#upperVISION2030

Wirtschafts- & Forschungsstrategie OÖ

Foto: AdobeStock/Quality Stock Arts

Digitale Durchgängigkeit im Maschinen- und Anlagenbau

Handbuch zur Etablierung des Digital Threads - Erkenntnisse aus dem Projekt TraceMe

Inhalt

Executive Summary 3
Einführung 4

1. Methodische und technische Grundlagen 8
1.1. Grundlagen, Definitionen und Methodik 8
1.2. Notwendige Vorarbeiten in einer Situationsanalyse 15
1.3. Zieldefinition mithilfe von Datenmodellen 16

2. Anforderungen an eine Engineering-gerechte Datenhaltung 18
2.1. Ziele und Anforderungen an die Datenhaltung 18
2.2. Digital Thread als Infrastruktur für durchgängige Daten und Datenflüsse 20
2.3. Use-Cases als Strukturierungsinstrument für den Digital Thread 20
2.4. Analyse bestehender Datenflüsse und -quellen 27
2.5. Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Umsetzung 28

3. Prototypenhafte Implementierung in den Wertschöpfungsnetzen 30
3.1. Datenextraktion aus bestehenden Prozessen – Fill Maschinenbau 30
3.2. Aufbau einer mechatronischen Stückliste – Braun Maschinenfabrik 33
3.3. Datenmodelle und Datendurchgängigkeit – ENGEL AUSTRIA 41
3.4. Prozessplaner – Ein Tool für die interdisziplinäre Prozessplanung – GTech Automatisierungstechnik 47

4. Kompetenzen zur Realisierung des Digital Threads 50
4.1. Technologische, methodische und kommunikative Kompetenzen 50
4.2. Zielgruppen und Vorbildungen 53
4.3. Schulungskonzepte und -formate 56
4.4. Schulungspfade für verschiedene Mitarbeitergruppen 58
4.5. Nachhaltige Verankerung durch Unternehmenskultur und Anreizsysteme 60
4.6. Aufbau von internen Multiplikatoren 61

5. Rechtliche Aspekte im Kontext des Digital Thread 63
5.1. Wem gehören die Daten und wie sind sie geschützt? 63
5.2. Datenaustausch – Relevante Aspekte des Datenschutzes 66
5.3. Datenaustausch – Relevante Aspekte des Data Act 68
5.4. Relevante Aspekte des AI Act 70
5.5. Anforderungen an Cybersecurity 76

Fazit 84
Abbildungsverzeichnis, Impressum 86

Executive Summary

Die digitale Durchgängigkeit wird im Maschinen- und Anlagenbau zum entscheidenden Fundament, um komplexe Produkte, internationale Wertschöpfungsnetzwerke und steigende regulatorische Anforderungen beherrschbar zu machen. Das Projekt TraceMe entwickelte hierfür ein Rahmenwerk im Sinne eines Digital Threads, das alle relevanten Daten, Modelle und Dokumente über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg konsistent verbindet. Im Zentrum steht dabei ein methodischer Ansatz, der Requirements Engineering, modellbasiertes Systems Engineering (MBSE) sowie eine Engineering-gerechte Datenhaltung als zentrale Enabler definiert. Diese Kombination schafft eine belastbare Grundlage für interdisziplinäre Zusammenarbeit und macht bislang verborgene Abhängigkeiten in heterogenen Werkzeugketten sichtbar. Ziel ist es, Informationsstrukturen und Prozesslogiken unabhängig von spezifischen Softwaretools langfristig stabil und zukunftsfähig zu gestalten.

Dieses Handbuch beschreibt einen stabilen, softwareunabhängigen Informations- und Prozessrahmen, der technische Artefakte aus Mechanik, Elektrik, Software und Betrieb zu einem zusammenhängenden digitalen Kontext verknüpft. Der Digital Thread ermöglicht eine durchgängige Nachvollziehbarkeit von Änderungen, verbessert die Qualität interdisziplinärer Entscheidungen und reduziert Medienbrüche, Redundanzen und Abstimmungsaufwand. MBSE dient dabei als gemeinsame Sprache der beteiligten Disziplinen und schafft Transparenz über Schnittstellen, Abhängigkeiten und Systemgrenzen – ein wesentlicher Hebel für frühe Fehlererkennung und Wiederverwendung von Systemarchitekturen. Es zeigt zudem, dass KI gestützte Anwendungen erst auf Basis sauber strukturierter, semantisch verknüpfter Daten zuverlässig Mehrwert liefern. Ohne ein methodisch etabliertes Daten- und Modellfundament bleiben Automatisierung und KI potenzialreich, aber in der Praxis kaum interpretierbar, schwer wartbar, nicht reproduzierbar und nur punktuell nutzbar.

Die Einführung eines Digital Threads erfordert aber nicht nur entsprechende Technologien und Prozesse, sondern vor allem einen gezielten Kompetenzaufbau. Unternehmen müssen technisches, methodisches und kommunikatives Know how systematisch stärken und organisatorisch verankern. Durch fokussierte Qualifizierung, interdisziplinäre Zusammenarbeit und kulturelle Impulse entsteht die Grundlage, den Digital Thread als strategisches Rückgrat der digitalen Transformation erfolgreich zu etablieren. Parallel dazu verschärfen Data Act, DSGVO und AI Act die Anforderungen an Transparenz, Nachvollziehbarkeit und Governance. Technische und rechtliche Anforderungen müssen daher ebenfalls ganzheitlich gedacht werden, damit Datenqualität, Zugriffsmodelle und Schutzmechanismen konsistent umgesetzt werden können.

