
Offenheit	selektiv	selektiv	zeitbezogen, projektbezogen	selektiv, zeitbezogen	projektbezogen	nein
Vertragsart	informell/formell, multilateral	formell und multilateral	formell und bilateral	formell und multilateral	formell und bilateral	formell und bilateral
Stabilität	fallweise, projektbezogen	langfristig strategisch	fallweise, projektbezogen	langfristig strategisch	projektbezogen, langfristig strategisch	projektbezogen
Autonomie	Gleichgewicht, temporäres Ungleichgewicht	Gleichgewicht	temporäres Ungleichgewicht, Dominanz	Gleichgewicht	Gleichgewicht	Dominanz

Tabelle 1: Typologie von Kooperationen und Kollaborationen (angelehnt an (Steinhorst 2005))

### 3.4.2 Ausprägungen und Best Practices

Es ist zu beobachten, dass das Bewusstsein für die Bedeutung von Netzwerken und der strategischen Positionierung unter Unternehmen des europäischen Marktes wächst (Moerman et al. 2016). Das kollaborative Engineering ist insofern nur ein Ausschnitt aus einer neuen Qualität unternehmensübergreifender Zusammenarbeit. Konkrete Beispiele des kollaborativen Engineerings sind aber noch vergleichsweise selten:

#### Hersteller-Zulieferer-Beziehungen, strategische Allianzen und Systempartnerschaften

Das Management von Kooperationen gehört sowohl bei Unternehmen als auch Verbänden inzwischen zum Tagesgeschäft. Bei Großunternehmen haben sich gezielte und strategisch initiierte Netzwerke als Erfolgsfaktor erwiesen (IBM Deutschland GmbH/XAX 2012). Gegenwärtig ist „... die Wettbewerbsfähigkeit einer ganzen Reihe von Branchen nicht mehr ohne eine nachhaltige Vernetzung der Hersteller, Zulieferer, Komplementoren und Kunden vorstellbar“ (Künzel et al., S. 16).

Es ist zu beobachten, dass sich besonders innovationsintensive Bereiche (zum Beispiel Photonik, Biotechnologie) und Industriezweige, in denen die enge Zusammenarbeit mit Zulieferern gängige Praxis ist, wie etwa der Automobilbau (Morel et al. 2016; Ferreira et al. 2017) oder die Luftfahrtindustrie (Baalbergen et al. 2017; Mas et al. 2013), bei der Umsetzung von innovativen Pilotprojekten des kollaborativen Engineerings hervortun. Für strategische Allianzen, die Kapazitäten und technische Innovationspotenziale von Unternehmen drastisch erhöhen können, sind aus Pilotprojekten ableitbare Best Practices und erprobte Workflows von hohem Nutzen, da Untersuchungen zufolge die Misserfolgsquoten dieser Allianzen zwischen 40 und 70 Prozent liegen (Moerman et al. 2016). Ein Beispiel für eine strategische Allianz stellen etwa die Beteiligungen dreier großer deutscher Automobilhersteller am Kartendienst „Here“ dar, die aufgrund eines gemeinsamen strategischen Interesses zustande kamen und durch die sich heute Industriestandards zur Anbindung von Diensten in Fahrzeugen unterschiedlicher Hersteller gebildet haben und weiter bilden.

### Ko-kreative Prozesse

Eine Mehrheit von Unternehmen aus den Engineering-Domänen hat die ko-kreative Kundeneinbindung zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht in interne Prozesse integriert. In der Automobilindustrie zeigen sich entsprechende Entwicklungen wohl am deutlichsten: So betreiben mehrere Automobilhersteller Co-Creation Labs oder organisieren Co-Creation-Veranstaltungen, um Kunden in der Entwurfsphase in Designprozesse oder die Entwicklung von „Konzeptfahrzeugen“ einzubeziehen. Ein Beispiel für ein solches Konzeptfahrzeug ist der für Ride Pooling ausgerichtete Shuttle MOIA von Volkswagen (Volkswagen AG 2017).

Eine wichtige Enabler-Rolle hinsichtlich ko-kreativer Prozesse fällt in der fertigenden Industrie dem 3D-Druck (additive Fertigung) und entsprechenden 3D-Druckplattformen zu. 3D-Druckverfahren kommen heute in den meisten Branchen des Engineerings und darüber hinaus immer häufiger zum Einsatz, etwa in der Kunststofffertigung, der chemischen Industrie, dem Maschinen- und Anlagenbau sowie in der Automobil- und Luftfahrtindustrie. Dabei ist ein klarer Trend zur Nutzung von 3D-Druckdienstleistungsangeboten erkennbar: In einer länderübergreifenden Unternehmensbefragung (Müller und Karevska 2016) gab ein hoher Anteil der Befragten an (41 Prozent), dass ihr Unternehmen künftig Bauteile von 3D-Druckdienstleistern beziehen wolle. Nur ein deutlich geringerer Anteil (26 Prozent) zieht in Betracht, unternehmenseigene 3D-Drucker für die additive Bauteilfertigung zu nutzen oder anzuschaffen. Die Rolle von 3D-Druckplattformen beziehungsweise -dienstleistern bleibt im Rahmen von entsprechenden Aufträgen aufgrund mangelnden Know-hows der Auftraggeber häufig nicht auf den Druck beschränkt, sondern erstreckt sich nicht selten auch auf ko-kreative Tätigkeiten (Rayna et al. 2015). Aufgrund der Vervielfältigungs- und Manipulationsmöglichkeiten im 3D-Druck ergeben sich auf derartigen 3D-Druckplattformen besondere Bedarfe für technische Sicherheitslösungen zum Umgang mit IP-Management, Nachverfolgbarkeit und der Unterscheidbarkeit zwischen rechtmäßigen und Raubdrucken (Engelmann et al. 2018; Holland et al. 2017).

### Cluster

Über die Ebene betrieblicher Kooperationsformen hinaus gehen branchenbezogene Netzwerkkonzepte. Führt man vertikale Wertschöpfungsketten, das Konzept strategischer Allianzen und Innovationsprozesse zusammen, so entsteht eine neue Qualität von Kooperation. Diese wird ergänzt durch die Zusammenarbeit mit Hochschulen, anderen Forschungseinrichtungen sowie Multiplikatoren. Besonderes Gewicht bekommt eine solche Vernetzung, wenn sie mit regionaler Nähe und intensiver Kooperation einhergeht. Man spricht dann von einem Cluster. Deren Wettbewerbsvorteile liegen in verbesserter Arbeitsteilung und positiven externen Effekten innerhalb der „Triple Helix“ von Unternehmen, Forschung und Multiplikatoren (Politik, Wirtschaftsförderung, Verbände).

Gerade für kleinere Unternehmen ist eine enge Vernetzung mit dem Umfeld ein idealer Katalysator, um die eigenen Fähigkeiten und das eigene Know-how mit dem von anderen Akteuren zu kombinieren. Das gilt sowohl entlang der Wertschöpfungskette als auch hinsichtlich komplementärer Kompetenzen und Ressourcen.

Trotz moderner Kommunikationsmittel ist der regionale Aspekt, das heißt die räumliche Nähe der einzelnen Akteure zueinander, auch heute noch eine entscheidende Komponente. Dabei sind Cluster und Netzwerke, die von der räumlichen Nähe der Partner profitieren, mehr als ein loser Zusammenschluss. Abhängig von ihrer Entwicklungsstufe lassen sie sich mit einem virtuellen Unternehmen vergleichen. Sie verfügen über langfristige Strategien, die durch ein zielgerichtetes Serviceportfolio unterstützt und umgesetzt werden. Hierzu bedarf es einer professionellen Koordination, die in der Regel ein Cluster- bzw. Netzwerkmanagement übernimmt (Müller et al. 2012). Forschungsergebnisse zeigen, dass leistungsstarke Cluster überproportionale wirtschaftliche Mehrwerte generieren können (Ketels und Protsiv 2013).

Der Engineering-Prozess hat häufig eine Schlüsselfunktion im Hinblick auf die Umsetzung neuer technologischer oder methodischer Ansätze in innovative Produkte und (damit verbundene und darauf aufsetzende) innovative Dienstleistungen. In (Künzel et al. 2015) wurde die Rolle von Clustern in derartigen kollaborativen Innovationsprozessen untersucht. Beispielhaft für ein solches Cluster mit Bezug zum Engineering sei hier „it's OWL“ (Region Ostwestfalen-Lippe), ein Preisträger im Rahmen des BMBF-Spitzenclusterprogramms, genannt (Rothgang et al. 2014).

# 4 Herausforderungen und Lösungsansätze aus einer fachübergreifenden Expertensicht

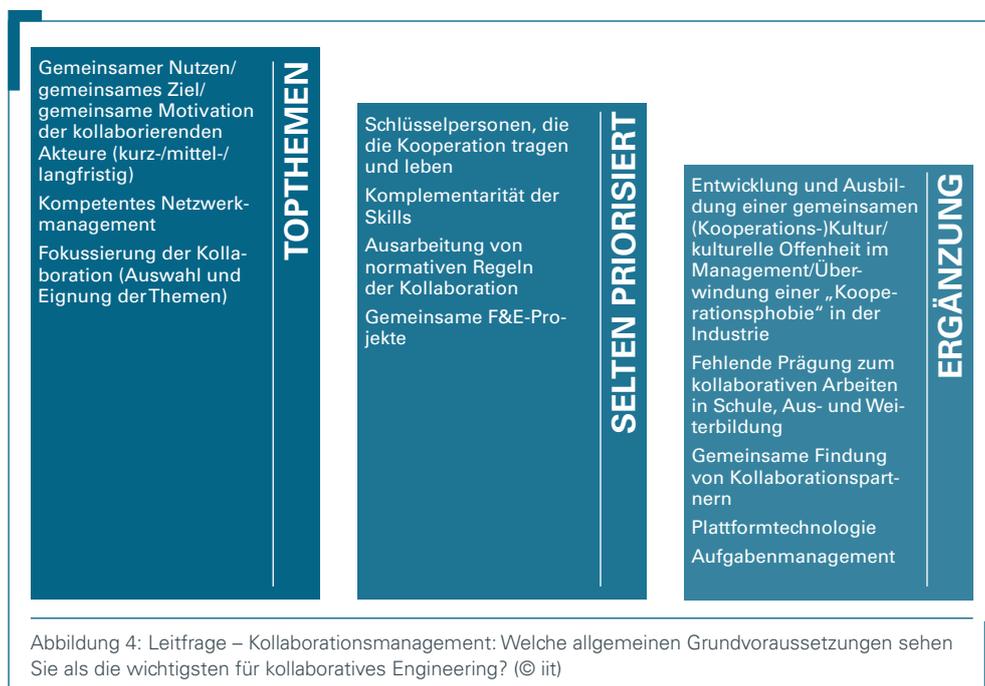
In den Interviews und dem Review-Workshop mit den Experten wurden in erster Linie die praktischen Herausforderungen des kollaborativen Engineerings und die sich dazu momentan abzeichnenden Lösungsansätze aus der Sicht von Experten aus Wissenschaft und Wirtschaft thematisiert.

## 4.1 Kollaborationsmanagement

### 4.1.1 Ausgangslage

Vor allem im vorwettbewerblichen Bereich sind Kollaborationen weit verbreitet: F&E-Verbundprojekte mit Beteiligung der Industrie und von Forschungseinrichtungen sind Alltag; das BMWi-Förderprogramm zur Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) existiert seit Jahrzehnten (Kind et al. 2013). Im wettbewerblichen Bereich, zu dem das Engineering gehört, unterliegen Kollaborationen stärkeren Einschränkungen. Auch wenn in den letzten 20 Jahren im Kontext von Netzwerken und Clustern und unter dem Schlagwort „Open Innovation“ eine erhebliche Zunahme zu verzeichnen ist, so ist kollaboratives Arbeiten im Bereich des Engineerings als Schlüsselprozess zur Erlangung von Alleinstellungsmerkmalen weniger verbreitet.

Systematische Kenntnisse über das Kollaborationsmanagement und insbesondere die „weichen“ soziologischen Faktoren für das kollaborative Engineering sind daher beschränkt.



### 4.1.2 Einschätzung aus Praxissicht

Im Rahmen der Interviews wurde mit den Experten zuerst das Umfeld für ein unternehmensübergreifendes kollaboratives Engineering (Kollaborationsmanagement) diskutiert. Die in Abbildung 4 (links und mittig) aufgezeigten Teilaspekte wurden dabei zur Diskussion gestellt. Die rechte Spalte führt die im Rahmen der Interviews ergänzten Teilaspekte auf.

Mehr als die Hälfte der Experten bewertet den Aspekt *Gemeinsamer Nutzen/gemeinsames Ziel/gemeinsame Motivation der kollaborierenden Akteure* mit Priorität 1 oder 2. Das ist bei der Leitfrage zum Kollaborationsmanagement der mit Abstand höchste Wert. Dem folgen die Aspekte *Kompetentes Netzwerkmanagement* und *Fokussierung der Kollaboration*. Insgesamt spannt diese Prioritätensetzung ein Feld für den strukturellen Rahmen zwischen Unternehmensstrategie, Nutzenüberlegungen und sozialen Kompetenzen der Schlüsselakteure auf. Die vorgenommenen Ergänzungen lassen sich gut in dieses Feld integrieren.

#### Nutzen und Motivation kollaborierender Akteure

In der Diskussion zu diesem Themenschwerpunkt werden von den Experten hohe und durchaus unterschiedliche Erwartungen an ein erfolgreiches kollaboratives Engineering hinsichtlich der Aspekte Zeitgewinn, Qualitätssteigerung und Risikominimierung im Entwicklungs-, Fertigungs- und Instandhaltungsprozess formuliert. Deutlich wurde die Bedeutung langfristiger strategischer Kollaborationen, die über das Engineering hinausgehen. Das kollaborative Engineering wird ferner von mehreren Experten nur als Teilaspekt einer gesamten kollaborativen Wertschöpfung gesehen – insofern sind bei der Nutzenbetrachtung die anderen Phasen der Wertschöpfungskette und die gesamte Produktlebensdauer einzubeziehen. Auch eine bessere Kenntnis von Kundenbedarfen wird von einzelnen Interviewpartnern als eine Motivation genannt, um eine entsprechende Form der Zusammenarbeit einzugehen.

Im Anschluss an die häufig aufwändige Suche und Identifizierung geeigneter Partner und Anwendungsspektren, die sich für ein kollaboratives Engineering eignen, sind laut Meinung vieler Experten die Formulierung klarer Entwicklungsziele, eine angemessene Aufwandsplanung und ein regelmäßiger Review des Nutzens durch die beteiligten Akteure notwendig. Gerade bei komplexen gemeinsamen Entwicklungen ist laut Aussage mehrerer Experten eine angemessene Grundlagen- und Ressourcenplanung unentbehrlich, damit auf Basis einer realistischen Entwicklungsbudgetplanung gemeinsame Strategien und Geschäftsmodelle umgesetzt werden können. Im Anlagenbau könnten hier das sogenannte Front-End Engineering Design (FEED) beziehungsweise Front-End Loading (FEL) als Vorbild dienen, besonders wenn die Agilität der Entwicklungsprozesse hinsichtlich der Kundeneinbindung weniger stark im Vordergrund steht.

Aufgeworfen wurde ebenfalls die Frage, wie qualitative Ziele von Kollaborationspartnern und der Erfolg der Kollaboration als Ganzes messbar gemacht werden können – die Metrik einer Kollaboration stellt eine Herausforderung dar und bemisst sich selbst bei der Betrachtung ein und desselben Projekts offensichtlich durch die Beteiligten unterschiedlich.

Der rein ökonomische Nutzen von Akteuren in längerfristig angelegten Kollaborationen bemisst sich an den Geschäfts- beziehungsweise Beteiligungsmodellen und insbesondere daran, wie diese über die gesamte Lebensdauer von Produkten und Diensten ausgestaltet sind. Zumindest ein Experte warf ein, solche Geschäftsmodelle enthielten, zum Beispiel für die Systemintegratoren, häufig keine attraktiven Beteiligungen an erwirtschafteten Gewinnen, wodurch es für aufwändige Entwicklungen von nachhaltigen Lösungen, etwa zur anlagenübergreifenden Optimierung von Fertigungsprozessen, keinen Anreiz gebe.

### Kompetentes Netzwerkmanagement

Gemeinsam mit der Fokussierung der Kollaboration wird ein kompetentes Netzwerkmanagement als zweite wichtige Herausforderung und Erfolgsfaktor des kollaborativen Engineerings angesehen. In den Interviews ist deutlich geworden, dass jenseits der anonymen Plattformwelt den personellen Beziehungen und Kommunikationsformen eine Schlüsselbedeutung beim Erfolg zugewiesen wird. Die Bedeutung des Vernetzens von Menschen, Schlüsselpersonen und Grundwerten wird von unterschiedlichen Interviewpartnern ebenso betont wie das Risiko des „Aneinandervorbeiredens“. Auffällig ist weiterhin, dass von Experten mehrfach auf regionale Nähe und Clusterorganisationen als Erfolgsfaktor verwiesen wird; ein Fakt, der den Möglichkeiten einer globalen digitalen Kollaboration unmittelbar entgegenzustehen scheint.

Da die involvierten Personen potenziell auf unterschiedlichen Hierarchiestufen der kollaborierenden Unternehmen verteilt sind, die möglicherweise unterschiedliche Organisationsformen oder kulturelle Hintergründe haben, sind für ein erfolgreiches Netzwerkmanagement nicht nur interdisziplinäre, sondern auch interkulturelle und integrative Kompetenzen erforderlich, wie von mehreren Interviewpartnern herausgestellt wurde. Die Bereitschaft für eine Einordnung in eine „Philosophie der Kollaboration“, die das Teilen von gewissen Grundwerten einschließt, wurde dabei mehrfach als Grundvoraussetzung benannt, die alle beteiligten Akteure in einem gewissen Maß mitbringen sollten. Ähnlich gilt dies auch für Unternehmenshierarchien entlang der Wertschöpfung: Während des eigentlichen gemeinsamen Entwicklungsprozesses ist im Hinblick auf das Innovationspotenzial auf eine Gleichberechtigung der mitentwickelnden Unternehmen zu achten, ungeachtet möglicher Abhängigkeiten von Unternehmen.