Dieses Handbuch vermittelt somit ein klares Zielbild für digitale Durchgängigkeit: ein integrierter Ansatz, in dem Datenmodelle, Systemarchitekturen, Prozesse und regulatorische Vorgaben harmonisiert werden. Der Digital Thread wird so zum strategischen Instrument, das Komplexität beherrschbarer macht, Zusammenarbeit über Abteilungs- und Unternehmensgrenzen hinweg ermöglicht und Technologien wie KI oder digitale Zwillinge praxistauglich macht.

Einführung

Der Maschinen- und Anlagenbau befindet sich in einer Phase tiefgreifender Veränderung. Globale Märkte, hohe Innovationsgeschwindigkeit und die unverminderte Ausdifferenzierung von Kundenanforderungen führen dazu, dass standardisierte Produkte nur noch selten den Ausschlag geben. Stattdessen wird von Unternehmen erwartet, hochindividuelle Lösungen in kurzer Zeit, mit hoher Qualität und zu wettbewerbsfähigen Kosten zu liefern. Diese Erwartungslage verschiebt den Schwerpunkt der Wertschöpfung: Es geht nicht mehr allein darum, leistungsfähige Komponenten zu entwickeln, sondern darum, interdisziplinär vernetzte Systeme zu entwerfen, die Mechanik, Elektronik, Software und datengetriebene Funktionen nahtlos verbinden. Die Fähigkeit, über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg konsistente, nachvollziehbare und belastbare Informationen zu managen, wird damit zu einer Kernkompetenz der Branche.

Projekt TraceMe als Startpunkt

In dieses Umfeld ordnet sich das Projekt **„TraceMe – Requirements-driven Digital Transformation Competences in Mechanical and Plant Engineering“** ein, das 2022 in der FFG-Ausschreibung im Rahmen von #upperVISION2030 – FTI Initiative: Digitale Transformation 2021/2022 eingereicht und zur Umsetzung bewilligt wurde.

Das Projektziel war, ein technologisches Rahmenwerk im Sinne eines Digital Threads (siehe Kapitel 2.2) zu schaffen, das Daten und Datenflüsse aus allen relevanten technischen Disziplinen und Unternehmensbereichen verbindet und auf dieser Basis eine ganzheitliche Sicht auf Maschinen und Anlagen ermöglicht. Im Mittelpunkt standen daher das Requirements Engineering und das Requirements Management als methodische Grundlage eines durchgängigen Engineerings sowie das Model Based Systems Engineering, das die interdisziplinäre Systembeschreibung konsistent in Modellen abbildet. Der Innovationsgehalt liegt in der konsequenten Erhöhung der digitalen Durchgängigkeit, in der strukturierten Beherrschung steigender Komplexität und in der methodischen Verankerung von Prozessen, die sich über den gesamten Lebenszyklus spannen, von der frühen Anforderungsphase bis zu Fertigung, Inbetriebnahme, Betrieb, Service und Wiederverwendung im Sinne einer Kreislaufwirtschaft.

Die Ausgangslage in vielen Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus ist nach wie vor geprägt von fragmentierten Informationsbeständen. Anforderungen, Spezifikationen, Modelle und Messwerte werden in unterschiedlichen Systemen erzeugt, gepflegt und verteilt, häufig ohne definierte semantische Verknüpfungen und ohne durchgängige Plausibilisierung. Konventionelle Produkt- und Datenmanagementlösungen verwalten Dateien und Versionen, adressieren jedoch die darin enthaltenen formalen Modelle und Parameter oft nur unzulänglich. Diese Lücke führt zu Medienbrüchen, erschwert die Nachverfolgbarkeit von Entscheidungen und belastet die Zusammenarbeit zwischen Fachdisziplinen. Besonders im Maschinen und Anlagenbau, der stark von kundenindividuellen Aufträgen und kurzen Projektlaufzeiten geprägt ist, fällt es schwer, die Aufwände für systematische Anforderungsmodellierung und modellbasierte Systementwicklung zu

rechtfertigen, wenn die anschließende Weiterverwendung in den Prozessketten nicht frühzeitig sichtbar wird. Gleichzeitig steigt der Druck seitens digital weiterentwickelter Kunden und Auftraggeber, die ihrerseits Plattformen, standardisierte Schnittstellen und durchgängige Datenflüsse voraussetzen.