### Fokussierung der Kollaboration

Die Fokussierung der Kollaboration ist sowohl auf Einzelunternehmensebene (Bei welchen Themen kooperiere ich, was mache ich allein?) als auch auf Netzwerkebene (Welche Themen gehen wir gemeinsam an und wie?) erforderlich. Größere Unternehmen verfolgen in der Regel eine dezidierte Strategie, mit welchen Themen sie in Kooperationsbeziehungen (sowohl im Engineering als auch in anderen Phasen der Wertschöpfung) gehen und welche als Kernkompetenzen abgeschirmt werden. Bei kleineren Unternehmen ist eine solch konsequente Ausrichtung nach Meinung der Experten häufig nicht gegeben oder auch schwierig auszuprägen, da sie in stärkerem Maß Marktzwängen unterliegen.

Wiederholt wurde durch die Experten die Bedeutung einer langfristigen Kollaborationsstrategie hervorgehoben, gerade vor dem Hintergrund, dass das Engineering in stärkerem Maß als bisher nicht nur am Beginn der Wertschöpfungskette stattfindet, sondern auch im Rahmen von Re-Engineerings, Retrofits oder anderen Anpassungsprozessen wiederholt im Lauf des Produktlebenszyklus. Gleichzeitig werden im ingenieurstechnischen Erstentwurf wesentliche Grundlagen für die spätere Nutzung, Optionen für Geschäftsmodelle und die Weiterentwicklung gelegt.

### Weniger priorisierte Themen

- Eine besondere Bedeutung fällt laut Meinung der Experten ebenfalls den *Schlüsselpersonen, die die Kooperation tragen und leben*, zu. Das Thema wurde zwar nur von wenigen Interviewpartnern mit Priorität 1 oder 2 der wichtigsten Bedingungen für das Management des kollaborativen Engineerings bewertet, jedoch von vielen Experten als wichtig erachtet. Da Schlüsselpersonen in der Regel auf unterschiedlichen Hierar-

chiestufen und zugleich in einer Umgebung ohne klare Zuordnung von Leitung und Verantwortung agieren, benötigen diese Personen besondere Eigenschaften wie etwa Einschätzungsvermögen, gegebenenfalls auch in interdisziplinärer und interkultureller Hinsicht, sowie eine ausgeprägte Überzeugungskraft.

- Das Thema *Ausarbeitung von normativen Regeln der Kollaboration* wurde von einigen Experten als wichtig erachtet, obwohl sich eine einheitliche Prozessstrukturierung sowie technische (Schnittstellen) und rechtliche Umsetzungen (Umgang mit geistigem Eigentum, Datenhoheit) aufgrund der Heterogenität von Kollaborationsformen schwierig gestalten. Einige Interviewpartner erachteten das Thema als unwichtig, da nach ihrer Einschätzung eine zu technokratische Herangehensweise und Regulierung einer erfolgreichen Zusammenarbeit abträglich seien.
- Die Herausbildung einer eher übergeordneten „Kultur der Kollaboration“ innerhalb von Unternehmen wurde von diversen Interviewpartnern als wichtige Grundvoraussetzung für ein kollaboratives Engineering benannt. Dabei reichten die Äußerungen der Experten zu diesem Thema von der Forderung nach einer unternehmenskulturellen *Offenheit im Management* über die Beobachtung einer *Kooperationsphobie in der Industrie* bis hin zu der Forderung, *Kooperationen und Kollaborationen fest in Schul-, Aus- und Weiterbildung* zu verankern, um eine generelle positive Einstellung für das Thema Kooperation und Kollaboration frühzeitig zu etablieren.
- Die Themen *Komplementarität der Skills* oder *Gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsprojekte* wurden von den Interviewpartnern weder als besonders wichtig noch als unwichtig für die strukturellen Rahmenbedingungen beziehungsweise das Kollaborationsmanagement eingeschätzt. Von einzelnen Experten hinzugefügt, jedoch ebenfalls selten als Topthema priorisiert, wurden die praktische *Gemeinsame Findung von Kollaborationspartnern*, die unter anderem dafür einsetzbaren *Plattformtechnologien* und ein effizientes *Aufgabenmanagement* für die Kollaboration.

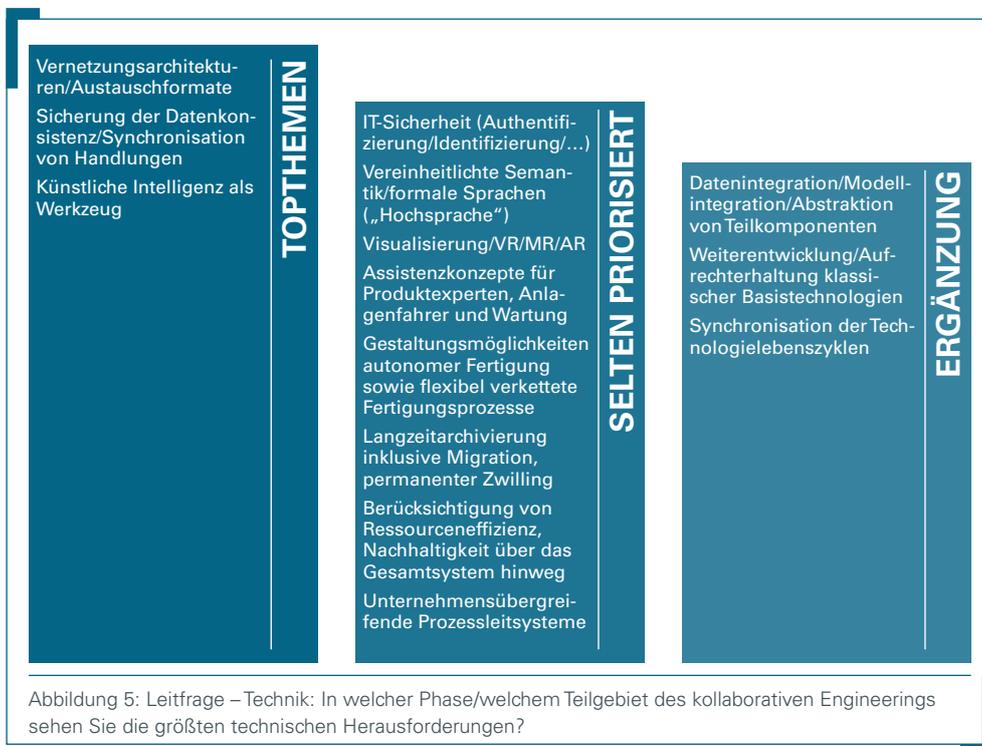
## 4.2 Technik

### 4.2.1 Ausgangslage

Das kollaborative Engineering ist heutzutage innerhalb von Unternehmen weit verbreitet. Dabei ist der durchgehende Einsatz von Software-Tools für Design, Konstruktion, Simulation, Test, Produktdatenmanagement und technische Dokumentation ein angestrebtes Idealmodell. Es ermöglicht sowohl kürzere Entwurfszeiten als auch ein abgestimmtes Ineinandergreifen von unterschiedlichen Fachgebieten und damit effizientere Lösungen. Unternehmensintern gibt es durchaus erhebliche Herausforderungen, insbesondere bei den Schnittstellen zwischen den fachspezifischen Tools und der semantischen Integration von Daten über den gesamten Engineering-Prozess hinweg. Es ist unschwer abzusehen, dass diese Herausforderungen bei der unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit in einer neuen Qualität auftreten.

### 4.2.2 Einschätzung aus Praxissicht

Die technischen Aspekte des zukünftigen kollaborativen Engineerings bildeten einen Schwerpunkt in den Expertengesprächen, auch weil der überwiegende Teil der Befragten aus diesem Kontext kam. Die in Abbildung 4 (links und mittig) aufgezeigten Teilaspekte wurden dabei zur Diskussion gestellt. Im Gegensatz zur vorherigen Betrachtungsebene wurde aufgrund der großen Themenvielfalt (elf Vorschläge) die Heraushebung einer Priorität 3 zugelassen. Alle drei ergänzten Teilaspekte (rechte Spalte) stehen in relativer inhaltlicher Nähe zu den vorgeschlagenen Teilaspekten.



Bei der Auswertung der Interviews werden zwei Themen gleichauf von etwa der Hälfte der Experten mit Priorität 1, 2 oder 3 bewertet – *Vernetzungsarchitekturen/Austauschformate* sowie *Sicherung der Datenkonsistenz/Synchronisation von Handlungen*. Damit wurden sehr grundlegende Fragestellungen wie gemeinsame Austauschformate und Datenkonsistenz in das Zentrum des Handlungsbedarfs gerückt, was als Indikator für den noch erforderlichen erheblichen Entwicklungsweg gedeutet werden kann. Mit deutlichem Abstand folgt der erste Vertreter technologisch anspruchsvollerer Themen *Künstliche Intelligenz als Werkzeug* sowie kurz darauf mit *IT-Sicherheit* wieder eine Basiskompetenz.

### Vernetzungsarchitekturen/Austauschformate

Domänen- und wertschöpfungskettenübergreifende Austauschformate sind notwendige Grundlage kollaborativen Engineerings. Viele moderne Engineering-Software-Tools haben eine Entwicklungsgeschichte von mehr als 20 Jahren hinter sich und wurden in dieser Zeit zu leistungsstarken Tools entwickelt. Damit ging auch eine domänenspezifische, anwendungsorientierte Datenstruktur einher. Gleichzeitig wurde diese Datenstruktur auch häufig als Mittel der Abgrenzung von Wettbewerbern benutzt. Seit etwa zehn Jahren werden von verschiedenen Akteuren Schritte unternommen, diesen Zustand durch Open-Source-Lösungen zu überwinden, um damit zu nicht proprietären Standards zu kommen, was von einigen Interviewpartnern als wichtig eingestuft wird.

Beim wertschöpfungskettenübergreifenden Engineering kommt eine weitere Herausforderung hinzu, die von mehreren Interviewpartnern thematisiert wurde. Abhängig von der Integrationstiefe, in der der Konstrukteur arbeitet (stark vereinfacht: Komponente – Subsystem – System – Umwelt) wird ein völlig unterschiedlicher Detaillierungsgrad der Informationen benötigt. Den Entwickler eines kundenspezifischen elektronischen Schaltkreises verbindet mit dem Systemkonstrukteur eines Fahrzeugs wenig mehr als die zu berücksich-

tigende Lebensdauer des Produkts. Stellt man grundsätzlich alle verfügbaren Informationen zur Verfügung, erleiden beide Akteure einen Informations-Overflow.

Eine Herausbildung von nicht proprietären Standards zur Entwicklung von Basismodellen für Engineering-Komponenten wird von unterschiedlichen Experten während der Interviews als sehr wichtig bezeichnet. Angesichts sich entwickelnder Formate wie etwa dem offenen Datenformat AutomationML zum Datenaustausch oder dem offenen M2M-Kommunikationsprotokoll OPC-UA für industrielle Automatisierung und entsprechender Kopplungsmöglichkeiten wird eine Herausbildung solcher nicht proprietärer Standards perspektivisch zumindest für möglich gehalten. Eine Herausforderung dabei ist aber oft die Entwicklung nachhaltig tragfähiger Betreibermodelle für die Ausarbeitung und Verbreitung dieser Standards.

Für einen Einsatz von cyberphysischen Systemen im Rahmen des kollaborativen Engineerings wurden eine dezentrale Datenhaltung, ein dezentraler, semantiktloser KI-basierter Datenaustausch, eine entsprechende Qualitätssicherung sowie ein geeignetes Betriebssystem als technische Voraussetzungen für einen effizienten Datenaustausch thematisiert.

Im Zusammenhang mit fortgeschrittenen Modellen für Engineering-Komponenten und -Produkte brachten einige Interviewpartner auch den großen wissenschaftlichen Nachholbedarf hinsichtlich der mangelnden Kompatibilität unterschiedlicher Modelltypen beziehungsweise -klassen aus den Ingenieursdisziplinen, der Mathematik und der Informatik in die Diskussion ein. Die praktischen Möglichkeiten, aufwändig entwickelte physikalische Modelle für andere als die ursprünglich vorgesehenen Simulationsanwendungen zu verwenden oder zumindest teilweise weiterzuverwerten, erweisen sich häufig als sehr begrenzt. Existierende Technologien und Tools werden daher häufig nur deshalb nicht angewendet, da aufwändige manuelle Anpassungen existierender Modelle aus wirtschaftlichen Erwägungen nicht vorgenommen werden. Da die Entwicklung eines „Universalmodells“ aktuell als zu ambitioniert eingeschätzt wird, wurde als Zwischenstufe etwa die Entwicklung von Methoden beziehungsweise einer Plattform zur automatisierbaren, möglichst verlustfreien Überführbarkeit von Partialmodellen in verschiedene Modellklassen im Einzelfall thematisiert und als sinnvoll bezeichnet. Auf diese Weise könne möglicherweise der Fokus der Modellentwicklung von einer gegenwärtig eher IT-bezogenen Sichtweise auf die eigentlich erforderliche ingenieurwissenschaftliche Anwendbarkeit gerichtet werden.

### **Sicherung der Datenkonsistenz/Synchronisation von Handlungen**

Die Sicherung der Datenkonsistenz und die Synchronisation von Handlungen, beides häufig im Kontext der Versionsverwaltung genannt, sind nach der Absicherung des lücken- und verlustlosen Datenaustauschs die nächste Stufe bei der Implementierung des kollaborativen Engineerings. Ohne entsprechende Lösungen sind laut mehrerer Experten das sehr wünschenswerte quasi-parallele Arbeiten mehrerer Akteure am selben Projekt und damit ein wesentlicher Zeitgewinn unmöglich.

Dieser Effekt ist nach übereinstimmender Meinung der Experten in der verteilten Softwareentwicklung oder auch bei klassischen Datenbanken seit Jahrzehnten gelöst. Ein Datensatz kann zwar von vielen Nutzern oder Prozessen parallel gelesen, aber immer nur von einem Nutzer bearbeitet und gespeichert werden – er ist also zeitweise exklusiv. Im Engineering lässt sich dieses Problem nicht so einfach lösen, da wesentlich umfangreichere Abhängigkeiten bestehen. Diese Herausforderungen liegen hier weniger im eigentlichen Engineering-

Werkzeug als vielmehr in der übergeordneten Prüfung auf Widerspruchsfreiheit zum Umfeld beziehungsweise dem jeweils übergeordneten System.

Derartige Aspekte sind unabhängig von einer unternehmensübergreifenden Kollaboration und treten auch innerhalb eines Unternehmens auf. Als neue Herausforderung beim unternehmensübergreifenden kollaborativen Engineering wurde von mehreren Experten das Problem der Latenzzeiten hervorgehoben. In Abhängigkeit von der geografischen Entfernung der beteiligten Akteure treten hier nicht nur technische Engpässe auf, sondern signifikante Laufzeiteffekte. Eine Echtzeitkooperation um den halben Erdball herum wird so unabhängig von einer verfügbaren Bandbreite von physikalischen Grenzen eingeschränkt. Auch unterhalb der Echtzeitebene können Latenzzeiten zu Synchronisationsproblemen führen.

### Künstliche Intelligenz als Werkzeug

Zunächst haben laut einigen Experten Tools, die auf Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) zurückgreifen und im Zuge einer unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit eingeführt werden, das Potenzial, Mitarbeiter zu motivieren, die Kollaboration selbst herbeizuführen, sofern sie konkret die Arbeitsbedingungen verbessern. Dies gilt auch, wenn die KI-Tools nicht spezifisch für den Einsatz im kollaborativen Engineering gedacht sind. Als Beispiele wurden die KI-basierte Vorsortierung und -analyse von Daten oder KI-Werkzeuge für die Selbstorganisation genannt.

KI kann in unterschiedlichen Ausprägungen mit dem tatsächlichen Engineering-Prozess verknüpft sein. Einerseits kann KI im Rahmen des Engineering-Prozesses als Funktion „verbaut“ werden („KI-Integration im Objekt“), andererseits weist KI das Potenzial auf, Engineering-Prozesse selbst zu unterstützen („KI als Engineering-Werkzeug“). Die Experten nannten etwa die vorausschauende Wartung (Predictive Maintenance) oder die Energieoptimierung von Geräten und Anlagen als Engineering-spezifische Anwendungsgebiete von KI-Methoden, die der „KI-Integration im Objekt“ zuzuordnen wären. Dabei liegt der Schwerpunkt aktuell eher auf der Bereitstellung von KI-basierten Diensten.

Der Einsatz von „KI als Engineering-Werkzeug“ zur Unterstützung von Engineering-Prozessen, die wesentlich über Voranalysen von Daten hinaus und bis zur (Teil-)Automatisierung der tatsächlichen Engineering-Prozesse gehen, wird von unterschiedlichen Experten nur langfristig als realisierbar erachtet.

In beiden Szenarien sieht ein Großteil der Interviewpartner hohes Effizienzpotenzial, aber gleichzeitig müssen solche Herausforderungen wie Robustheit der Algorithmen, Datenqualität und Funktionssicherheit sowie damit einhergehende Rechtsfragen, etwa zur Haftung bei Fehlfunktionen, berücksichtigt werden.