TraceMe adressiert diese Herausforderungen, indem es den Digital Thread als verbindendes Element etabliert. Unter einem Digital Thread wird ein Rahmenwerk verstanden, das die informations- und kommunikationstechnische Verbindung aller digitalen Repräsentationen eines Produkts entlang seines Lebenszyklus gewährleistet. Der Digital Thread schafft Homogenität, indem er gezielten, kontextabhängigen Zugriff auf Modelle, Parameter, Dokumente und Messwerte ermöglicht, und er liefert die Grundlage für unterschiedliche, rollen- und aufgabenbezogene Sichten auf dasselbe Objekt. Dadurch können Entwicklungs- und Fertigungsprozesse schneller und agiler, Änderungen planbarer und Fehler reduzierbar werden. In der Praxis ist ein solches Konzept nur dann belastbar, wenn es über Fachbereichsgrenzen hinweg funktioniert, mechanische und elektrische Entwürfe ebenso umfasst wie Softwareartefakte, Prozessdaten und Felddaten aus Betrieb und Service, und wenn es rechtliche Anforderungen wie Datenschutz, Haftung und Wettbewerbsrecht angemessen berücksichtigt. Die Verbindung zum Digital Twin, dem virtuellen Abbild eines Produkts oder Systems, entsteht dabei folgerichtig: Ein belastbarer Digital Thread ist die Voraussetzung dafür, digitale Zwillinge über den gesamten Lebenszyklus aktuell zu halten, die gegenseitigen Bezüge zwischen Entwurf, Simulation, Validierung und Realbetrieb zu sichern und informierte Entscheidungen auf Basis fundierter, valider Daten zu treffen.

Digital Thread als Infrastruktur für durchgängige digitale Daten und Datenflüsse

Zentraler Bestandteil der angestrebten Durchgängigkeit ist ein erweitertes Verständnis von Requirements Engineering und Requirements Management. Anforderungen sind nicht nur in der frühen Phase des Entwurfs relevant, sondern sie verändern sich dynamisch und müssen über alle Lebenszyklusphasen hinweg analysiert, priorisiert, verfeinert, verifiziert und validiert werden. Ein durchgängiges, digitalisiertes Anforderungsmanagement bedeutet, Anforderungen systematisch zu modellieren, sie disziplinenübergreifend zu verorten und auf disziplinspezifische Modelle, Komponenten und Funktionen abzubilden. Es verlangt klar definierte Metainformationen, Regeln für Nachverfolgbarkeit und Änderungsmanagement sowie Mechanismen für Vorwärts- und Rückwärtsverfolgung von Ursachen und Wirkungen. In stark reglementierten Branchen wie Luft - und Raumfahrt oder Medizintechnik ist diese Praxis etabliert; im Maschinen- und Anlagenbau hat sie sich noch nicht durchgesetzt, unter anderem weil die notwendige Methodenkompetenz und die Akzeptanz modellbasierter Arbeitsweisen in vielen Bereichen erst aufgebaut werden müssen. TraceMe setzt hier auf die Verbindung von methodischer Schärfung, moderner Toolunterstützung und anwendungsnahen Use Cases (siehe Kapitel 2.3), um die Tauglichkeit und den Nutzen der Ansätze in realen Wertschöpfungsnetzen nachzuweisen.

Model Based Systems Engineering fungiert im Projekt als gemeinsame Sprache und strukturierende Methode für die interdisziplinäre Zusammenarbeit. Indem Systeme in formalisierten Modellen beschrieben werden, lassen sich die unterschiedlichen Denk- und Begriffswelten der Disziplinen zusammenführen, Missverständnisse reduzieren

und Abhängigkeiten sichtbar machen. MBSE verlangt nicht nur passende Modellierungssprachen und Werkzeuge, sondern auch Rollenverständnisse, die den Systementwurf frühzeitig ins Zentrum stellen und die Beiträge der Disziplinen entlang eines konsistenten Vorgehensmodells organisieren. Für den Maschinen- und Anlagenbau bedeutet dies, etablierte disziplinenspezifische Methoden zu ergänzen und dort, wo die Komplexität gewachsen ist, integrierte Systemmodelle als Ordnungsrahmen zu nutzen. Ziel ist nicht das Modellieren um des Modellierens willen, sondern die Verbesserung von Qualität, Zeit und Kosten durch bessere Kommunikation, transparentere Entscheidungen, verbesserte Nachvollziehbarkeit und die Möglichkeit, Testfälle aus Anforderungen und Systemmodellen abzuleiten und in Simulation und Hardware zu verifizieren.

Die technologische Basis eines belastbaren Digital Threads und eines durchgängigen Anforderungsmanagements ist vielschichtig. Semantische Technologien wie Ontologien können Wissen formal beschreiben und Abhängigkeiten explizit machen. Graphdatenbanken eignen sich, um Beziehungen zwischen Entitäten zu speichern und abzufragen. Domänenspezifische Sprachen erlauben die präzise, fachnahe Beschreibung von Objekten, Funktionen und Prozessen und machen sie zugleich algorithmisch verarbeitbar. In Verbindung mit geeigneten Middleware- und Integrationskonzepten entsteht so eine Daten- und Systemlandschaft, die nicht allein Dateien und Versionen verwaltet, sondern die Bedeutung der enthaltenen Modelle und Parameter versteht und darauf aufbauend durchgängige Datenflüsse ermöglicht. Dabei sind Bidirektionalität, Zugriffssicherheit, Berechtigungskonzepte und Änderungsmanagement nicht als nachgelagerte Themen zu behandeln, sondern als konstitutive Eigenschaften eines Systems anzulegen, das über Abteilungs- und Unternehmensgrenzen hinweg funktioniert.

Auch die rechtliche Dimension ist integraler Bestandteil der technischen Konzeption. Daten, die Produkte und Prozesse repräsentieren, sind nicht wertfrei. Sie können personenbezogene Anteile enthalten, sie werden zwischen rechtlich eigenständigen Organisationen ausgetauscht, und sie können Rückschlüsse zulassen, die haftungsrechtlich relevant sind. Datenschutz ist deshalb eine Leitplanke, die bereits in der Modellierung und im Systementwurf berücksichtigt werden muss. Gleiches gilt für kartell- und wettbewerbsrechtliche Fragen, die in Kooperationen auftreten können, sowie für produkt- und betriebsanlagenrechtliche Anforderungen, die sich auf Dokumentations- und Nachweispflichten beziehen. TraceMe verbindet die technische Entwicklung mit einer rechtlichen Analyse und formuliert Handlungsempfehlungen, die eine rechtssichere Umsetzung ermöglichen. Das Ergebnis ist kein juristisches Regelwerk neben der Technik, sondern eine technisch-rechtliche Co-Kreation, in der Anforderungen, Schnittstellen und Prozesse so gestaltet werden, dass sie innovativ und rechtskonform zugleich sind.

Über die unmittelbaren technischen Ziele hinaus entsteht auch eine nachhaltige Wirkung. Eine höhere digitale Durchgängigkeit hilft, die Anzahl physischer Prototypen zu reduzieren, Iterationsschleifen zu verkürzen und Änderungsaufwände zu senken. Ressourcen werden dadurch effizienter eingesetzt, Energieverbräuche lassen sich zielgerichteter optimieren, und Fehlproduktionen können verringert werden. Besonders deutlich wird der Nutzen, wenn Maschinen präzise nach den Kundenwünschen ausgelegt und nicht überdimensioniert konfiguriert werden, weil Anforderungen transparent erfasst und systematisch verifiziert sind. Die damit verbundenen Effekte auf den Betrieb summie-

ren sich über viele Instanzen zu spürbaren ökologischen Entlastungen. Gleichzeitig verbessert ein strukturierter Umgang mit Anforderungen die Qualität der Kommunikation zwischen Unternehmen, Kunden, Zulieferern und anderen Partnern (Stakeholder), reduziert Reiseaufwände und beschleunigt die Abwicklung komplexer Projekte.

Handbuch gibt Orientierung

Dieses Handbuch bietet eine praxisorientierte Grundlage für Unternehmen, die ihre Prozesse im Sinne eines Digital Threads transformieren und im Unternehmen etablieren möchten.

Im ersten Hauptteil werden die methodischen und technischen Grundlagen behandelt. Hier werden zentrale Begriffe definiert, die Vorgehensweise des Requirements Engineerings und Model-Based Systems Engineerings erklärt sowie die Bedeutung einer Situationsanalyse und der Zieldefinition anhand von Datenmodellen dargestellt.

Darauf folgt ein Kapitel zu den Anforderungen an eine Engineering-gerechte Datenhaltung. Es beschreibt, wie Daten strukturiert und nachhaltig verwaltet werden müssen, welche Rolle Use Cases bei der Organisation von Datenflüssen spielen und welche Rahmenbedingungen für eine langfristige Umsetzung erforderlich sind.

Der dritte Abschnitt widmet sich der prototypenhaften Implementierung in realen Wertschöpfungsnetzen. Anhand konkreter Beispiele wird gezeigt, wie Daten aus bestehenden Prozessen extrahiert, mechatronische Stücklisten aufgebaut und Klassifikationssysteme wie ECLASS genutzt werden können. Ergänzend wird ein Tool zur interdisziplinären Prozessplanung vorgestellt, das die praktische Umsetzung erleichtert.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf den Kompetenzen, die für die Realisierung des Digital Threads notwendig sind. Das Handbuch beschreibt technologische, methodische und kommunikative Fähigkeiten, identifiziert relevante Zielgruppen und stellt Schulungskonzepte sowie nachhaltige Strategien zur Verankerung neuer Arbeitsweisen in der Unternehmenskultur dar.

Abschließend werden rechtliche Aspekte beleuchtet, die für die Umsetzung durchgängiger, digitaler Prozesse und Daten unverzichtbar sind. Dazu gehören Fragen zur Dateneigentümerschaft, zum Datenschutz und Datenaustausch im Kontext aktueller Regulierungen wie dem Data Act und dem AI Act sowie zu Anforderungen an Cybersecurity. Das Handbuch bietet damit eine umfassende Orientierung für Unternehmen, die digitale Durchgängigkeit nicht nur technisch, sondern auch organisatorisch und rechtlich fundiert umsetzen wollen.

Funding Acknowledgement

FFG Forschung wirkt. #upperVISION2030 Wirtschafts- & Forschungsstrategie OÖ ober österreich

Projektpartner

- ENGEL AUSTRIA GmbH
- GTech Automatisierungstechnik GmbH
- BRAUN Maschinenfabrik Gesellschaft m.b.H.
- TAT-TECHNOM-Automatisierungstechnik GmbH
- Kremsmüller Anlagenbau GmbH
- Siemens Industry Software GmbH
- framag Industrieanlagenbau GmbH
- Fill Gesellschaft m.b.H.
- Software Competence Center Hagenberg GmbH
- RISC Software GmbH
- Linz Center of Mechatronics GmbH
- FH OÖ Forschungs & Entwicklungs GmbH
- Johannes Kepler Universität Linz – LIT Law Lab
- Johannes Kepler Universität Linz – Institut für Mechatronische Produktentwicklung und Fertigung