Weiterhin wurde thematisiert, dass viele Verfahren der KI zwar überzeugende Leistungen liefern, ihr Lösungsweg aber, je nach eingesetztem Verfahren, nicht ohne Weiteres nachvollziehbar und deterministisch ist. Das macht den Einsatz solcher Verfahren in sicherheitskritischen Anwendungen und deren Engineering schwierig. Auch ist die große Menge an Daten, die etwa für die Anwendung von Machine Learning unverzichtbar ist, bei Engineering-Anwendungen häufig nicht verfügbar, wie von zumindest einem Experten angeführt wurde.

### Weniger priorisierte Themen

- Mehrere Interviewpartner klassifizierten gewisse Themen als „Randbedingungen“ für ein erfolgreiches kollaboratives Engineering und bezeichneten damit Themen, die für die Umsetzung technisch notwendig sind (Must-have), jedoch keine eigentlichen Gestaltungsmerkmale aufweisen. Dazu wurden jeweils von mehreren Experten die folgenden Themen gezählt:
  - IT-Sicherheit
  - Berücksichtigung von Ressourceneffizienz, Nachhaltigkeit über das Gesamtsystem hinweg
- Zum Thema *IT-Sicherheit* wurden durchaus gegensätzliche Aussagen der Interviewpartner aufgenommen: Für einen großen Teil gehört das Thema mit den genannten Ausprägungen sicherer Datenaustausch, sicheres Speichern und definiertes Vergessen zu den wichtigen technischen Herausforderungen im kollaborativen Engineering. Dem stehen Aussagen gegenüber, dass ausgereifte Datensicherheitskonzepte bereits seit längerem existierten und dass die Hemmnisse bei der Einbindung in bestehende IT-Architekturen in einer zurückhaltenden Investitionsstrategie deutscher Unternehmen begründet seien. Vergleichbar wurde das Thema IT-Sicherheit für den Betrieb cyberphysischer Systeme als wichtig, jedoch als technisch lösbar eingeschätzt.
- Das Thema *Vereinheitlichte Semantik/formale Sprachen („Hochsprachen“)* wurde von einem Großteil der Experten direkt dem wichtigsten Thema *Vernetzungsarchitekturen/Austauschformate* zugerechnet. So hoben mehrere Interviewpartner die Bedeutung einer vereinheitlichten Semantik beziehungsweise formaler Sprachen als bedeutend für die Herausbildung von Austauschformaten hervor, sodass das explizite Semantikthema von Experten weniger oft als Priorität 1, 2 oder 3 bewertet wurde. Offensichtlich besteht hier ein Vereinheitlichungsbedarf in mehreren Abstraktionsebenen (Systemebene, Automatisierungsebene, Komponentenebene).
- Bemerkenswert ist ebenfalls, dass das Thema *Visualisierung/Virtual Reality (VR)/Mixed Reality (MR)/Augmented Reality (AR)* von vergleichsweise wenigen Interviewpartnern mit Priorität 1, 2 oder 3 bewertet wurde. Mehrere dieser Experten nannten den VR/MR/AR-Einsatz als Basis für eine virtuelle Zusammenarbeit, die etwa für die Arbeit an üblicherweise nur virtuell vorhandenen Prototypen oder bei räumlicher Entfernung von Akteuren bedeutend ist, und gaben an, dass der Einsatz von VR/MR/AR gleichzeitig der Motivation und Kollaborationsbereitschaft von Mitarbeitern zuträglich wäre. Es gab jedoch auch Interviewpartner, die das Thema hinsichtlich des kollaborativen Engineerings als unwichtig bezeichneten, da diese Tools die Arbeit der Fachexperten nicht wesentlich erleichtern würden und eher für Demonstrationszwecke geeignet wären.
- Die technischen Themen, die die Produktlebenszyklen betreffen, wie etwa *Langzeitarchivierung inklusive Migration/permanenter Zwilling* wurden ebenfalls von vergleichsweise wenigen Experten mit den Prioritäten 1, 2 oder 3 bewertet. Für die Experten, die diese Aspekte als die größten Herausforderungen für das kollaborative Engineering erachteten, war die Verfügbarkeit von Tools, die sich für das zyklusübergreifende Management von Daten, Modellen und Technologien besonders eignen, von besonderer Bedeutung. Die Tatsache, dass die Interviewpartner diesem Themenkomplex unter ökonomischen Gesichtspunkten einen höheren Stellenwert einräumten (siehe 4.4), suggeriert, dass die Interviewpartner die technischen Herausforderungen zumindest als lösbar, wenn nicht sogar als weitestgehend gelöst betrachten.
- Weitere vorgeschlagene Themen, die ein durchaus breites Spektrum von der Semi- bis zur Vollautomatisierung unternehmensübergreifender Prozesse und deren Effizienz-erhöhung einschließen, wurden von wenigen Experten als eine der drei größten

Herausforderungen identifiziert. Darunter fallen sowohl das Thema *Assistenzsysteme für Produktexperten, Anlagenfahrer und Wartung* als auch die Themen *Gestaltungsmöglichkeiten autonomer Fertigung sowie flexibel verkettete Fertigungsketten* und *Unternehmensübergreifende Prozessleitsysteme*. Die Tatsache, dass diese Aspekte sowie das Thema *Berücksichtigung von Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit über das Gesamtsystem hinweg* von den Experten (noch) nicht als bedeutend identifiziert wurden, obwohl der Effizienz auf der ökonomischen Betrachtungsebene die größte Bedeutung zugesprochen wird, unterstreicht in gewisser Weise den hohen Bedarf im Bereich der Vernetzungsarchitekturen und Austauschformate.

- Ergänzt wurden von den Experten folgende Themen, die aber – auch unter Berücksichtigung unterschiedlicher Begriffswahl – Einzelnennungen blieben: das Thema *Datenintegration/Modellintegration/Abstraktion von Teilkomponenten*, das im erweiterten Umfeld der Datenaustauschformate, Vernetzungsarchitekturen und Semantik verortet werden kann, das Thema *Synchronisation der Technologielebenszyklen* zur sinnvollen Auslegung von Gesamtarchitekturmodellen und das Thema *Weiterentwicklung/Aufrechterhaltung klassischer Basistechnologien*.

## 4.3 Arbeitsorganisation

### 4.3.1 Ausgangslage

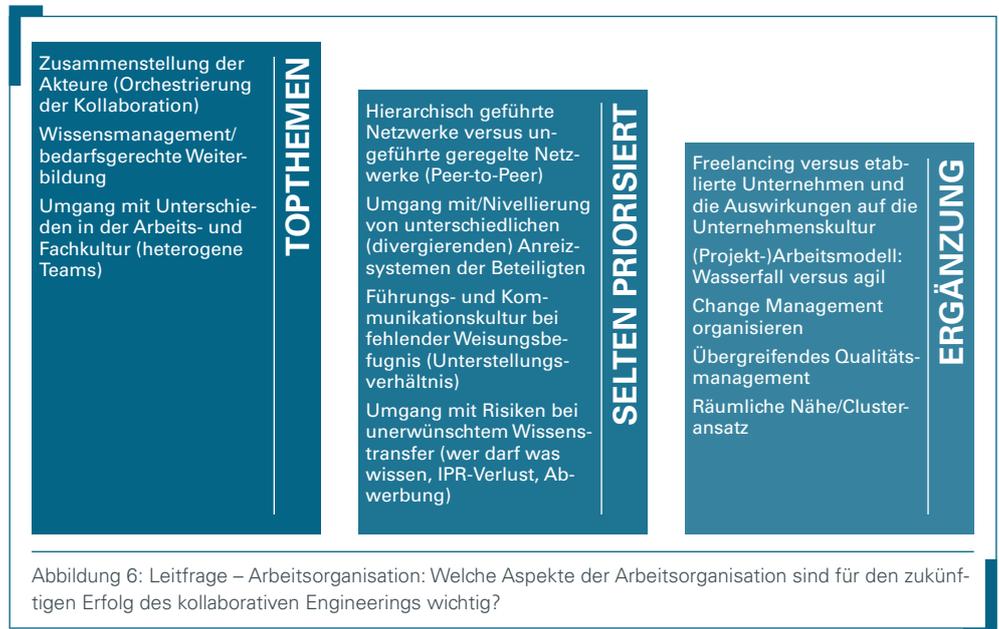
Zum Risiko einer Computerisierung der Arbeitsaufgabe wurde in (Frey und Osborne 2013) für die USA abgeschätzt, dass 47 Prozent aller Tätigkeiten einem hohen Risiko der Automation innerhalb der nächsten ein bis zwei Jahrzehnte unterliegen. Studien wie diese weisen deutlich darauf hin, dass bestimmte Tätigkeiten empfänglich für die Substitution sind und andere, als „Engineering Bottlenecks“ bezeichnet, eher wenig. Letztere gehören zu drei Gruppen (Beschreibung nach (Bonin, Georgy und Zierahn 2015)):

- Wahrnehmungs- und Manipulationstätigkeiten in komplexen und unstrukturierten Umgebungen: Dazu gehören etwa das Identifizieren von Fehlern und deren Beseitigung oder die Reaktion auf ungeplante Ereignisse.
- Kreativ-intelligente Tätigkeiten einschließlich Konzeption: Darunter fallen beispielsweise die Bereiche der Kreativwirtschaft, klassische F&E-Tätigkeiten oder die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle.
- Sozial-intelligente Tätigkeiten wie Verkauf oder Pflege: Diese Tätigkeiten zeichnen sich durch die besondere Bedeutung von Emotionen, die richtige Interpretation und insbesondere die intelligente Reaktion hierauf aus.

Mit der in (Künzel et al. 2016) getroffenen Einordnung wesentlicher Engineering-Arbeiten als kreative Prozesse ist die Wahrscheinlichkeit einer vollständigen Automation von Engineering-Arbeiten somit als gering einzustufen, was eine Verschiebung des Aufgabenspektrums und die Nutzung von Algorithmen für Routine- oder Analysetätigkeiten aber nicht ausschließt.

### 4.3.2 Einschätzung aus Praxissicht

Im Rahmen der Interviews wurden die ökonomischen Aspekte für unternehmensübergreifendes kollaboratives Engineering diskutiert. Die in Abbildung 6, Spalte 1 und 2 aufgezeigten Teilaspekte wurden dabei zur Diskussion gestellt und um weitere Aspekte (Spalte 3) ergänzt.



Die Strukturierung des Teams unter den Aspekten Heterogenität, Führungsmethodik und Orchestrierung (*Zusammenstellung der Akteure*) wurde von den Experten mit deutlicher Gewichtung als wesentlichster Aspekt eingestuft. Das an dritter Stelle gesetzte Thema *Umgang mit Unterschieden in der Arbeits- und Fachkultur* steht diesem Thema relativ nah und weist ebenfalls auf notwendige Veränderungen gegenüber „klassischen“ (Projekt-)Managementabläufen und -methoden hin. Auch dem *Wissensmanagement* und der *Weiterbildung* werden hohe Priorität eingeräumt, was auf veränderte Kompetenzbedarfe hinweist. Die vorgeschlagenen Ergänzungen sind den initial vorgeschlagenen Teilthemen sehr ähnlich und lassen sich gut in diese integrieren.

### Zusammenstellung der Akteure/Orchestrierung der Kollaboration

Mit der Digitalisierung geht ein Wandel des Prozessmanagements einher, das einige Interviewpartner als bedeutend für eine erfolgreiche Orchestrierung erachteten. Die Digitalisierung ermöglicht in viel stärkerem Maß als klassische Verfahren eine laufende Anpassung von Arbeitsabläufen an sich ändernde Umfeldbedingungen (Agilität). Dabei bleiben die meisten klassischen Teilaufgaben wie die Ressourcenzuordnung und Modelle sowie der kontinuierliche Verbesserungsprozess erhalten.

Gleichzeitig treten laut mehrerer Experten neue Aspekte hinzu. Die quasi-parallele Arbeit mit enger Interaktion beziehungsweise Abhängigkeit der bearbeiteten Domänen und die Kollaboration über größere geografische Entfernungen hinweg erfordern eine neue Qualität der Synchronisation der Abläufe und adaptiven Bestimmung der Entwurfsfreiheitsgrade für jeden Beteiligten.

Mit diesen Trends einher geht nach Ansicht einiger Experten die Notwendigkeit, effiziente und dynamische Managementstrukturen (Business Rules) aufzubauen. Entscheidungsstrukturen, Rollenverteilungen (Rechte und Pflichten), Partnerschaftsmodelle und Schnittstellen müssen weiterentwickelt oder neu festgelegt werden. Für eine effiziente Ressourcenzuordnung und ein erfolgreiches Prozessmanagement sind unbedingt Know-how-Träger in Entscheidungsstrukturen und -prozesse einzubeziehen. Für eine Bewertung der Kollabora-

tion (Metrik) stehen jedoch allgemein akzeptierte Lösungen noch aus, da die Qualität und der Erfolgsgrad des Ergebnisses von Kooperationen und Kollaborationen von den Beteiligten durchaus unterschiedlich beurteilt werden.

### **Wissensmanagement/bedarfsgerechte Weiterbildung**

Eine anspruchsvolle Ausbildung und die kontinuierliche Weiterbildung in der jeweiligen Engineering-Disziplin sind heute bereits gelebter Standard, um dem technischen Fortschritt zu folgen. Daneben spielt die Berufserfahrung eine nicht zu unterschätzende Rolle. Fachliche Weiterbildungen waren und sind wichtiges Element in der Kompetenzentwicklung im Engineering-Bereich, auch wenn sie nach Experteneinschätzung in durchaus unterschiedlichem Maß genutzt werden. Ergänzend kommt eine Aufweitung des thematischen Fokus hinzu, um auch in benachbarten Domänen ein Grundverständnis zu erhalten. Damit geht eine neue Qualität der Wissensdynamik einher. Diese Effekte sind aber nicht an die unternehmensübergreifende Kollaboration im Bereich Engineering gebunden.

Mit dem unternehmensübergreifenden kollaborativen Engineering wird die bisherige „Splendid Isolation“ der am Entwurfsprozess Beteiligten gleich in zwei Richtungen aufgebrochen: die domänenübergreifende Zusammenarbeit und die direkte Interaktion mit externen Engineering-Partnern. Die Experten verweisen in diesem Kontext übereinstimmend auf den notwendigen Aufbau neuer kommunikativer Fähigkeiten für die multilaterale Zusammenarbeit und ein Verständnis des Gegenübers, um sich auch auf andere Vorgehensweisen und Methoden einzulassen beziehungsweise sich dahingehend abzustimmen. Dieser Wandel erfordert eine qualitative Neuausrichtung der Kompetenzen und damit neue Weiterbildungsbedarfe. Die Spanne genannter Maßnahmen reicht hier von Kommunikationsschulungen über neue Methoden des narrativen Wissensmanagements (Experten-Community) bis hin zu neuen Methoden der Projektführung (Flexibilität, Agilität).

Insbesondere die Weiterentwicklung der nicht technischen Fähigkeiten kann nach Einschätzung einiger Experten auch zu Interessens- beziehungsweise Motivationskonflikten führen. Das betrifft beispielsweise den Grad der Teilung von exklusivem Expertenwissen und damit einhergehenden Alleinstellungspositionen.

### **Umgang mit Unterschieden in der Arbeits- und Fachkultur**

Ein spezielles Augenmerk gilt nach Einschätzung der Experten der Überwindung von Kulturunterschieden zwischen selbst nahestehenden Domänen (zum Beispiel zwischen Informatik und Ingenieurwissenschaften). Es sei in der fertigen Industrie eine nur schwache interdisziplinäre Prägung zu beobachten.

Auch gebe es stark unterschiedliche Wertemuster bei Akteuren mit unterschiedlicher fachlicher Prägung. So seien branchenspezifisch unterschiedliche Auffassungen, etwa bei der Interpretation von Aufgabenstellungen, der Einschätzung eigenen Fachwissens oder der Frage, wann ein Ergebnis als erreicht betrachtet werden kann, durchaus verbreitet.

Insgesamt wird von vielen Experten die Verständigung über Branchen- und interkulturelle Grenzen hinweg als ein Schlüsselfaktor für ein erfolgreiches kollaboratives Engineering erachtet und die Entwicklung einer gemeinsamen Kommunikation und Sprache als große

Herausforderung gesehen. Dabei müssen interkulturelle Unterschiede in den Arbeitskulturen berücksichtigt werden; als Beispiele wurden hier die Besonderheiten angloamerikanischer, deutscher und ostasiatischer Unternehmenskulturen von einzelnen Experten angeführt.

Auch würden etablierte, insbesondere produzierende Unternehmen eine andere Unternehmenskultur aufweisen als Start-ups. Bei Gründungsunternehmen übliche Konzepte sind für etablierte Unternehmen häufig nicht akzeptabel. Beispiele dafür sind etwa das agile Projektmanagement, bei dem sich die Projekte kontinuierlich im Austausch zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer entwickeln, oder das „Minimal Viable Product“ (MVP), das so früh wie möglich an den Kunden herausgegeben wird, um dann dessen Feedback in die weitere Entwicklung einzubeziehen.

### Weniger priorisierte Themen

- Die Frage, ob kollaborierende Teams „hierarchisch geführt“ werden sollten oder ob eine „ungeführte“ Selbstorganisation der Teams sogar nötig ist, um zu Innovationen zu gelangen, wurde von beinahe so vielen Interviewpartnern als wichtiges Gestaltungselement identifiziert wie der *Umgang mit Unterschieden in der Arbeits- und Fachkultur*. Strikte hierarchische Strukturen und unflexible Regelwerke wurden im Grundtenor der Interviews kritisch bewertet. Es wurde aber auch festgestellt, dass die konkrete Ausgestaltung von den jeweiligen Fach- und Arbeitskulturen abhängig gemacht werden sollte.
- Laut Meinung mehrerer Experten besteht eine der großen Herausforderungen darin, eine *Führungs- und Kommunikationskultur bei fehlender Weisungsbefugnis (Unterstellungsverhältnis)* zu schaffen, die eine für viele Unternehmen neuartige Qualität der Führungskultur darstellt und nicht durch strikte Regelwerke definiert ist, sondern sich wünschenswerterweise durch Kompetenz und menschliches Einfühlungsvermögen der verantwortlichen Personen einstellt.
- Laut einiger Interviewpartner kommt dem *Change Management* eine sehr bedeutende Rolle zu. Darunter wurden von den Interviewpartnern die gezielte Begleitung und Forcierung von Veränderungen in Führungs- und Organisationsstrukturen subsumiert. Das betrifft etwa das Aufbrechen von klassischen, pyramidalen und hierarchischen Strukturen, das heißt das Überwinden von Abteilungs- und Bereichsdenken. Solche Organisationsformen stehen hinsichtlich einer Optimierung des Gesamtsystems im Hinblick auf das Geschäftsmodell beziehungsweise das strategische Gesamtziel im Widerspruch zum Anspruch des kollaborativen Engineerings.
- Einige Experten verwiesen auf den Wert der *Räumlichen Nähe und Clusteransätze* zwischen den beteiligten Akteuren als Basis für eine nachhaltige vertrauensvolle Zusammenarbeit (vgl. Clusteransatz in Kapitel 3.4.2). Sie verwiesen dabei unter anderem auf den bereits erarbeiteten Vertrauensvorschuss aus anderen Kontexten, geringere notwendige Anpassungs- und Koordinierungsaufwände sowie gewachsene regionale Wertschöpfungsketten.
- Die vorgegebenen Themen *Umgang mit/Nivellierung von unterschiedlichen (divergierenden) Anreizsystemen der Beteiligten* und *Umgang mit Risiken bei unerwünschtem Wissenstransfer* wurden nur äußerst selten priorisiert. Von einzelnen Interviewpartnern ergänzt wurden Herausforderungen zur Umsetzung von besonderen „(Projekt-)Arbeitsmodellen“ wie etwa das *Freelancing innerhalb etablierter Unternehmen* und das *Agile Projektmanagement im Gegensatz zum Wasserfallmodell*. Außerdem wurde auf die Wichtigkeit eines *Übergreifenden Qualitätsmanagements* hingewiesen.

## 4.4 Ökonomie

### 4.4.1 Ausgangslage

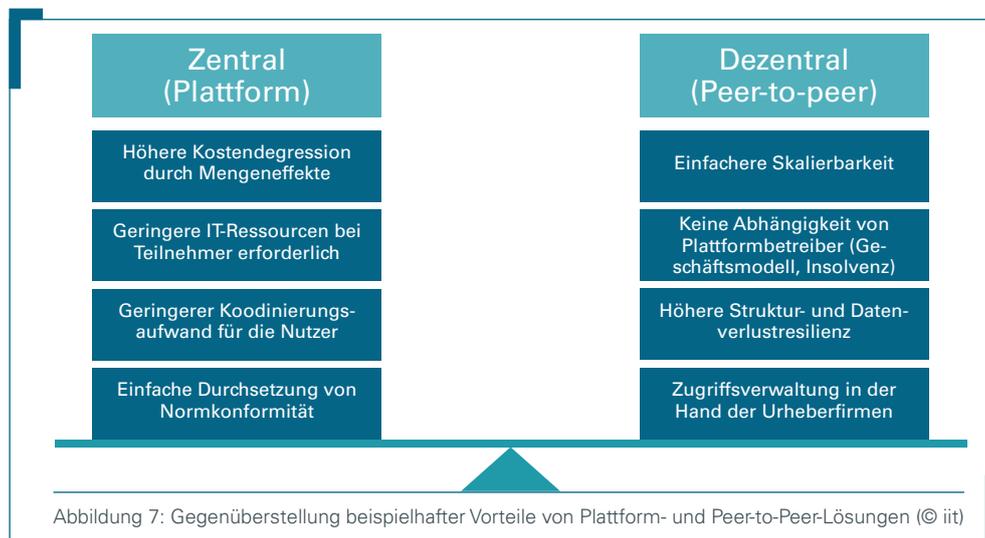
Digitale und vernetzte Geschäftsprozesse haben sich zuerst in der B2C-Welt etabliert. Digitale Plattformen können zu disruptiven Veränderungen bestehender Kunden-Anbieter-Konstellationen und dem Entstehen neuer Geschäftsmodelle führen (Engelhardt et al. 2017). Damit können ganze Rollen in bisherigen Wertschöpfungsketten entfallen oder wesentlich umgewandelt werden. Insbesondere bei stark standardisierbaren Angeboten oder Abläufen begünstigt der einer Plattform inhärente Skaleneffekt mögliche Monopolisierungstendenzen.

Vereinfacht kann man zwei Ausprägungen von Plattformen unterscheiden:

- **Transaktionsbasierte Marktplätze:** Der Betreiber nimmt eine neutrale Rolle ein und ist nicht an den Inhalten beteiligt. Er vermittelt lediglich zwischen Anbietern und Interessenten (zum Beispiel ebay).
- **Datenbasierte offene Systeme:** Der Betreiber trägt eine wesentliche Mitverantwortung an den Inhalten durch Qualitätskontrolle, Zulassungsverfahren oder Ähnliches. Diese Plattformen verstehen sich als offen gegenüber unterschiedlichen Anbietern (zum Beispiel MindSphere).

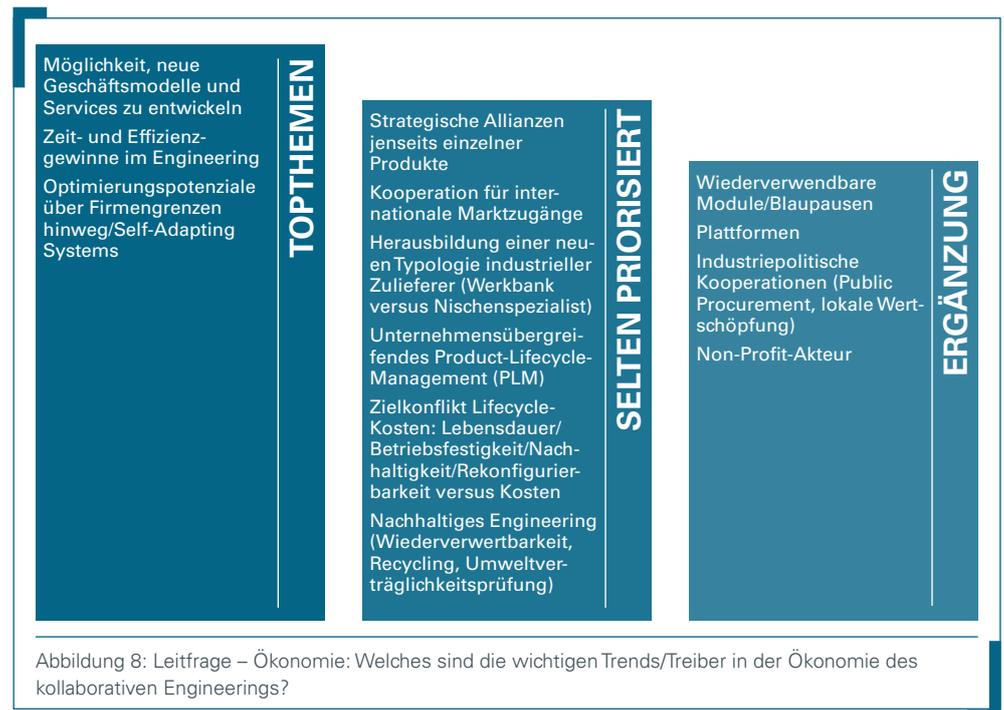
Die oben genannten ökonomischen Gesetzmäßigkeiten kommen im B2B-Markt in gleicher Weise zum Tragen. Allerdings unterscheiden sich die Rahmenbedingungen teilweise erheblich: Die Spanne reicht hier von höheren Ansprüchen an die Zuverlässigkeit über geringere Stückzahlen, einen hohen Individualisierungsbedarf, ein geringeres Standardisierungspotenzial und komplexere (meist mehrteilige) Urheberrechtskonstellationen bis hin zum Umgang mit hochkomplexen Datenstrukturen (André et al. 2017).

Ob sich im kollaborativen Engineering eine zentrale Datenhaltung nach dem Plattformmodell oder ein dezentrales Peer-to-Peer-Modell durchsetzen wird, kann gegenwärtig noch nicht abgeschätzt werden. Abbildung 7 zeigt beispielhaft Vorteile von zentralen Plattform- und dezentralen Peer-to-Peer-Lösungen auf. Es ist davon auszugehen, dass der Wettbewerb beider Konzepte branchenabhängig entsprechend den jeweils dominierenden (heutigen und zukünftigen) Geschäftsmodellen entschieden wird, was Mischlösungen, wie sie etwa bei Werbeeinblendungen auf Webseiten heute bereits gängig sind, nicht ausschließt.



#### 4.4.2 Einschätzung aus Praxis­sicht

Im Rahmen der Interviews wurden die ökonomischen Aspekte für unternehmensübergreifendes kollaboratives Engineering diskutiert. Die in Abbildung 8, Spalte 1 und 2 aufgezeigten Teilaspekte wurden dabei zur Diskussion gestellt und um einige Aspekte (Spalte 3) ergänzt.



Mehr als die Hälfte der Experten bewertet den Aspekt *Möglichkeit, neue Geschäftsmodelle und Services zu entwickeln* mit Priorität 1 oder 2 der wichtigsten Treiber für die Ökonomie des kollaborativen Engineerings. Dem folgen die Themen *Zeit- und Effizienzgewinne* und *Optimierungspotenziale über Firmengrenzen hinweg/Self-Adapting Systems*. Die nächstfolgende Position nimmt *Strategische Allianzen jenseits einzelner Produkte* ein – ein Thema mit engem Bezug zum Kollaborationsmanagement und bereits in Kapitel 4.1 hervorgehoben. Die Themen *Unternehmensübergreifendes PLM*, *Zielkonflikte bei Lifecycle-Kosten* und *Nachhaltiges Engineering*, die einzeln genommen weniger hoch priorisiert wurden, wurden von mehreren Interviewpartnern als ein gemeinsam zu betrachtendes Themenfeld „Verbundthema“ *Product Lifecycle Management (PLM)* erachtet. Bei einer solchen nachträglichen Zusammenfassung würde das Thema gemeinsam mit den Zeit- und Effizienzgewinnen an zweiter Stelle stehen.

#### Möglichkeit, neue Geschäftsmodelle und Services zu entwickeln

Das Engineering selbst ist weniger Kern völlig neuer Geschäftsmodelle – Engineering-as-a-Service ist Stand der Technik –, im Engineering muss aber der Grundstein für die Umsetzung neuer Geschäftsmodelle gelegt werden.

In den Expertengesprächen wurde deutlich, dass mit neuen serviceorientierten Geschäftsmodellen eine neue Produktkultur einhergeht. Dieser Kulturwechsel benötigt gerade in der etablierten Produktionswelt eine angemessene Transformationsphase und ist stark branchenabhängig. Zudem hat sich teilweise noch keine verlässliche Grundphilosophie in den Unternehmen herausgebildet, sodass von mehreren Experten eine erhebliche Unsicher-

heit beobachtet wurde, wie etwa Kundenbindung (jenseits von Lock-in-Modellen) in einem servicegeprägten Umfeld erreicht und aufrechterhalten werden kann. Für das Engineering erschließen sich zahlreiche neue Kollaborationsmöglichkeiten und Geschäftsfelder, die Post-Sales-Kooperationen mit Kunden, aber auch zwischen Unternehmen stärken. Von mehreren Experten wurden hier exemplarisch Diagnosesysteme (Condition Monitoring, Predictive Maintenance) genannt, die neben klassischen Entwurfsaufgaben zu integrieren sind und eine standortunabhängige Überwachung von Anlagen ermöglichen. Denkbar sind jedoch ebenfalls einzelne Servicedienstleistungen wie etwa Produktbearbeitung oder die Auslegung von Prüfplänen bis hin zum Leasing von kompletten Fabriken, wofür es etwa in China bereits reale Ansätze gibt. Insgesamt werden die Engineering-Aufgaben vielfältiger, und potenziell müssen mehr Spezialisten beteiligt werden. Gerade für Unternehmen, die in Zukunft sowohl in der Massenfertigung als auch als Servicedienstleister agieren, wird es laut Expertenmeinung eine der wichtigen Aufgaben werden, den jeweiligen Fokus aufrechtzuerhalten.

Einige Interviewpartner sehen in der Neuentwicklung von Geschäftsmodellen auch einen wirksamen „Hebel“ für Innovationsprozesse. Genannt wurden etwa Lizenz-/Leihkonzepte für digitale Zwillinge oder angemessen gestaltete Beteiligungsmodelle an Unternehmensgewinnen über einen gewissen Zeitraum, falls Gewinne beziehungsweise gehobene Optimierungspotenziale auf die Entwicklung oder Utilisierung eines digitalen Zwillings zurückzuführen sind. Als Enabler einer weitgehenden Integration von Produktion und Dienstleistung wurde von einzelnen Interviewpartnern das Internet of Things eingestuft, aber auch eine Brücke zum selbstständig aufgeführten Thema „Strategische Allianzen jenseits einzelner Produkte“ gesehen, da ein vollständiger Produktlebenszyklus schlicht nicht ohne neue Partnerschaften abzudecken sei.

### Zeit- und Effizienzgewinne

Viele Interviewpartner sehen in der Erhöhung von Schnelligkeit und Effizienz zwei der zentralen Zielsetzungen und daher auch den Maßstab für die Qualität einer kollaborativen Zusammenarbeit im Engineering, die mittel- bis langfristig zumindest die Kommunikationsverluste kompensieren muss. Gerade wenn Engineering-Unternehmen erst wenig Erfahrungen mit Kollaboration gemacht haben, kann mit geeigneten Partnern durch sinnvolle Synchronisation beziehungsweise optimiertes Scheduling und gezielten Wissensaustausch häufig eine signifikante relative Effizienzsteigerung erreicht werden.

Eine Mehrzahl der Experten sieht im ökonomischen Alltag beim kollaborativen Engineering eine Vielzahl von Fragestellungen, die häufig parallel rechtliche Aspekte tangieren. Teilweise gehen diese über das kollaborative Engineering hinaus und betreffen verschiedene Phasen der Wertschöpfung. So sind die Gewichte bei der Verteilung der zusätzlichen Einnahmen aus nachträglich implementierten Geschäftsmodellen heute häufig nach wirtschaftlicher Stärke und Verhandlungsmacht der beteiligten Unternehmen verteilt. Vor diesem Hintergrund bestehen gerade bei kleineren Unternehmen erhebliche Bedenken, „über den Tisch gezogen“ zu werden. Das Schaffen von durchgängigen Geschäftsmodellen, die alle Akteure angemessen am Gesamtgewinn beteiligen, wurde von vielen Interviewpartnern als wichtige Herausforderung identifiziert.

Die Einbindung von Kunden oder „Prosumenten“ (abgeleitet vom englischen Kunstwort „Prosumer“ für Personen, die sowohl „Producer“ als auch „Consumer“ sind) in Engineering-Prozesse wird von mehreren Experten ebenfalls als maßgeblich für Zeit- und Effizienzgewinne erachtet. Durch unterschiedlich gestaltbare ko-kreative Prozesse können Feedback-

mechanismen in die Entwicklung integriert werden, was gleichzeitig die Kundenbindung stärkt. Mittels eines gezielten Wissensaustauschs und flexibler Produktionsstrukturen könne auf dieser Basis potenziell schneller und effizienter auf sich verändernde Kundenanforderungen reagiert werden.

### Optimierungspotenziale über Firmengrenzen hinweg/Self-Adapting Systems

Die Optimierungspotenziale über Firmengrenzen hinweg wurden in einem Experteninterview als „der Köder schlechthin“ und in einem zweiten als „das zentrale Thema der horizontalen Vernetzung im Referenzarchitekturmodell für die Industrie 4.0“ bezeichnet. Dabei muss es im Rahmen des eigentlichen kollaborativen Engineering-Prozesses gelingen, die Mehraufwände für Initialisierung und Koordination des kollaborativen Agierens überzukompensieren.

Es ergeben sich aus unterschiedlichen Kollaborationsformen auch unterschiedliche Abstimmungsbedarfe, die von einem Großteil der Interviewpartner vertieft thematisiert wurden. Für ein (Smart-)Factory-as-a-Service-Konzept, für das auch auf Verbindungen zum Foundry-Modell der Halbleiterindustrie hingewiesen wurde, ergibt sich etwa ein kundenzentrierter Abstimmungsprozess, in dem Plattformen laut mehrerer Expertenmeinungen eine wichtige Rolle einnehmen können. Bei vertikalen, diagonalen oder horizontalen Unternehmenszusammenschlüssen ist der Abstimmungsprozess potenziell komplexer, sofern eine gleichberechtigte Entscheidungsfindung angestrebt wird.

Falls hierbei eine tatsächliche Optimierung anvisiert ist, müsse eine Übereinkunft der Akteure erreicht werden, hinsichtlich welcher Zielgrößen, also beispielsweise Produktqualität, Fertigungskosten, Durchlaufzeiten oder Verschleiß, Prozesse optimiert werden sollen. Wichtige Grundlage für die technische Realisierung von Optimierungspotenzialen ist laut Expertenmeinung die (Weiter-)Entwicklung von digitalen Zwillingen der realen Prozesse. Potenzielle Zielkonflikte der Optimierung können sich dabei aufgrund unterschiedlicher Interessenlagen und potenziell entgegenstehender Ziele ergeben und entsprechende Abstimmungsprozesse bis hin zum Konfliktmanagement erforderlich machen.