Laufzeit: 09/2022 – 02/2026
Förderprogramm: FFG-Ausschreibung im Rahmen von #upperVISION2030 – FTI Initiative: Digitale Transformation 2021/2022

1. Methodische und technische Grundlagen

Autor: DI Dr. Lukas Weingartner, ENGEL AUSTRIA GmbH

Die digitale Durchgängigkeit im Maschinen- und Anlagenbau erfordert weit mehr als den Einsatz moderner IT-Systeme. Sie beginnt mit einem grundlegenden Verständnis der Methoden und Strukturen, die den Produktentwicklungsprozess prägen. In einer Branche, die durch hohe Variantenvielfalt, kundenspezifische Anpassungen und komplexe Wertschöpfungsnetze gekennzeichnet ist, sind konsistente Datenmodelle und interdisziplinäre Zusammenarbeit entscheidend. Dieses Kapitel legt die Basis für den Digital Thread, indem es zentrale Begriffe und Konzepte wie Requirements Engineering, Model-Based Systems Engineering und die Bedeutung einer gemeinsamen Systemsicht erläutert. Es zeigt, wie strukturierte Methoden und digitale Modelle helfen, die steigende Komplexität zu beherrschen, Transparenz zu schaffen und die Grundlage für eine nachhaltige, durchgängige Datenintegration über den gesamten Produktlebenszyklus zu bilden.

1.1. Grundlagen, Definitionen und Methodik

Herausforderungen im Maschinen- und Anlagenbau

Eine der größten Herausforderungen im Maschinen- und Anlagenbau besteht im Management von Daten und Modellen über den Produktlebenszyklus hinweg. Besonders wichtig ist dabei ein zielgerichteter Produkt- und Auftrags-übergreifender Zugriff auf Informationen. Die Wiederverwendung und Weiterentwicklung von unterschiedlichsten Beiträgen (Unternehmens-Know-how) zur Realisierung erfolgreicher Produkte ist dabei essenziell. Obgleich viele Produkte kundenspezifisch projektiert und entwickelt werden, gibt es einen wiederverwendbaren Anteil an Lösungen und Vorgehensweisen. Die bei der Wiederverwendung zu berücksichtigenden Wechselwirkungen nehmen aufgrund der steigenden Anzahl und Vielfalt von Informationen, der wachsenden Vernetzung von Systemen sowie der zunehmenden Verflechtung der Produkte mit der Cyber-Welt stetig zu. Dazu kommen die Globalisierung in Form von dynamischen Liefernetzwerken oder auch durch den zunehmenden Aufbau von international agierenden Expertenteams.

Ein Ansatzpunkt ist die Strukturierung, Standardisierung und Integration der genutzten Daten. Abgekapselte Modelle, Dokumente oder Ablagen können zu redundanten, nicht verknüpften und inkonsistenten Informationen führen. Die fehlende Transparenz und Nachvollziehbarkeit von implizitem Wissen stellt ein zusätzliches Risiko dar, wenn wesentliche Informationen nicht systematisch dokumentiert oder digital auswertbar sind. Inkonsistente Informationen können (insbesondere auch bei Anwendung moderner AI-Ansätze – siehe dazu später) zu falschen Ergebnissen und Entscheidungen führen. Dies behindert auch die erfolgreiche Weiterverwendung der Produktmodelle über den gesamten Lebenszyklus hinweg, beispiels-

weise bei der Entwicklung von Produktionssystemen, in der Produktion und im Service der Produkte.

Um die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Fachdisziplinen zu verbessern, ist eine gemeinsame Systemsicht sehr hilfreich – insbesondere, wenn diese Systemsicht auch digital verankert ist. Unterschiedliche Modelle, Strukturen und Sprachen (auch unterschiedliche Begriffe!) führen zu Abstimmungsproblemen, zu unnötig hohen Wartungs- und Abgleichaufwänden in den Tools und erschweren darüber hinaus eine ganzheitliche Betrachtung des Produktportfolios und der Wechselwirkungen. Besonders auf Ebene des gesamten Produktportfolios (inkludiert auch Dienstleistungen) und danach in frühen Entwicklungsphasen besteht ein enormer Bedarf an aussagekräftigen, disziplinenübergreifenden Modellen. Nur auf Basis dieser Modelle können zentrale Produktstrukturen frühzeitig definiert und über den Lebenszyklus hinweg genutzt werden – sowohl technisch als auch für kommerzielle Bewertungen. Die Erstellung dieser Modelle ist ebenso eine entscheidende Voraussetzung, um die steigende Komplexität im Maschinen- und Anlagenbau zu beherrschen und innovative, wettbewerbsfähige Produkte effizient zu entwickeln.

Anforderungen an die dafür benötigten Rollen bzw. Personen sind eine hohe Abstraktionsfähigkeit, Methodenkompetenz im Umgang mit digitalen Technologien und ein tiefgreifendes Verständnis der Unternehmensprodukte sowie der Geschäftsprozesse. Je transparenter die Zusammenarbeit der Stakeholder im Unternehmen gestaltet ist, desto einfacher können die richtigen Maßnahmen gesetzt werden. Im Zielbild eines integrierten, modellbasierten Ansatzes werden alle relevanten Informationen für Menschen und Maschinen widerspruchsfrei nutzbar gemacht.