Entscheidendes Element müsse laut Expertenmeinungen die Optimierung des Produkts als Ganzes sein und nicht nur eine Verbesserung im Rahmen seiner Komponenten. Da jeder der Beteiligten die komplette Eigenschafts- und Fähigkeitskette ansprechen kann (auch wenn er zu den Daten im Einzelfall keinen Zugang hat), ist etwa eine Optimierung im Sinne einer Ressourceneffizienz (VDI-Richtlinie 4801, Blatt 1) über die gesamte Wertschöpfungskette, auch über den gesamten Produktlebenszyklus, möglich. Allerdings sind auch hier die Zielkonflikte wie etwa bezüglich dem Folgegeschäft als Hemmnis einzustufen.

Das Problem der angemessenen Verteilung von erwirtschafteten Gewinnen wurde von vielen Interviewpartnern aufgrund der schwer messbaren beziehungsweise quantifizierbaren Wertschöpfung im Engineering-Prozess als große Herausforderung eingestuft.

### Weniger priorisierte Themen

- *Strategischen Allianzen* wurde von mehreren Interviewpartnern eine signifikante Bedeutung attestiert, gerade für „große“ Themen und weil sich vollständige Produktlebenszyklen in Zusammenarbeit mit Partnern wesentlich effektiver abdecken lassen. Plattformen können bei der Findung von Partnern, der Bereitstellung von Services, der Entwicklung von Partnerschaftsmodellen und strategischen Visionen eine vermittelnde Rolle einnehmen.

- Eine digitale Abbildbarkeit vollständiger Produktlebenszyklen, die über herstellernerneutrale Plattformen in Form eines *Unternehmensübergreifenden Product-Lifecycle-Managements (PLM)* realisierbar sein sollten, ist laut Meinung einer ganzen Reihe von Experten für systemübergreifende ökonomische Bewertungen von *Lifecycle-Kosten* (Lebensdauer, Betriebsfestigkeit, Nachhaltigkeit, Rekonfigurierbarkeit) und für die Berücksichtigung eines *Nachhaltigen Engineerings* („Sustainability-by-Design“) von Bedeutung. Daher wurden diese drei Themen von mehreren Experten als ein „Verbundthema“ *Product-Lifecycle-Management (PLM)* gesehen, das sogar gemeinsam mit den *Zeit- und Effizienzgewinnen* an zweiter Stelle der wichtigsten ökonomischen Trends des kollaborativen Engineerings stehen würde. Im Einzelfall wurde thematisiert, dass es, um zu einer einheitlichen PLM-Systemlandschaft zu kommen, dringend eines Systemwechsels bedürfe, um Lock-in-Effekten vorzubeugen, die aufgrund der zunehmenden Verbreitung von proprietären Lösungen erwartbar seien. Es stelle sich im Zusammenhang einer nachhaltigen Umsetzung in strategischen Allianzen jedoch erneut die Frage nach attraktiven und den Produktlebenszyklus umfassenden Anreiz- und Geschäftsmodellen.
- Die wirtschaftlichen Potenziale eines *Nachhaltigen Engineerings* sind gemäß mehrerer Expertenmeinungen noch nicht ausgeschöpft. Legislative Rahmenbedingungen zur Berücksichtigung von Nachhaltigkeit sollten laut einem Interviewpartner vom Gesetzgeber und/oder über Ökozertifikate festgelegt werden, auch aufgrund divergierender Akteursinteressen und mit den Zielen einer Wiederverwertbarkeit und Recyclingfähigkeit, für die während des Entwurfs der Grundstein gelegt werden kann.
- Den Themen *Kooperation für internationale Marktzugänge* und *Herausbildung einer neuen Typologie industrieller Zulieferer* wird nur von wenigen Experten eine wichtige Bedeutung eingeräumt. Von einzelnen Interviewpartnern ergänzt wurden im Zusammenhang mit ökonomischen Herausforderungen die Themen *Wiederverwendbare Module* („Copy & Paste“), *Industriepolitische Kooperationen* (öffentliche Auftragsvergabe, lokale Wertschöpfung) sowie *Plattformen*. Ebenfalls genannt wurde die Überlegung, Koordinierungsfunktionen in die Hände eines *Non-Profit-Akteurs* zu legen, der für ein hohes Maß an Neutralität steht.

## 4.5 Recht

Durch den unternehmensübergreifenden Austausch von Informationen und Daten im Rahmen von kollaborativen Engineering-Prozessen werden eine Reihe von rechtlichen Fragestellungen aufgeworfen. Diese betreffen zum einen den Umgang mit bestehenden Leistungsschutzrechten (wie beispielsweise das Urheber- oder Patentrecht), die im Rahmen der Zusammenarbeit eingebracht werden oder als Ergebnis der Zusammenarbeit entstehen. Zum anderen ist fraglich, ob und in welchem Umfang Nutzungsrechte an den über den Lebenszyklus eines Produkts generierten Betriebsdaten bestehen und wem diese Daten rechtlich zuzuordnen sind.

### 4.5.1 Ausgangslage

Die Bedeutung von Daten als Wirtschaftsgut hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Nach einer Studie der Europäischen Kommission wird der Wert der europäischen Datenwirt-

schaft im Jahr 2020 mit 739 Milliarden EUR bereits 4 Prozent des europäischen Bruttoinlandsprodukts ausmachen (Europäische Kommission 2017). Immer mehr Geschäftsmodelle beruhen teilweise oder sogar ganz auf der Generierung, Sammlung oder Auswertung von Daten. Im Zuge dessen stellt sich immer vordergründiger die Frage, wem Daten eigentlich „gehören“, oder anders formuliert, wer die Datenhoheit ausübt. Dies gilt im Besonderen beim kollaborativen Engineering, wo es entscheidend darauf ankommt, wer die von Anlagen und Maschinen erzeugten Betriebsdaten auswerten und nutzen darf.

Neben der Frage der rechtlichen Behandlung von Daten spielen auch Rechte aus geistigem Eigentum (englisch: intellectual property (IP)) im Zusammenhang mit kollaborativen Engineering-Prozessen eine wichtige Rolle. Die Zusammenarbeit von Unternehmen zur Umsetzung von Engineering-Vorhaben bedingt, dass Informationen zwischen den unterschiedlichen Akteuren ausgetauscht und geteilt werden. Daneben werden als Ergebnis der Zusammenarbeit regelmäßig neue Produkte entstehen. Daraus können wiederum Schutzrechte an den Erzeugnissen der Zusammenarbeit abgeleitet werden. In Betracht kommen gewerbliche Schutzrechte wie das Patent-, das Design- oder das Gebrauchsmusterrecht. Daneben gewährleistet das Urheberrecht den Schutz einer persönlichen geistigen Schöpfung sowie den Schutz von strukturierten Datensammlungen in Form von Datenbanken.

Die Frage der Datenhoheit und der Umgang mit IP-Rechten muss darüber hinaus oftmals in einem internationalen Kontext betrachtet werden. Gerade wenn kollaboratives Engineering grenzüberschreitend stattfindet, müssen unter Umständen divergierende Regelungen aus unterschiedlichen Rechtsräumen berücksichtigt werden.

#### **4.5.2 Einschätzung aus Praxissicht**

Im Rahmen der Interviews wurden abschließend die rechtlichen Aspekte für unternehmensübergreifendes kollaboratives Engineering diskutiert. Hierbei ist zu beachten, dass keiner der Interviewpartner über ein juristisches Examen verfügt. Die Ergebnisse reflektieren somit die Anwender- beziehungsweise Betroffenensicht juristischer Fragestellungen. Deshalb werden die Ergebnisse der Interviews in diesem Kapitel mit kurzen fachjuristischen Exkursen ergänzt. Wiederholt wurde in den Gesprächen die unter technischen Experten bestehende Unsicherheit über die Folgen rechtlicher Bestimmungen auf das kollaborative Engineering deutlich. Dem wurde auch von juristischen Experten auf Rückfrage hin zugestimmt, die eine fehlende oder ungefestigte Spruchpraxis beziehungsweise rechtswissenschaftliche Interpretation bestätigten und vor allem auf die Bedeutung vertraglicher Gestaltung verwiesen.

Unabhängig davon wurde dieselbe Methodik wie bei den anderen Betrachtungsebenen angewandt, und die in Abbildung 9, Spalte 1 und 2 gezeigten Teilaspekte wurden dabei zur Diskussion gestellt und ergänzt.

Die Priorisierung durch die Interviewpartner ergab in diesem Fall ein sehr deutliches Bild. Die drei Themenfelder *Datenhoheit*, *Schutz von IP* und *Internationales Recht* wurden in dieser Reihenfolge mit Abstand am häufigsten genannt. Von den Ergänzungen wird das Thema „Kartellrecht“ als besondere Herausforderung eingestuft.



### Datenhoheit

In Bezug auf die Nutzung von Daten stellt eine Mehrheit der Interviewpartner die unterschiedlichen Interessen von Herstellern und Betreibern von Anlagen heraus. Während der Hersteller Daten zur Weiterentwicklung und Verbesserung seiner Produkte verwenden will, steht beim Betreiber einer Anlage die Auswertung von betriebsbezogenen Daten im Vordergrund. Das Fehlen einer gesetzlichen Regelung, die eine eindeutige Zuordnung dieser Daten zu einem Berechtigten zulässt, führt laut Ansicht vieler Interviewpartner zu einer Rechtsunsicherheit bei den Unternehmen. Das Problem der fehlenden Zuordnung von Daten vergrößert sich, je mehr Akteure bei der Entwicklung oder dem Betrieb von Anlagen beteiligt sind. Aus diesem Grund ist nach Ansicht der Befragten die Schaffung eines verbindlichen Rechtsrahmens anzustreben. Von einem Interviewpartner wurde in diesem Zusammenhang das Fehlen eines juristischen Begriffs des „Dateneigentums“ (in Anlehnung etwa an ein Eigentum von immateriellen Gegenständen wie Geld auf einem Bankkonto) als struktureller Mangel bezeichnet. Die Schaffung eines „Dateneigentumsrechts“ ist aber laut mehrerer Interviewpartner nur dann sinnvoll, wenn dieses supranational, etwa im Rahmen von internationalen Verträgen, abgestimmt ist, da kollaborative Entwicklungsprozesse zwischen Unternehmen zunehmend grenzüberschreitend stattfinden und sich über unterschiedliche Rechtsräume erstrecken. Erfolgt das kollaborative Engineering selbst über eine Plattform, müssen etwaige Datenzuordnungsrechte mitgedacht werden, was nach Ansicht von einigen Interviewpartnern wiederum im internationalen Kontext zu sehen ist, etwa wenn die Plattform im Ausland betrieben wird.

### **Juristischer Exkurs: Eigentumsbegriff und Daten**

Im Gegensatz zu körperlichen Gegenständen existiert im deutschen Recht derzeit kein selbstständiger Eigentumsbegriff für Daten (Ensthaler und Haase 2017). Daten können mangels Sachqualität nicht Gegenstand eines Kaufvertrages oder einer Über-eignung sein. Auf europäischer Ebene gibt es zwar Bestrebungen, den Umgang mit Daten zu regeln, hier werden allerdings vorrangig personenbezogene Daten in den Mittelpunkt gerückt, also Informationen, die sich auf eine identifizierte oder identifizier-bare Person beziehen (zum Beispiel die EU-Datenschutz-Grundverordnung oder die geplante E-Privacy-Verordnung). In Bezug auf die Schaffung eines originären Daten-eigentumsrecht sieht die EU zwar Handlungsbedarf (Europäische Kommission 2015), eine Umsetzung dieses Ziels im Sinne einer Verordnung oder Richtlinie ist bislang aber nicht erfolgt. Die logische Schlussfolgerung ist daher, dass etwaige Nutzungsrechte an Daten vom Standpunkt des geltenden Rechts aus vertraglich geregelt werden müssen. Hierzu muss zwischen den beteiligten Akteuren eine Vereinbarung dergestalt geschlossen werden, dass das ausschließliche oder beschränkte Nutzungsrecht an bestimmten Daten einem Vertragspartner zugesprochen wird. Rechtsgrund für die Übertragung und Nutzung von Daten ist dann ein vertragliches Schuldverhältnis.

### **Schutz von IP**

Kollaboratives Engineering impliziert den gegenseitigen Austausch von Wissen und Know-how. Das Einbringen von geistigem Eigentum in ein Projekt erfordert nach Auffassung meh-erer Interviewpartner eine vertragsrechtliche Absicherung dergestalt, dass eine Nutzung streng zweckgebunden erfolgt. Nach Beendigung der Zusammenarbeit muss gewährleistet sein, dass bereitgestellte Informationen und Wissen beim Rechteinhaber verbleiben und nicht durch den Kooperationspartner oder den Kunden für andere Zwecke weitergenutzt oder an Konkurrenten veräußert werden. Das Risiko des Verlusts oder einer Verletzung von IP-Rechten wird dadurch erhöht, dass die Zusammenarbeit oftmals grenzüberschreitend er-folgt und hierdurch die Durchsetzbarkeit von Ansprüchen erschwert wird. In diesem Kontext besteht aus Sicht eines Interviewpartners das Bedürfnis, IP-rechtliche Fragen im Rahmen von Schutz- und Vermarktungskonzepten zu regeln, während ein weiterer Interviewpartner die zukünftige Anwendbarkeit und Handhabbarkeit des Urheberrechts im Zusammenhang mit kollaborativen Engineering-Prozessen kritisch betrachtete. Ein Interviewpartner bezeich-nete die Klärung vertragsrechtlicher Fragen in diesem Zusammenhang als wichtig, benannte jedoch gleichzeitig die mit IP-rechtlichen Fragen verbundenen Befürchtungen als das Haupt-hemmnis für kollaboratives Engineering.

### **Juristischer Exkurs: Geistiges Eigentum**

Der Schutz von geistigem Eigentum ist in den Normen des Immaterialgüterrechts, etwa dem Patent- und Urhebergesetz, geregelt. Diese Regelungen haben ihren Ursprung in internationalen Abkommen, die teilweise bereits im 19. Jahrhundert geschlossen wurden und damit zu den ältesten Bereichen des Wirtschaftsvölkerrechts (Groeben et al. 2015) gehören. Ein gesetzlich geschütztes Immaterialgut gewährleistet die ausschließ-liche Verfügungsgewalt über das geistige Eigentum, was auch den Ausschluss der Nut-zung durch Dritte umfasst. Gleichzeitig erhält der Rechteinhaber Ansprüche im Fall einer Rechtsverletzung. Daneben kann ein Immaterialgut auch als Unternehmensgeheimnis nach dem Gesetz gegen den unlauteren Wettbewerb geschützt sein.

## Internationales Recht

Im Zusammenhang mit kollaborativen Engineering-Prozessen ist ein hohes Maß an Internationalisierung feststellbar. Die plattformbasierte Zusammenarbeit kann und wird laut einer Mehrheit der Interviewpartner über Landesgrenzen hinweg erfolgen, was zur Folge hat, dass (mitunter sehr unterschiedliche) nationale Gesetze beachtet werden müssen. Aus dem Anspruch an eine Compliance-konforme Zusammenarbeit leitet sich das Interesse vieler Unternehmen ab, dass Gesetze und Regularien im Rahmen von internationalen Abkommen harmonisiert werden. Als Beispiel nannten die Interviewpartner wörtlich „die fehlende juristische Definition des Stands der Technik in China“ sowie „das generelle Recht auf Nutzung von Daten in den USA“. Das in einem Interview gebrauchte Schlagwort von den fehlenden „Gesetzen für das Land Internet“ fasst die Problemlage an dieser Stelle gut zusammen. Plattformen sollten nach Meinung von einigen Interviewpartnern darüber hinaus so gestaltet sein, dass die Anforderungen der jeweils betroffenen Rechtsräume erkannt und berücksichtigt werden.

### Juristischer Exkurs: Nationales Recht versus globalisierte Wirtschaft

Gewerbliche Schutzrechte und das Urheberrecht sind territorial begrenzt. Denn nationale Gesetze können traditionell nur innerhalb der jeweiligen Landesgrenzen vollzogen werden. Zur Wahrung von Mindeststandards wurde im Rahmen von internationalen Abkommen wie beispielsweise dem „Agreement on Trade-Related Aspects of Intellectual Property Rights“ (sogenanntes TRIPS-Abkommen) (World Trade Organisation; Bundesregierung 30.08.1994) die sogenannte Pflicht zur Inländerbehandlung geschaffen. Diese beinhaltet, dass ausländische Schutzrechtsinhaber gegenüber inländischen Schutzrechtsinhabern nicht schlechter gestellt werden dürfen. Das hierdurch verwirklichte Diskriminierungsverbot gewährleistet, dass ein Schutzrechtsinhaber in allen Unterzeichnerstaaten ausreichend Schutz seiner immateriellen Güter erfährt.

## Weniger priorisierte Themen

- Durch neue Kollaborationsformen, in denen sich Konstellationen dynamisch verändern, ergeben sich laut einiger Interviewpartner neue Fragen zur *Haftung*, die sich nicht immer eindeutig vertragsrechtlich abbilden lassen und deren Bewertung technische Expertise erfordert. Im Einzelfall wurde die Einbindung von technischen Prüforganisationen thematisiert, um Gewährleistungsfragen bei Entwicklungen eines kollaborativen Engineerings zu prüfen.
- Von einigen Interviewpartnern wurde ferner das Thema *Vertragsrecht* als wichtige Herausforderung thematisiert, mehrmals im Rahmen von Blockchain- und Distributed-Ledger-Technologien in Bezug auf automatisierte Verträge („Smart Contracts“), für die eine Standardisierung ein wichtiger Schritt zur Rechtssicherheit darstellen würde.
- Weniger hoch priorisiert im Sinne einer tatsächlichen Herausforderung wurde der zu berücksichtigende *Schutz von Personendaten*, der stets im internationalen Kontext zu sehen sei.
- Im Fall von horizontalen Kooperationen wurden von Interviewpartnern zusätzlich *kartellrechtliche Fragen* thematisiert. Insbesondere dann, wenn eine Vereinbarung eine gemeinsame Verwertung zum Gegenstand habe, könne dies zu wettbewerbsrechtlichen Beschränkungen führen.

- Ein Interviewpartner schlug vor, *autonome Systeme zu juristischen Personen zu erklären*, um etwa Haftungsfragen zu begegnen. Im Bereich der autonomen Systeme gibt es entsprechende Überlegungen, digitalen Entitäten eine Rechtspersönlichkeit zuzubilligen, mit der Folge, dass diese selbst Träger von Rechten und Pflichten sein können und für eigenes Verschulden haften.
- Ferner wurden von einzelnen Interviewpartnern die weiteren Themen *Arbeitsrecht*, *Datentransparenz*, *Rahmenvertragswerk für Vorphase der Kollaboration*, *Revisionsicherheit* und *Unreife der Rechtsprechung* ergänzt, jedoch aufgrund der Priorisierung anderer Themen durch die Interviewpartner nicht im Rahmen der größten juristischen Herausforderungen vertieft diskutiert.

# 5 Resümee: Grundzüge und Herausforderungen des kollaborativen Engineerings

Die Experteninterviews zeigen für alle Aspekte des kollaborativen Engineerings erste Grundzüge und noch grundlegende Herausforderungen auf. Dabei ist ein durchaus unterschiedlicher Stand zu konstatieren. Während etwa im technischen Bereich die Fragestellungen relativ klar fokussiert und der Reihenfolge nach abgearbeitet werden können, sind die methodischen Herangehensweisen gerade im ökonomischen und im rechtlichen Bereich noch auszuloten. Dabei gibt es zwischen den fünf Betrachtungsebenen Kollaborationsmanagement, Recht, Ökonomie, Arbeitsorganisation und Technik starke Querbezüge. Dies verdeutlicht, dass das kollaborative Engineering ganzheitlich gedacht und gestaltet werden muss.

## 5.1 Kollaborationsmanagement

Zweifellos bietet das kollaborative Engineering hinsichtlich Zeitgewinn, Qualitätssteigerung und Risikominimierung im Entwicklungs-, Fertigungs- und Instandhaltungsprozess wesentliche Chancen. Auch eine bessere Kenntnis von Kundenbedürfnissen ist eine Motivation.

Die Formulierung klarer Entwicklungsziele, eine angemessene Aufwandsplanung und ein regelmäßiger Review des Nutzens sind Grundlage für eine nachhaltig erfolgreiche Kollaboration. Dabei spielt eine besondere Rolle, dass sich zukünftig das Engineering über die gesamte Lebensdauer von Produkten erstreckt. Das Engineering ist dabei häufig Teil einer langfristigen (strategischen) Kollaboration, die über das Engineering selbst hinausgeht.

Gemeinsam mit der Fokussierung der Kollaboration ist ein kompetentes Kollaborationsmanagement ein Erfolgsfaktor des kollaborativen Engineerings. Personellen Beziehungen und Kommunikationsformen kommt eine Schlüsselbedeutung zu. Ergänzend spielt regionale Nähe eine wichtige Rolle als Erfolgsfaktor, was den Möglichkeiten einer globalen digitalen Kollaboration an dieser Stelle unmittelbar entgegensteht.

Handelnde Personen sind bei den kollaborierenden Unternehmen potenziell auf unterschiedlichen Hierarchiestufen verteilt. Das fordert nicht nur interdisziplinäre, sondern auch eine interkulturelle und integrative Kompetenz, eine Bereitschaft für eine Einordnung in eine „Philosophie der Kollaboration“.

Die klassische anonyme Plattformwelt kann den Anspruch hinsichtlich Vertrauensbildung nicht erfüllen. Die Bedeutung des Vernetzens von Schlüsselpersonen und Grundwerten wird deutlich. Diese Anforderung ist bei regionaler Nähe deutlich einfacher zu erfüllen. Bestehende Clusterorganisationen und ihre Mitglieder bringen die genannten Voraussetzungen häufig bereits mit.

Wie für andere Kollaborationen, etwa im F&E-Bereich, ist die strategische Entscheidung, mit welchen Themen ein Unternehmen in einen solchen kollaborativen Prozess tritt, entscheidend für den nachhaltigen Erfolg. Kollaboratives Engineering braucht eine angepasste Unternehmensstrategie und neue Managementmethoden.

## 5.2 Technik

Hier steht der Wandel hin zu domänen- und wertschöpfungskettenübergreifenden Austauschformaten im Mittelpunkt. Unabhängig vom unternehmensübergreifenden kollaborativen Engineering, aber als notwendige Voraussetzung dafür, bilden solche durchgängigen Austauschformate die Grundlage für die lückenlose Digitalisierung der Wertschöpfung über den gesamten Lebenszyklus. Aus dieser Anforderung auf Durchgängigkeit resultiert – neben dem notwendigen Standardisierungsbedarf – die Notwendigkeit, aus der Gesamtdatenmenge, dem Datenpool, die für den betreffenden Engineering-Arbeitsschritt tatsächlich konkret zu betrachtende Teilmenge des Datenpools sinnvoll im Sinne von Dimensionsreduktion und Relevancy Engine extrahieren zu können. Diese Fähigkeit, einen solchen Ausschnitt zu erzeugen, ist nicht nur eine technische Herausforderung, sie interagiert auch unmittelbar mit arbeitsorganisatorischen und arbeitspsychologischen Fragestellungen.

Für nicht proprietäre Austauschformate sind durchaus erfolgversprechende Konzepte in der Entwicklung, so zum Beispiel AutomationML. Für die notwendigen umfangreichen Vorarbeiten zur breiten Nutzung müssen wirtschaftliche Grundlagen im Sinne nachhaltig tragfähiger Betreibermodelle häufig erst gefunden werden.

Kollaborative Arbeit ist ohne die Sicherstellung der Datenkonsistenz undenkbar. Was bei Datenbanken seit Jahrzehnten Stand der Technik ist, muss für die umfangreichen Abhängigkeitsstrukturen des Engineerings noch gelöst werden. Globale Kollaboration muss zusätzlich die Latenzzeiten infolge geografischer Entfernungen berücksichtigen. Der Schwerpunkt IT-Sicherheit wird vom Entwicklungsbedarf unterschiedlich bewertet, ohne seine Bedeutung in Abrede zu stellen.

Künstliche Intelligenz wird als neu verfügbare zu integrierende Fähigkeit im Engineering Berücksichtigung finden. Wenn es gelingt, die KI so auszugestalten, dass sie die Anforderungen an die funktionale Sicherheit und an die Robustheit der Algorithmen erfüllt, kann sie Kernbereiche der Automation erheblich verändern. Zur Unterstützung des Engineerings selbst bietet die KI vor allem langfristig erhebliche Potenziale.

## 5.3 Arbeitsorganisation

Das Engineering unterliegt den allgemeinen Trends zukünftiger Wertschöpfungs- und Arbeitsorganisationsstrukturen in der digitalisierten Wirtschaft. Veränderungen werden bei der Strukturierung des Teams mit den Aspekten Heterogenität, Führungsmethodik und Orchestrierung erwartet. Agilität, quasi-parallele Arbeit mit enger Interaktion beziehungsweise Abhängigkeit und die Kollaboration über größere geografische Entfernungen stellen neue Herausforderungen dar. Managementstrukturen werden sich auf geänderte Entscheidungsstrukturen, Rollenverteilungen und Partnerschaftsmodelle einstellen müssen. Fach- und regionenübergreifende Zusammenarbeit erfordert die Überwindung von Kulturunterschieden.

Neben der unverändert wichtigen fachlichen Weiterbildung spielen der Aufbau neuer kommunikativer Fähigkeiten für die multilaterale Zusammenarbeit und ein Verständnis für das Gegenüber eine zunehmende Rolle. Aus Interessens- beziehungsweise Motivationskonflikten kann sich zudem die Notwendigkeit eines Wissensmanagements ergeben.

Die Formen der Führung kollaborierender Teams werden heterogener. Hier wird ein Trend zu einer „geführten Selbstorganisation“ erwartet. Konflikte können aus unterschiedlichen Qualitätsansprüchen und Zielvorstellungen von Teammitgliedern resultieren.

## 5.4 Ökonomie

Die Optimierungspotenziale über Firmengrenzen hinweg sind „der Köder schlechthin“ für eine kollaborative Zusammenarbeit im Engineering und werden als zentrales Thema der horizontalen Vernetzung im Referenzarchitekturmodell für die Industrie 4.0 bezeichnet. Die Einbindung von Kunden oder „Prosumenten“ in Engineering-Prozesse stellt ebenfalls eine neue Qualität in der Wertschöpfung dar.

Der aus diesem Prozesswandel resultierende Gewinn muss die Koordinationsverluste überwiegen. Auch zukünftig wird das Engineering wesentlich über den ökonomischen Erfolg von Produkten und Services entscheiden. Die Erfolgskriterien wandeln sich aber; nicht allein Preis, Qualität und Fähigkeiten sind Schlüsselfaktoren. Vielmehr werden im Engineering die Grundlagen für produktlebenszykluslange Möglichkeiten für begleitende Geschäftsmodelle und Services entwickelt.

Die offene Frage der Datenhaltung im zukünftigen kollaborativen Engineering zeigt beispielhaft die enge Interaktion zwischen den Betrachtungsebenen. Hier werden sowohl technische als auch wirtschaftliche und rechtliche Aspekte über die zukünftige Entwicklung entscheiden. Sowohl Plattformkonzepte als auch Peer-to-Peer-Lösungen sind prinzipiell in der Lage, die technischen Anforderungen zu erfüllen, und gehen mit prinzipbedingten Vor- und Nachteilen einher. Welche Lösung oder Mischform von Lösungen sich für das kollaborative Engineering und die damit verbundenen zukünftigen, digital unterstützten Wertschöpfungsketten und Geschäftsmodelle durchsetzen werden, kann durchaus branchen- und anwendungsabhängig sein. Je dezentraler, proprietärer und komplexer Wertschöpfungsketten in einer Branche aufgebaut sind, desto geringer wiegen die Vorteile von Plattformkonzepten.

Das Engineering ist zukünftig wesentlich enger in die ökonomische Gesamtbetrachtung des Lebenszyklus und der damit einhergehenden Geschäftsmodelle eingebunden. Serviceorientierte Geschäftsmodelle werden sich erst nach einer unterschiedlich langen Transformationsphase durchsetzen. Damit sind große Unsicherheiten hinsichtlich des Bestands etablierter Geschäftsmodelle sowie dem Zeitpunkt und dem Maß der Transformation verbunden.

Naheliegender kann das Engineering die Grundlage für Post-Sales-Kooperationen mit Kunden schaffen. Die Aufgabenstellung des Engineerings wird zunehmend mit einer ökonomischen Komponente versehen, die über die Fertigungskostenbetrachtung hinausgehen. Damit gehen allerdings auch Unsicherheiten einher, ob sich zukünftig für alle Beteiligten der Wertschöpfungskette die Mitwirkung lohnt. Gerade für langfristige Aufgabenbereiche wie das Entwickeln, Hosten und die Pflege eines digitalen Zwillings oder dessen Nutzung zur

Prozessoptimierung, die durch einen Servicedienstleister erfolgen könnten, sind noch Unsicherheiten bei der Modellierung angemessen gestalteter Gewinnbeteiligungsmodelle zu konstatieren, die sich hemmend auf die Transformation von Geschäftsmodellen auswirken können.

Das Problem der angemessenen Verteilung von erwirtschafteten Gewinnen kann aufgrund einer schwer messbaren beziehungsweise schwer quantifizierbaren Wertschöpfung im Engineering-Prozess auch eine große Herausforderung darstellen, etwa dann, wenn nicht Durchlaufzeiten oder Produktionsraten, sondern zum Beispiel die Produktqualität das Ziel einer kollaborativen Zusammenarbeit darstellen.

## 5.5 Recht

Unter den Engineering-Anwendern herrscht eine signifikante Unsicherheit hinsichtlich der rechtlichen Situation im kollaborativen Engineering. Das gilt umso mehr, als hier globale Wertschöpfungsketten auf national geprägte Rechtsräume treffen. Bestehende gesetzliche Regelungen zielen vorrangig auf Immaterialgüterrechte wie das Urheber- oder Patentrecht ab. Gerade das Urheberrecht spielt hier eine bedeutende Rolle, da Engineering-Leistungen regelmäßig die nach dem Urheberrecht erforderliche Schöpfungshöhe erreichen.

Demgegenüber fehlt es an einer Regelung zur Datenhoheit, die abschließend die Frage der Zuordnung von Betriebsdaten zu einem bestimmten Berechtigten zulässt. Dies führt zu einer Rechtsunsicherheit bis hin zur Gefährdung von Geschäftsmodellen. Die Zuordnung von Daten zu einem Berechtigten kann bislang nur auf vertraglicher Basis erfolgen. Solche vertraglichen Regelungen sind sicherlich ein Fixpunkt, können aber gerade die Geschäftsmodelle schwächerer Akteure wie etwa KMU bei asymmetrischen Kräfteverteilungen gefährden und letztlich Wertschöpfungsketten und Systemgeschäftsmodelle infrage stellen. Erfahrungen aus kollaborativen Entwicklungsprojekten zeigen hier eine deutliche Kräfteasymmetrie zwischen Forschung, KMU und Großunternehmen. Das gilt insbesondere für Geschäftsmodelle, die auf Langfristigkeit aufbauen, wie sie in der Investitionsgüterindustrie üblich sind. Daneben haben Fragen der Datenhoheit auch Auswirkungen auf die Plattformarchitektur, die im Idealfall vorhandene Datennutzungsrechte auch technisch abbildet.

Insgesamt stellen derartige ungeklärte Rechtssituationen gerade für kleinere Unternehmen ein signifikantes Risiko dar. In Bezug auf das Urheber- und Patentrecht (sowie anderer Schutzrechte) stellt sich die Situation günstiger dar. Denn der Schutz solcher Immaterialgüter ist durch zahlreiche internationale Abkommen weitgehend harmonisiert. Wobei hier die Einschränkung gilt, dass der Schutzrechtsinhaber faktisch nicht immer die Möglichkeit haben wird, gegen Rechtsverletzungen im Ausland vorzugehen. Gleichwohl zeigen die bisherigen Erfahrungen, dass derartige Schwierigkeiten mit akzeptablem Aufwand auch beim kollaborativen Engineering zu bewältigen sind.

# 6 Schritte zur Umsetzung des kollaborativen Engineerings

Kollaboratives Engineering über Unternehmensgrenzen hinweg wird heute bereits praktiziert, angesichts der beträchtlichen Potenziale für Innovationen und Effizienzsteigerungen aber bislang nur in vergleichsweise geringem Ausmaß. Als wesentliche Hemmnisse können dabei ganz allgemein der wirtschaftlich zu kompensierende Koordinationsaufwand, der in jeder Kollaboration durch Planungs- und Abstimmungsprozesse entsteht, und die unzureichende Leistungsfähigkeit heute verfügbarer Schnittstellen benannt werden. Im Rahmen der Experteninterviews wurden auf allen Betrachtungsebenen wesentliche Herausforderungen im Zusammenhang mit Kommunikations- und Koordinationsaufgaben identifiziert.

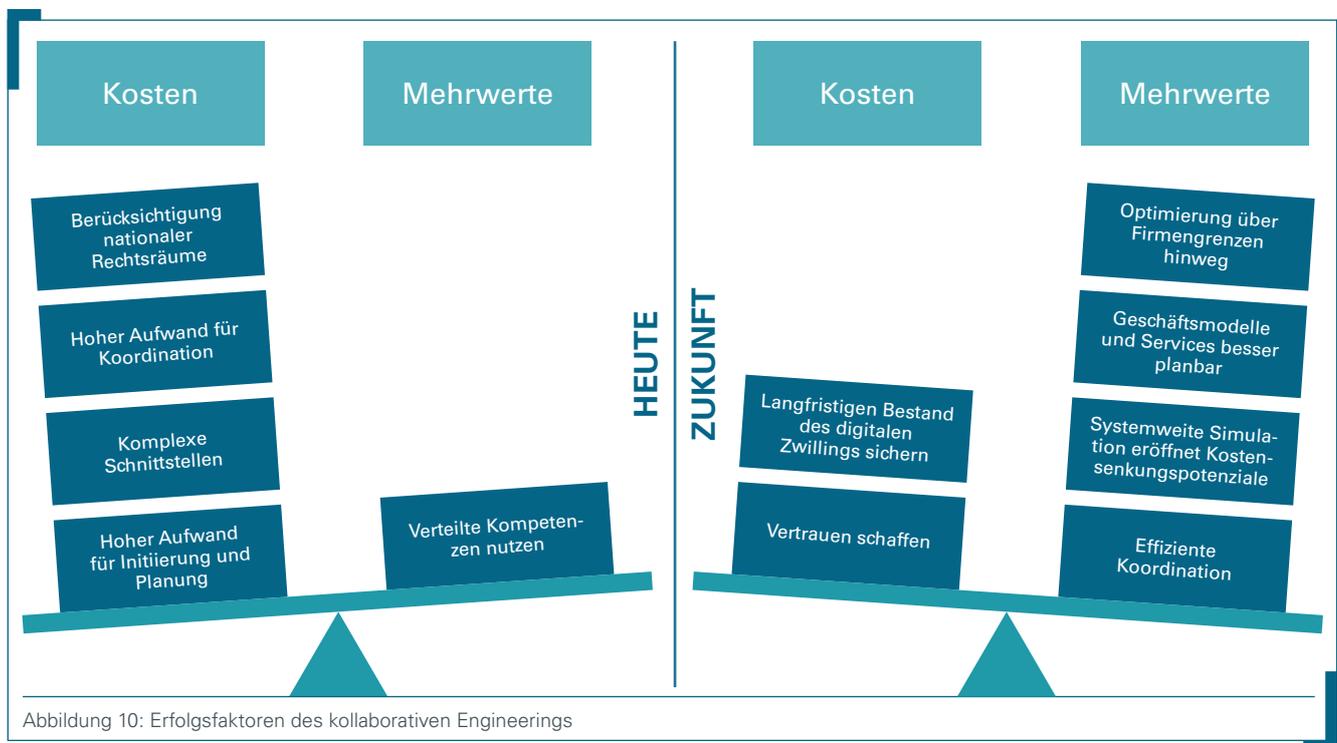


Abbildung 10: Erfolgsfaktoren des kollaborativen Engineerings

Die Entwicklung technischer Lösungen zur Unterstützung des kollaborativen Engineerings interagiert eng mit der Entwicklung neuer Geschäftsmodelle und Wertschöpfungsstrukturen sowie der Weiterentwicklung von Methoden der Arbeitsorganisation. Hinzu kommt noch die Beeinflussung durch das anzuwendende Recht. Diese Gemengelage hat dazu geführt, dass sich die Nutzung des kollaborativen Engineerings bis heute noch nicht weit verbreitet hat (Abbildung 10, links). Absehbare technische Entwicklungen (zum Beispiel systemweite Simulationsmöglichkeiten, bessere Infrastrukturen für digitale Dienste) und zu erwartende Anpassungen des Rechtsrahmens (zum Beispiel Haftung in kollaborativen Engineering-Projekten) werden zukünftig ermöglichen, das Potenzial des kollaborativen Engineerings besser zu nutzen (Abbildung 10, rechts). Das bedeutet allerdings nicht zwingend, dass die Mehrwerte allen heutigen Teilnehmern der Wertschöpfungskette zugutekommen.