Methoden und digitale Modelle im Produktentwicklungsprozess

Zur Entwicklung von Produkten liegt eine Vielzahl von erprobten Leitfäden und Methodiken vor. Beispielsweise sind die VDI-Richtlinien 2221 und 2206 als Standards über den deutschsprachigen Raum hinaus etabliert. Auf deren Grundkonzepten stützen sich auch die folgenden Ausführungen. Kundenanforderungen an die jeweiligen, zumeist unternehmensspezifischen Produkte (technische Systeme, Maschinen, Anlagen, aber auch Dienstleistungen) können methodisch entlang des V-Modells (VDI 2206) unterschiedlichen Produktstrukturen zugeordnet werden. Um die im interdisziplinären Produktentwicklungsprozess beschriebenen Probleme – wie fehlende gemeinsame Systemsicht, mangelhafte Dokumentation von Wissen, unzureichende Verbindung von Modellen und disziplinenübergreifende Abstimmungsprobleme – zu bewältigen, stehen unterschiedliche Methoden zur Verfügung:

- **Anforderungsmanagement und -modellierung:** Die strukturierte Erfassung, Verwaltung, Modellierung und auch Verteilung von Anforderungen bilden die Grundlage für eine systematische Entwicklung. Zur späteren Abnahme (Validierung, Verifikation, Freigabe) der Anforderungen werden zu diesen meist bereits Testfälle (virtuell oder physisch) entwickelt und in einer Systematik verlinkt.
- **Systems Engineering:** Dies ist ein strukturierter, interdisziplinärer Ansatz für die Entwicklung komplexer technischer Systeme. Model-Based Systems Engineering (MBSE) erweitert das klassische Systems Engineering um modellbasierte Ansätze. Informationen und Prozes-

se werden in standardisierten, digitalen Modellen abgebildet, wodurch die Nachvollziehbarkeit, Wiederverwendbarkeit verbessert werden und eine Integration der Modelle überhaupt erst ermöglicht wird. MBSE ermöglicht eine Verbindung und Abstimmung zwischen den Modellen unterschiedlicher Disziplinen und kann die Transparenz über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg fördern. Eine zentrale Struktur im Systems Engineering und in der Konstruktionsmethodik umfasst Funktionen, die das Produkt erfüllt bzw. funktionale Anforderungen, die das Produkt erfüllen muss. Eine Funktion kann oftmals nur durch Beiträge aus mehreren Fachdisziplinen realisiert werden. Die Erstellung solcher lösungsneutraler Funktionsstrukturen und deren konsequente Verknüpfung zu Anforderungen und Produktarchitekturen (Lösungsoptionen oder -baukästen) bilden somit das strukturelle Fundament zwischen dem Produktportfolio (Produktmanagement) und Detailmodellen in der Produktentwicklung. Durch diese Modelle wird auch der Übergang vom Vertrieb der Produkte zur Produktentwicklung und zur kundenspezifischen Auftragsbearbeitung unterstützt. Produktarchitekturen in Verbindung mit abstrahierten Konzeptmodellen (z.B. ausgerichtet an Produktfunktionen) erfassen die wesentlichen Aspekte des Gesamtsystems bereits in frühen Phasen und dienen als Informationsbasis für nachfolgende Entwicklungsphasen. Sie helfen, zentrale Festlegungen und Entscheidungen zu sichern und innerhalb eines Projekts bzw. über Projekte hinweg verfügbar zu halten.

- **Dokumentation und Wissensmanagement:** Um implizites Wissen transparent zu machen und Erfahrungen für eine größere Zahl an Stakeholdern im Unternehmen nutzbar zu machen, ist auch eine systematische Dokumentation von Entscheidungen, Prozessen und Modellergebnissen notwendig. Dadurch werden Wiederverwendung und kontinuierliche Verbesserung ermöglicht. Methoden zur Prozessmodellierung (z.B. BPMN, UML, DMN) werden hierzu eingesetzt, wobei im Maschinen- und Anlagenbau ein zum individuellen Auftragsspektrum passender Detaillierungsgrad gefunden werden muss.
- **Interdisziplinäre Zusammenarbeit auf Basis gemeinsamer Modellierungssprachen:** Digitale Systemmodelle und der maßgeschneiderte Einsatz standardisierter MBSE-Modellierungssprachen (z.B. SysML, Capella/Arcadia, UML) können die Zusammenarbeit zwischen Fachdisziplinen erleichtern und Schnittstellenprobleme deutlich reduzieren.

Zusammengefasst werden die oben beschriebenen Methoden eingesetzt, um geeignete Strukturen zu finden und zu erstellen. In der folgenden Abbildung ist an einem Beispiel dargestellt, wie die Grundstrukturen im V-Modell nach VDI 2206 zum Einsatz kommen können. Im Hinblick auf den Maschinen- und Anlagenbau müssen die Grundkonzepte bedarfsgerecht adaptiert werden. Die folgende Abbildung zeigt als wichtigste Strukturen die Funktionsstrukturen (F), „Vertriebsstücklisten“ (L) und Lösungselemente (P), wobei diese – je nach Konzeption – abstrakte Lösungskonzepte/Optionen oder aber bereits konkrete Stücklistenpositionen (bis zu “lagerfähigen” Baugruppen) umfassen können. Alle hier beschriebenen Konzepte können parallel zur Produktentwicklung auch in der Produktionssystementwicklung (d.h. zur Gestaltung der Produktion und/oder der Supply Chain) verwendet werden.