Für eine strategische Roadmap hin zum kollaborativen Engineering ist es noch zu früh. Aus der Diskussion mit den Experten wurde aber ersichtlich, dass das Leitbild des digitalen Zwillings deutlich erweitert werden muss, um geeignete Rahmenbedingungen für ein effizientes kollaboratives Engineering zu schaffen. Darüber hinaus bleiben aber noch weitere wichtige technische, arbeitsorganisatorische, wirtschaftliche und rechtliche Herausforderungen bestehen.

## 6.1 Die konzeptionelle Erweiterung des digitalen Zwillings

Das kollaborative Engineering benötigt nicht nur neue konzeptionelle Ansätze auf den diskutierten Ebenen Technik, Arbeitsorganisation, Ökonomie, Recht und Kollaborationsmanagement, sondern auch eine Unterstützung durch digitale Werkzeuge. Ein erweiterter digitaler Zwilling ist dabei das Kernelement, um die verschiedenen Ebenen zusammenzuführen. Das virtuelle Abbild eines Produkts (beziehungsweise einer Anlage oder Fabrik) wird dabei durch alle in der vorliegenden Studie diskutierten Betrachtungsebenen beeinflusst; dabei ist der Einfluss des Kollaborationsmanagements mittelbar im Sinne der Schaffung von Voraussetzungen.

Neben den eher technischen Anwendungsmöglichkeiten digitaler Zwillinge existieren noch weitere, die für das kollaborative Engineering eine besondere Bedeutung entfalten können. So ist auf der Basis erweiterter digitaler Zwillinge eine Unterstützung der Bewertung wirtschaftlicher Potenziale denkbar, die für die Findungs- und Planungsphase kollaborativer Unternehmenszusammenschlüsse eine enorm wichtige Funktion einnehmen kann. Systembetreiber können auf Basis geeigneter virtueller Abbilder nicht nur abschätzen, ob eine neue Komponente, ein neuer Dienst oder ein neues (Sub-)System erforderliche Eigenschaften erfüllen, sondern möglicherweise auch, welche Effizienzsteigerungen durch die Einbindung erreicht werden können und welche Integrations- und Betriebskosten dem gegenüberstehen.

Zusammenfassend tritt der digitale Zwilling, der bisher eine rein technisch-strukturelle Beschreibung darstellt, mit weiteren Einflussfaktoren in Beziehung. Das bestehende Modell des digitalen Zwillings sollte folglich über die bisherigen Betrachtungsebenen Technik und (mit Einschränkungen) Arbeitsorganisation hinaus ausgeweitet werden:

- **Technik:** Der digitale Zwilling eines Produkts (beziehungsweise einer Anlage oder Fabrik) stellt zunächst ein virtuelles Abbild der Elemente und der Dynamik seines physischen Gegenstücks dar, dessen Veränderungen im Lauf eines Produktlebenszyklus fortlaufend erfasst werden. Damit beschreibt der digitale Zwilling die technischen Eigenschaften des jeweiligen physischen Gegenstücks über die Zeit und bündelt dabei Informationen von seiner eigenen Entwicklung und Produktion über die Einbindung von (Sub-)Systemen bis hin zu einem späteren Rückbau. Ein wesentliches Entwicklungspotenzial besteht darin, die Möglichkeiten systemweiter Optimierung auf Basis von erweiterten digitalen Zwillingen erheblich stärker als bisher zu nutzen, um die Effizienz von Produkten, Anlagen und Fabriken zu erhöhen. Die grundsätzliche Nutzbarkeit digitaler Zwillinge zur quantitativen Simulation von Produkt-, Subsystem- und Gesamtsystemverhalten muss dafür jedoch weiter ausgebaut werden, wofür unter anderem die semantische Integration von Daten und Modellen eine wichtige Rolle spielt.
- **Arbeitsorganisation:** Es gibt bereits heute Systeme, die Informationen zur Expertise von Personen oder andere Teilaspekte der Arbeitsorganisation in digitalen Zwillingen von komplexen Produkten und Systemen berücksichtigen, um damit eine verbesserte Mensch-Maschine-Organisation zu befördern. Beispielhaft dafür sei die Möglichkeit der Abbildung notwendiger Kompetenznachweise in der Flugzeugwartung genannt. Ein gezielter Informationsaustausch sowie weitere Verbesserungen der Mensch-Maschine-Organisation bis hin zu einem arbeitsorganisatorisch optimierten Prozessmanagement können durch die Nutzung erweiterter digitaler Zwillinge maßgeblich unterstützt werden.
- **Ökonomie:** Simulationen und Prognosen, die auf virtuelle Abbilder zurückgehen und etwa für eine effiziente technische Auslegung, Inbetriebnahme oder Regelung nutzbar sind, können je nach Anwendung bereits heute schon zur Einschätzung wirtschaftlicher Potenziale von Produkten, Produktanpassungen und Diensten und einer entsprechen-

den Ableitung kollaborativer Geschäfts- und Beteiligungsmodelle herangezogen werden. Falls entsprechende für quantitative Simulationen geeignete virtuelle Abbilder komplexer Systeme (zum Beispiel Produktionsanlagen, chemische Anlagen etc.) vorliegen, lassen sich auf Basis von Simulationsszenarien konkrete Auswirkungen von Prozessanpassungen, Dienstleistungen oder Ausfallreduktionen analysieren und dann häufig auch anhand wirtschaftlicher Kenngrößen (Durchlaufzeiten, Produktionsraten) bewerten. Das Nutzenpotenzial, ökonomische Auswirkungen auf diese Weise zu prognostizieren, ist gerade auch für das kollaborative Engineering sehr hoch und durch eine Erweiterung von Simulationsmöglichkeiten auf Basis erweiterter digitaler Zwillinge durchaus realisierbar. Dies setzt jedoch stets voraus, dass sich die ökonomischen aus technischen Kenngrößen ableiten lassen, was häufig der Fall ist. Für eine Ausgestaltung von Geschäfts- und Beteiligungsmodellen bildet die Kenntnis wirtschaftlicher Potenziale von Anlagen, Produkten, Diensten oder Prozessen über den Lebenszyklus hinweg die ideale Grundlage. In der Folge können auch Zulieferer ihr Geschäftsmodell ableiten.

- **Recht:** Die rechtlichen Rahmenbedingungen geben Gestaltungsmöglichkeiten für den digitalen Zwilling vor. So können etwa gemäß der jeweils geltenden Bestimmungen und Gesetze nur datenschutzrechtlich unbedenkliche Informationen und nutzbare Betriebsdaten im digitalen Zwilling abgelegt und Dritten zur Verfügung gestellt werden. Weiterhin können im digitalen Zwilling Informationen zur Urheberschaft und damit zusammenhängende Informationen hinterlegt sein, wer Vergütungsansprüche aus bestimmten Nutzungsfällen hat oder wer bestimmte Daten des digitalen Zwillings wie für welche Zwecke nutzen darf (beispielsweise ein Komponentenhersteller in aggregierter Form ohne Echtzeitstempel). Angesichts internationaler Unternehmenszusammenarbeit, potenzieller Arbeitsstättenverlegungen oder auch des Handels von Produkten, Anlagen oder Diensten ergeben sich daraus Konsequenzen für die Ausgestaltung von (erweiterten) digitalen Zwillingen.

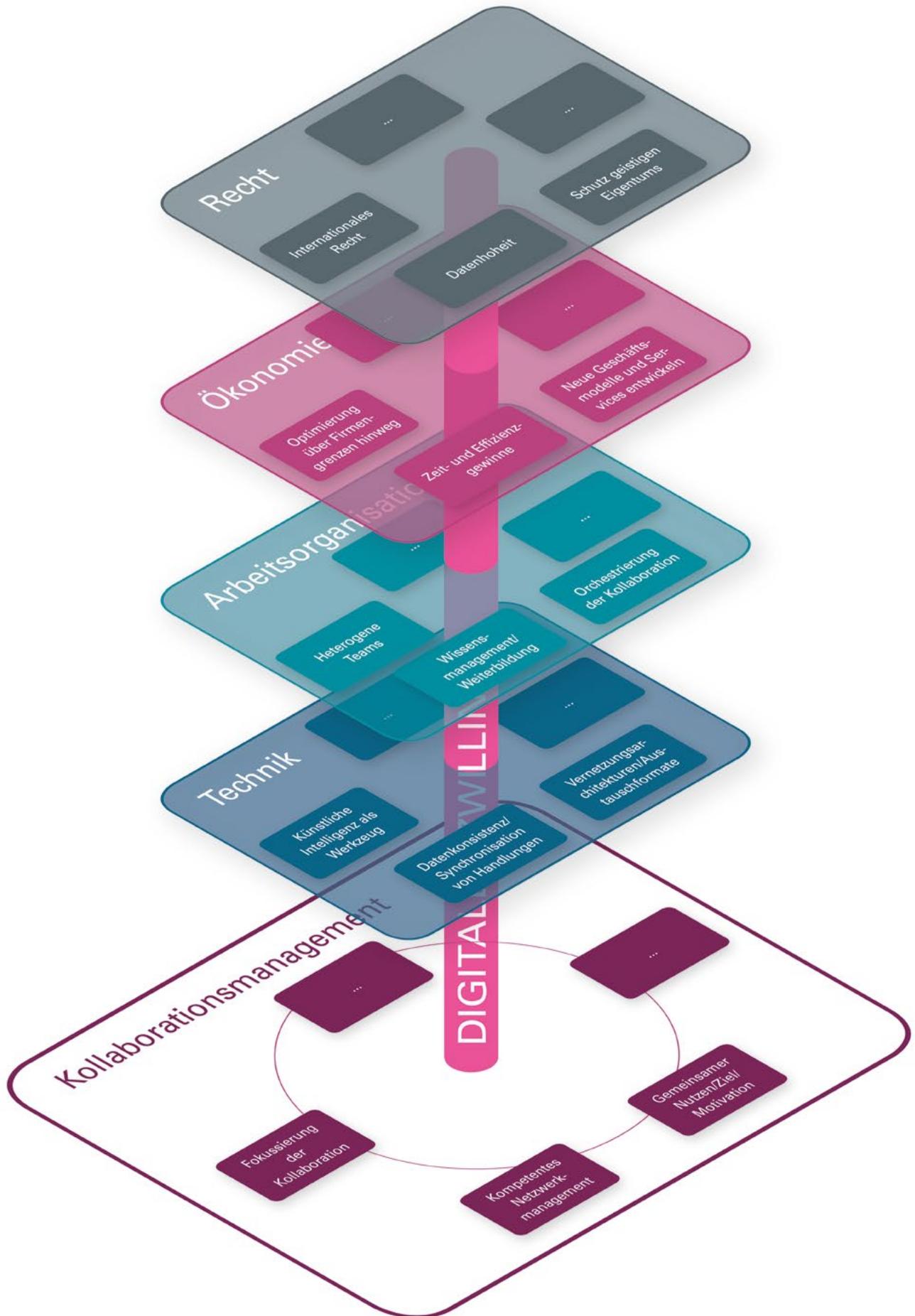


Abbildung 11: Erweiterter digitaler Zwilling (© iit)

Auf der Basis des digitalen Zwillings kann ein systemübergreifendes Verständnis entwickelt werden, das jedoch über die technische Betrachtungsweise hinaus auch Aspekte der Arbeitsorganisation sowie der Ökonomie und – mit Abstrichen – auch rechtliche Aspekte berücksichtigt. Im Ergebnis entsteht das Leitbild des erweiterten digitalen Zwillings (Abbildung 11). Um die daraus resultierenden Potenziale und Mehrwerte zu nutzen, ist eine enge interdisziplinäre Zusammenarbeit erforderlich. Beispiele dafür sind in Tabelle 2 genannt.

	Erstellung	Betrieb	Re-Design	Recycling
<b>Technik</b>	Simulationsgestützte Erstkonstruktion, Berücksichtigung realer Betriebsdaten und Anforderungen	Adaptive Prozessregelung, Predictive Maintenance	Umkonstruktion, Retrofit, Produktionsumbau	Dokumentation der Materialdaten für Rückbau und Zweitverwertung
<b>Arbeitsorganisation</b>	Fertigungsorganisation, Kompetenzen aufbauen	Kompetenzen vorhalten, Arbeitsschutz, Prozessplanung	Change Management	Arbeitsschutz im Zuge enthaltener Gefahrenstoffe
<b>Ökonomie</b>	Neue Geschäftsmodelle simulieren	Betriebskosten und Leistungsindikatorik erfassen, zuordnen und bewerten	Neues Geschäftsmodell/ Markterweiterung simulieren	Erlös aus Weiterverwertung
<b>Recht</b>	Datenschutz, Umweltrecht (zum Beispiel REACH <sup>2</sup> )	Arbeitnehmerrecht	Neuer Markt = anderes Recht	Vorschriften für Schadstoffentsorgung

Tabelle 2: Beispielhafte Nutzungsmöglichkeiten des erweiterten virtuellen Abbilds für die Betrachtungsebenen

## 6.2 Offene Herausforderungen

Klassische Plattformkonzepte erscheinen für Engineering-Aufgaben jenseits von standardisierten Tätigkeiten und modularen Konzepten aus den aufgezeigten rechtlichen, ökonomischen und technischen Gründen nur bedingt geeignet.

Auf der technischen Ebene stellen Komplexität, Schnittstellen, Datenmengen und Widerspruchsfreiheit hohe Anforderungen, die bereits von der Wissenschaft angegangen werden und damit die Potenziale und das Einsatzfeld schrittweise erweitern. Eine besondere Herausforderung bleibt die notwendige Langlebigkeit von Informationen, die derzeit übliche Innovationszyklen in der Informatik teilweise um mehr als eine Größenordnung übersteigt.

Die ökonomischen und rechtlichen Rahmenbedingungen für kollaborative Engineering-Plattformen müssen teilweise erst noch ausgestaltet werden. Geht man von globalen Engineering-Prozessen aus, so stellt die stark internationalisierte Rechtsauffassung in den Bereichen Urheber- und Patentrecht sicherlich eine gute Ausgangsposition für globale kollaborative Engineering-Prozesse dar.

Für den breiten Erfolg des kollaborativen Engineerings sind in der Zukunft eine Reihe offener Fragestellungen zu beantworten. Bei deren Darstellung wird bewusst auf die Trennung zwischen Technik, Arbeitsorganisation, Ökonomie und Recht verzichtet. Die Reihenfolge stellt keine Wertung dar.

<sup>2</sup> REACH = Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of CHemicals (EU-Verordnung Nr. 1907/2006)

- Der bestehende wissenschaftlich-technische Arbeitsstand bei der Standardisierung von Austauschformaten sowie die Etablierung von Semantiken und Referenzarchitekturen schränken die Nutzung im industriellen Umfeld noch ein. Die Ausprägung dieser Austauschformate beeinflusst den Markt in wesentlichem Maß, sodass hier neben technischen auch industriepolitische Aspekte zu beachten sind. Die Standardisierung müsste insbesondere auf internationaler oder europäischer Ebene durchgeführt und gestärkt werden.
- Die Potenziale und die Nutzung von Methoden der künstlichen Intelligenz in Engineering-Prozessen sowie die Interaktion von KI mit Menschen in diesem Prozess müssten noch weiter untersucht werden. Dabei sollten aufgrund der vergleichbar reduzierten Verfügbarkeit von Daten und der hohen Verbreitung von ingenieurwissenschaftlichen Modellen im Engineering ausdrücklich auch „hybride“ KI-Ansätze und Methoden einbezogen werden, die die Verfügbarkeit der ingenieurwissenschaftlichen Modelle ausnutzen, auch im Hinblick auf eine systemweite Optimierung der Effizienz von Gesamtsystemen.
- Es gilt, ein Verständnis zu entwickeln, für welche kollaborativ zu lösenden Engineering-Prozesse das Follow-the-Sun-Modell erfolgreicher ist und für welche die Vorteile regionaler Kollaboration dominieren. Die Komplexität der Aufgabenstellung, ihre Modularisierbarkeit, der Anteil kreativer Teillösungen und der Abstimmungsbedarf zwischen den fachlichen Domänen scheinen dabei wesentliche Einflussfaktoren zu sein.
- Engineering ist nur ein Teil der Wertschöpfungskette in den jeweiligen Branchen. Ein betriebswirtschaftliches Modell, wie kollaboratives Engineering als spezieller Innovationsprozess in Wertschöpfungsnetzwerke zukünftig eingebettet sein wird und wie dieser mit anderen Phasen der Wertschöpfung interagiert, kann Mehrwerte aufzeigen. Es werden Geschäfts- und Anreizmodelle als Voraussetzung eines erweiterten digitalen Zwillings benötigt. Auch die Untersuchung von Geschäfts- oder Anreizmodellen zur vorbeugenden Bereitstellung von Ressourcen (Rechenkapazität, Schnittstellen etc.) für noch unbestimmte Services bei dezentralen Anbieterstrukturen (Nicht-OEM-Systeme) steht noch aus.
- Für den Erfolg des kollaborativen Engineerings sind die aufgeworfenen Fragen der Datenhoheit und des IP-Rechts zu beantworten, um breiten Kreisen potenzieller Anwender die bestehende Verunsicherung zu nehmen. Es müsste unter anderem anhand von Best-Practice-Beispielen oder Leitfäden aufgezeigt werden, wie kollaboratives Engineering vertraglich und wirtschaftlich nachhaltig für alle Beteiligten gestaltet werden kann. Dies betrifft nicht nur den Umgang mit Daten, sondern auch die Behandlung von IP-Rechten, die im Rahmen des kollaborativen Engineerings eingebracht werden oder als Ergebnis der Zusammenarbeit entstehen. Der Umgang mit Daten und IP-Rechten muss im internationalen Kontext betrachtet werden.

# Literaturverzeichnis

acatech (Hg.) (2014): SMART SERVICE WELT. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft. Arbeitskreis Smart Service Welt. Online verfügbar unter [https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2014/03/Bericht\\_SmartService\\_final\\_barrierefrei\\_DE.pdf](https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2014/03/Bericht_SmartService_final_barrierefrei_DE.pdf), zuletzt geprüft am 13.2.2019.

acatech (Hg.) (2016): Smart Service Welt: Digitale Serviceplattformen – Praxiserfahrungen aus der Industrie. Best Practices. Online verfügbar unter [http://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/smart-service-welt-praxiserfahrungen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](http://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/smart-service-welt-praxiserfahrungen.pdf?__blob=publicationFile&v=3), zuletzt geprüft am 22.2.2019.

André, Samuel; Elgh, Fredrik; Johansson, Joel; Stolt, Roland (2017): The design platform – a coherent platform description of heterogeneous design assets for suppliers of highly customised systems. In: *Journal of Engineering Design* 28 (10–12), S. 599–626. DOI: 10.1080/09544828.2017.1376244.

Baalbergen, Erik; Kos, Johan; Louriou, Clément; Campguilhem, Cédric; Barron, James (2017): Streamlining cross-organisation product design in aeronautics. In: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering* 231 (12), S. 2192–2202. DOI: 10.1177/0954410017716480.

Bitkom e. V. (2017): Digital Engineering – Agile Produktentwicklung in der deutschen Industrie. Online verfügbar unter <https://www.bitkom-research.de/Digital-Engineering-2017>, zuletzt geprüft am 22.2.2019.

Bonin, Holger; Georgy, Terry; Zierahn, Holger (2015): Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland. Hg. v. Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW). Mannheim. Online verfügbar unter [ftp://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/Kurzexpertise\\_BMAS\\_ZEW2015.pdf](ftp://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/Kurzexpertise_BMAS_ZEW2015.pdf), zuletzt geprüft am 4.9.2018.

Borsato, Milton; Peruzzini, Margherita (2015): Collaborative Engineering. In: Josip Stjepandic, Nel Wognum und Wim J. C. Verhagen (Hg.): *Concurrent Engineering in the 21st Century*. Cham: Springer International Publishing, S. 165–196.

Bundesregierung (30.8.1994): Gesetz zu dem Übereinkommen vom 15. April 1994 zur Errichtung der Welthandelsorganisation und zur Änderung anderer Gesetze. In: *Bundesgesetzblatt*. Online verfügbar unter [https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?start=//\\*%5B@attr\\_id=%27bgbl294s1438.pdf%27%5D#\\_\\_bgbl\\_\\_%2F%2F\\*%5B%40attr\\_id%3D%27bgbl294s1438.pdf%27%5D\\_\\_1544110952687](https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?start=//*%5B@attr_id=%27bgbl294s1438.pdf%27%5D#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl294s1438.pdf%27%5D__1544110952687), zuletzt geprüft am 6.12.2018.

Elgh, Fredrik; André, Samuel; Johansson, Joel; Stolt, Roland (2017): Design Platform – A coherent Model for Management and Use of Mixed Design Assets. In: C. H. Chen, A. C. Trappey und M. Peruzzini (Hg.): *Transdisciplinary Engineering*. Proceedings of the 24th ISPE Inc. International Conference on Transdisciplinary Engineering, July 10–14 2017. Amsterdam: IOS Press Incorporated (Advances in Transdisciplinary Engineering Ser, v.5), S. 703–713.

Engelhardt, Sebastian von; Wangler, Leo; Wischmann, Steffen (2017): Eigenschaften und Erfolgsfaktoren digitaler Plattformen. Hg. v. Begleitforschung AUTONOMIK für Industrie 4.0, iit-Institut für Innovation und Technik in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH.

Engelmann, Felix; Holland, Martin; Nigischer, Christopher; Stjepandic, Josip (2018): Intellectual Property Protection and Licensing of 3D Print with Blockchain Technology. In: Margherita Peruzzini, Marcello Pellicciari, Cees Bil, Josip Stjepandic und Nel Wognum (Hg.): Transdisciplinary engineering methods for social innovation of Industry 4.0. Proceedings of the 25th ISPE Inc. International Conference on Transdisciplinary Engineering, July 3–6, 2018. Amsterdam, Netherlands: IOS Press (Advances in transdisciplinary engineering, volume 7), S. 103–112.

Ensthaler, Jürgen; Haase, Martin S. (2017): Datenhoheit und Datenschutz im Zusammenhang mit Smart Services. Hg. v. Steffen Wischmann. iit – Institut für Innovation und Technik in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH. Online verfügbar unter [http://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/smart%20service%20welt\\_positionspapier\\_recht.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=11](http://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/smart%20service%20welt_positionspapier_recht.pdf?__blob=publicationFile&v=11), zuletzt geprüft am 4.1.2018.

Europäische Kommission (2012): The smart guide to service innovation. How to better capitalise on service innovation for regional structural change and industrial modernisation. Brussels (Guidebook Series, Nr. 4).

Europäische Kommission (2015): Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Europäische Kommission. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52015DC0192&from=DE>, zuletzt geprüft am 17.10.2018.

Europäische Kommission (2017): The European Data Market Study: Final Report. Europäische Kommission. Online verfügbar unter <http://datalandscape.eu/study-reports/european-data-market-study-final-report>, zuletzt geprüft am 17.10.2018.

Ferreira, Filipe; Faria, José; Azevedo, Américo; Marques, Ana Luisa (2017): Product lifecycle management in knowledge intensive collaborative environments. An application to automotive industry. In: International Journal of Information Management 37 (1), S. 1474–1487. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2016.05.006.

Frey, Carl Benedikt; Osborne, Michael A. (2013): The future of employment. How susceptible are jobs to computerisation? Oxford University (OMS working paper). Online verfügbar unter [http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The\\_Future\\_of\\_Employment.pdf](http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf), zuletzt geprüft am 4.9.2018.

Groeben, Hans von der; Schwarze, Jürgen; Hatje, Armin (2015): Europäisches Unionsrecht. Vertrag über die Europäische Union – Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union – Charta der Grundrechte der Europäischen Union. 7. Aufl. Baden-Baden: Nomos (NomosKommentar).

Grösser, Stefan: Digitaler Zwilling. In: Gabler Wirtschaftslexikon. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH. Online verfügbar unter <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/digitaler-zwilling-54371/version-277410>, zuletzt geprüft am 17.9.2018.

Harbor Research Inc. (Hg.) (2014): Smart Systems and Services Growth Opportunities. business model innovation for connected products.

Hitachi Europe Ltd. (2015): Co-creating the Future. Online verfügbar unter [http://www.hitachi.eu/sites/default/files/fields/document/sib/whitepapers/cocreatingthe-future-web-updated\\_17\\_oct.pdf](http://www.hitachi.eu/sites/default/files/fields/document/sib/whitepapers/cocreatingthe-future-web-updated_17_oct.pdf), zuletzt geprüft am 12.10.2018.

Holland, Martin; Nigischer, Christopher; Stjepandic, Josip (2017): Copyright Protection in Additive Manufacturing with Blockchain Approach. In: C. H. Chen, A. C. Trappey und M. Peruzzini (Hg.): Transdisciplinary Engineering. Proceedings of the 24th ISPE Inc. International Conference on Transdisciplinary Engineering, July 10–14 2017. Amsterdam: IOS Press Incorporated (Advances in Transdisciplinary Engineering Ser, v.5), S. 914–921.

IBM Deutschland GmbH/XAX (2012): Führen durch Vernetzung. Highlights der Global Chief Executive Officer (CEO) Study (CEO C-Level Studien). Online verfügbar unter [https://www.xax.de/wp-content/uploads/2016/01/2012-08-29\\_ibm\\_ceo\\_studie\\_2012.pdf](https://www.xax.de/wp-content/uploads/2016/01/2012-08-29_ibm_ceo_studie_2012.pdf), zuletzt geprüft am 3.9.2018.

Jensen, Christian J. (2001): Kundenorientierung in vertikalen Absatzsystemen. Bedeutung der Hersteller-Händler-Zusammenarbeit am Beispiel der Automobilwirtschaft. Gabler Edition Wissenschaft. Wiesbaden, s.l.: Deutscher Universitätsverlag (Forum Marketing). DOI: 10.1007/978-3-663-08681-9.

Ketels, Christian H.; Protsiv, Sergiy (2013): Clusters and the New Growth Path for Europe (www for europe – welfare-wealth-work, Working Paper no 14). Online verfügbar unter [http://www.foreurope.eu/fileadmin/documents/pdf/Workingpapers/WWWforEurope\\_WPS\\_no014\\_MS47.pdf](http://www.foreurope.eu/fileadmin/documents/pdf/Workingpapers/WWWforEurope_WPS_no014_MS47.pdf), zuletzt geprüft am 24.11.2018.

Kind, Sonja; Ehrenberg-Silies, Simone; Hoppe, Udo; Hannicke, Sarah; Kaufmann, Peter; Fischl, Iris; Wolf, Laurenz (2013): Erweiterte Erfolgskontrolle des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF). Kurzfassung des Abschlussberichts 12/2013. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Berlin, Wien. Online verfügbar unter <https://www.iit-berlin.de/de/publikationen/erweiterte-erfolgskontrolle-des-programms-zur-foerderung-der-industriellen-gemeinschaftsforschung-igf>, zuletzt geprüft am 18.12.2018.

Komninos, Nicos; Kakderi, Christina; Panori, Anastasia; Garcia, Eva; Fellnhofer, Katharina; Reid, Alasdair et al. (2018): Intelligence and co-creation in Smart Specialisation Strategies. Towards the next stage of RIS3. Online White Paper. Hg. v. European Commission. Online verfügbar unter <https://www.napier.ac.uk/~media/worktribe/output-1290361/intelligence-and-co-creation-in-smart-specialisation-strategies-towards-the-next-stage-of.pdf>, zuletzt geprüft am 20.9.2018.

Krause, Frank-Lothar (Hg.) (2007): Innovationspotenziale in der Produktentwicklung. Berliner Kreis. München: Hanser. Online verfügbar unter [http://deposit.dnb.de/cgi-bin/dokserv?id=2799783&prov=M&dok\\_var=1&dok\\_ext=htm](http://deposit.dnb.de/cgi-bin/dokserv?id=2799783&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm).

Künzel, Matthias; Meier zu Köcker, Gerd; Köhler, Thomas (2015): Cluster und Innovationen. Cluster-Initiativen als Innovationstreiber. ClusterAgentur Baden-Württemberg. Stuttgart.

Künzel, Matthias; Schulz, Jens; Gabriel, Peter (2016): Engineering 4.0. Grundzüge eines Zukunftsmodells. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Berlin. Online verfügbar unter [http://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/automatik-engineering%2040.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](http://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/automatik-engineering%2040.pdf?__blob=publicationFile&v=3), zuletzt geprüft am 20.11.2017.

Mas, F.; Menéndez, J. L.; Oliva, M.; Ríos, J. (2013): Collaborative Engineering. An Airbus Case Study. In: *Procedia Engineering* 63, S. 336–345. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.08.180.

Meier zu Köcker, Gerd; Schneider, Konstantin; Grieb, Bernhard (2016): Erfolg durch Querdenken. Strategische Differenzierung in Unternehmen initiiert durch Cluster-Initiativen. Hg. v. ClusterAgentur Baden-Württemberg. Stuttgart. Online verfügbar unter [https://vdivde-it.de/sites/default/files/document/Publikation\\_Erfolg\\_durch\\_Querdenken\\_0.pdf](https://vdivde-it.de/sites/default/files/document/Publikation_Erfolg_durch_Querdenken_0.pdf), zuletzt geprüft am 17.10.2018.

Moerman, P. A.; Commandeur, H. R.; Langerak, F. (2016): Strategische Zusammenarbeit mit industriellen Zulieferern. In: Dieter Spath und Engelbert Westkämper (Hg.): *Handbuch Unternehmensorganisation*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 1–12.

Morel, Stephane; Unger, Lomig; Buet, Gael (2016): Behind-the-scenes of eco-innovation at renault. From collective action to breakthrough concepts. In: *Int J Interact Des Manuf* 10 (3), S. 251–255. DOI: 10.1007/s12008-016-0334-3.

Müller, Andreas; Karevska, Stefana (2016): How will 3D printing make your company the strongest link in the value chain? EY's Global 3D Printing Report 2016. Ernst & Young. Online verfügbar unter [https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-3d-druck-studie-executive-summary/\\$FILE/ey-how-will-3d-printing-make-your-company-the-strongest-link-in-the-value-chain.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-3d-druck-studie-executive-summary/$FILE/ey-how-will-3d-printing-make-your-company-the-strongest-link-in-the-value-chain.pdf).

Müller, Lysann; Lämmer-Gamp, Thomas; Meier zu Köcker, Gerd; Christensen, Thomas Alslev (2012): Clusters are Individuals – New Findings from the European Cluster Management and Cluster Program Benchmarking, Vol. II. Hg. v. The Danish Ministry of Science Innovation and Higher Education. Copenhagen. Online verfügbar unter <https://vdivde-it.de/system/files/pdfs/clusters-are-individuals-2013-new-findings-from-the-european-cluster-management-and-cluster-program-benchmarking.pdf>, zuletzt geprüft am 3.9.2018.

Rayna, Thierry; Striukova, Ludmila; Darlington, John (2015): Co-creation and user innovation. The role of online 3D printing platforms. In: *Journal of Engineering and Technology Management* 37, S. 90–102. DOI: 10.1016/j.jengtecman.2015.07.002.

Rothgang, Michael; Cantner, Uwe; Dehio, Jochen; Engel, Dirk; Fertig, Michael; Graf, Holger et al. (2014): Begleitende Evaluierung des Förderinstruments „Spitzencluster-Wettbewerb“ des BMBF. Abschlussbericht – Kurzfassung 11/2008-4/2014. Forschungsvorhaben des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Essen: Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (Materialien/RWI, H. 83).

Shen, Weiming; Hao, Qi; Li, Weidong (2008): Computer supported collaborative design. Retrospective and perspective. In: *Computers in Industry* 59 (9), S. 855–862. DOI: 10.1016/j.compind.2008.07.001.

Steinhorst, Ulrich (2005): Entwicklung eines Instrumentariums zur Gestaltung von Systempartnerschaften im Produktentstehungsprozess. Gabler Edition Wissenschaft. Wiesbaden, s.l.: Deutscher Universitätsverlag (Forum produktionswirtschaftliche Forschung). DOI: 10.1007/978-3-663-09940-6.

VDI Richtlinie 4801 Blatt 1, Februar 2016: Ressourceneffizienz – Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien.

Volkswagen AG (2017): MOIA-Fahrzeug gibt Ride-Pooling ein neues Gesicht. Online verfügbar unter <https://www.volkswagenag.com/de/news/stories/2017/12/moia-shuttle-ridepooling-gets-a-brand-new-look.html>, zuletzt geprüft am 18.12.2018.

World Trade Organisation (Hg.): TRIPS Agreement. The TRIPS Agreement is Annex 1C of the Marrakesh Agreement Establishing the World Trade Organization, signed in Marrakesh, Morocco on 15 April 1994. (as amended on 23 January 2017). Online verfügbar unter [https://www.wto.org/english/docs\\_e/legal\\_e/31bis\\_trips\\_01\\_e.htm](https://www.wto.org/english/docs_e/legal_e/31bis_trips_01_e.htm), zuletzt geprüft am 6.12.2018.

Wouters, Laurent; Creff, Stephen; Bella, Emma Effa; Koudri, Ali (2017): Collaborative systems engineering. Issues & challenges. In: 2017 IEEE 21st International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD). 2017 IEEE 21st International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD). Wellington, New Zealand, 26.4.2017 – 28.4.2017: IEEE, S. 486–491.