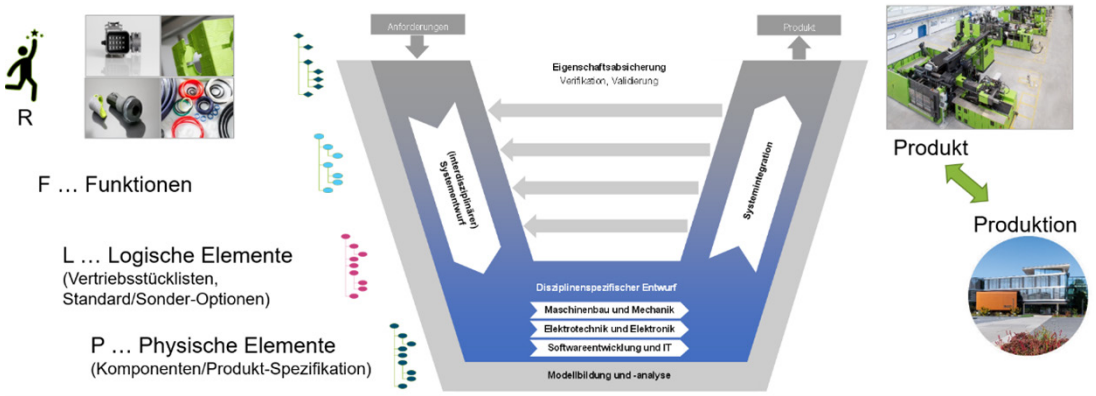


Abbildung 1: Typische Grundstrukturen im V-Modell (VDI 2206) für die Verwendung in der Produktentwicklung und Produktionssystementwicklung

Berücksichtigung der besonderen Herausforderungen im Maschinen- und Anlagenbau

Wie bereits im vorigen Kapitel erwähnt, gibt es im Maschinen- und Anlagenbau im Vergleich zu anderen Branchen Besonderheiten, die den gesamten Produktlebenszyklus und somit auch die Wahl der passenden Methoden beeinflussen. In der Branche entsteht eine enorme Komplexität durch die hohe Varianten- und Individualisierungstiefe. Das Produktportfolio im Maschinenbau wächst üblicherweise kontinuierlich an: Einerseits durch die Weiterentwicklung von Standardlösungen, deren Einbettung in Komplettlösungen und andererseits durch die Vielzahl an kundenspezifischen Erweiterungen. Dabei bleiben die Produkte viele Jahre und Jahrzehnte im Betrieb. Unterschiedliche Produktgenerationen laufen bei Kunden teilweise nebeneinander im Parallelbetrieb. Abkündigungen im Produktportfolio oder systematische Modernisierungen erfolgen nur schrittweise. Zusätzlich ist die starke auftragsspezifische Kundenorientierung („Engineer-to-Order“) im Maschinen- und Anlagenbau charakteristisch. Knappe Projektlaufzeiten und kleine Teams verlangen vielseitige Stakeholder mit umfassendem, disziplinenübergreifendem Fachwissen. Es braucht auch Flexibilität in den Prozessen und Abläufen, um mit schnellen Iterationen während der Produktentstehung umgehen zu können. Auch in der Projektabwicklung bei Industrieanlagen mit einer hohen Anzahl an Stakeholdern und einer Vielzahl an Schnittstellen führen spezifische (oft einzigartige) Rahmenbedingungen und Kundenanforderungen zu einer hohen Komplexität. Im Gegensatz zu Branchen mit fest definierten Abläufen und strengen Standards sind im Maschinen- und Anlagenbau oft schnelle, pragmatische und auch kreative Lösungen gefragt. Nach diesen Bedürfnissen im Maschinen- und Anlagenbau müssen die eingesetzten Methoden und die dazu passenden IT-Landschaften ausgerichtet werden.

Spezifische Methoden und die begleitende IT-Landschaft

Viele am Markt verfügbare IT-Lösungen (insbesondere im Bereich PLM und ERP) und die darin implementierten „Best-Practice“-Konzepte sind historisch durch Branchen wie Luft- und Raumfahrt, Automobilindustrie oder Medizintechnik geprägt. In diesen stark regulierten Branchen werden Metho-

den zur systematischen Qualitätssicherung und zum am Nachweis orientierten Datenmanagement aufgrund strenger gesetzlicher Rahmenbedingungen bereits seit Jahrzehnten systematisch eingesetzt und in digitalen Produktmodellen entlang des Produktlebenszyklus dokumentiert. Neben den Vorteilen in der Entwicklung hochkomplexer Systeme werden aus den Daten auch die gesetzlich geforderten Nachweise auditierbar ausgeleitet. Im Sonder-Maschinen- und Anlagenbau wurde eine Modellbildung aus den oben angeführten Gründen oft nur punktuell und bedarfsgerecht durchgeführt. Der Aufwand für eine umfassende Modellbildung überstieg den Nutzen bei kundenindividuellen Sonderprojekten – insbesondere dann, wenn nur eine geringe Chance auf Wiederverwendung vorlag. Dies betrifft insbesondere die Modellbildung in frühen Phasen der Produktentwicklung, beginnend bei Requirements Engineering und die disziplinenübergreifende Systemmodellierung mithilfe von Model-Based Systems Engineering (MBSE), aber auch den Detaillierungsgrad in CAD-Modellen der Mechatronik (Mechanik, Elektrik, Hydraulik, Pneumatik, Software, ...). Darüber hinaus standen (und stehen) die für MBSE erforderlichen Skills und Ressourcen in den Teams zur Auftragsabwicklung oft nicht zur Verfügung. Stark überzeichnet ausgedrückt, arbeiten Teams im Maschinen- und Anlagenbau oft übergreifend - von der Erfassung bis zur Fertigstellung/Abnahme des Produkts. In anderen Branchen sind die Arbeitsteilung und die Anzahl an inhaltlichen Übergaben zwischen Rollen/Stakeholdern viel stärker ausgeprägt (z.B. von “Vertrieb” zu “Projektierung”, zu “Systems Engineering”, zu “Detail Engineering”, zu “Produktion Engineering”). Je arbeitsteiliger und desto größer die Projekte/Produktportfolios waren, desto mehr Ressourcen standen typischerweise für Expertenteams und einen MBSE-Ansatz zur Verfügung. Die Schwelle zur Einführung von MBSE sank in den letzten Jahren jedoch kontinuierlich – auch um einem drohenden “Komplexitätskollaps” durch die zunehmende Belastung – insbesondere der stark übergreifend handelnden Teams – entgegenzuwirken. Die Komplexität steigt eben wie erwähnt durch viele Produktvarianten, fehlende Daten- und Prozessintegrationen, manuelle Schnittstellen, unklare Verantwortlichkeiten und auch durch die Auswirkungen der Globalisierung immer weiter an. Steuert man als Unternehmen nicht systematisch dagegen, müssen die Projektteams immer mehr Aspekte berücksichtigen - das führt üblicherweise zu Projektverzögerungen und Qualitätsproblemen, kostet aber auch Ressourcen.

Wichtig ist die Erkenntnis, dass Systems Engineering keineswegs Neuland für die Unternehmen im Maschinen- und Anlagenbau ist. Die Inhalte von Systems Engineering sind da – sie verstecken sich jedoch an unterschiedlichsten Orten im Unternehmen – beispielsweise in Preislisten, Checklisten, Kompatibilitätslisten, Produktbeschreibungen, Projektdokumentationen und implizit als Wissen der Stakeholder. Es geht daher nicht um die Entscheidung, ob man Systems Engineering im Unternehmen einführt, sondern ob man die bereits vorhandenen Informationen in Form von Modellen sichtbar und für den Digital Thread nutzbar machen möchte.

Model-Based Systems Engineering wurde in der Vergangenheit auch zu stark mit dem Aufbau von digitalen Modellen in typischen Beschreibungssprachen wie SysML gleichgesetzt. Es geht nicht nur um die Erstellung hochspezialisierter digitaler Modelle in Autorensystemen, sondern auch um ein koordiniertes Zusammenwirken aller wesentlichen Stakeholder. Systems Engineering fördert die frühzeitige Klärung von Anforderungen, die Dokumentation aller relevanten Aspekte

und die übergeordnete Betrachtung des Gesamtsystems. Damit wird eine gemeinsame Basis für alle Stakeholder geschaffen und die Integration unterschiedlicher Disziplinen erleichtert. Das Ziel ist das Überwinden von bestehenden Disziplinen- und Abteilungsgrenzen („Silos“) – sowohl organisatorisch als auch inhaltlich (disziplinenübergreifend) – im Unternehmen und zunehmend auch darüber hinaus (beispielsweise zu Lieferanten).

Die Einführung von Model-Based Systems Engineering (MBSE) im Maschinen- und Anlagenbau stellt für die Stakeholder in den Unternehmen vor allem dann eine große Herausforderung dar, wenn Modellierungssprachen wie SysML oder Capella (Arcadia) zum Einsatz kommen. Es geht hierbei nicht um den MBSE-Ansatz im Allgemeinen, sondern um die konkrete Anwendung und Integration dieser Sprachen in industrielle Entwicklungsprozesse. SysML und Capella (Arcadia) ermöglichen es, komplexe Systeme strukturiert und fachübergreifend zu modellieren – von Anforderungen und Funktionen über Schnittstellen bis hin zu Systemarchitekturen. Diese Ansätze unterscheiden sich jedoch grundlegend von den im Maschinenbau etablierten Methoden, bei denen oft physische Baugruppen in Baumstrukturen im Vordergrund stehen. Im Gegensatz dazu setzen SysML und Capella (Arcadia) auf abstrakte, häufig objektorientierte Modelle, die nicht zwingend direkte Entsprechungen zu realen Komponenten haben, sondern auch Beziehungen, logische Strukturen und Funktionen abbilden.

Für viele Fachkräfte in der Branche bedeutet dies einen Bruch mit vertrauten Arbeitsweisen und erfordert ein Umdenken sowie methodisches Neulernen. Besonders die aus der Informatik stammenden Konzepte wie Vererbung, Instanziierung und Objektorientierung, die in SysML und Capella (Arcadia) zentral sind, sind für erfahrene Ingenieure (insb. für Entscheidungsträger) mit traditionellen Ausbildungen ungewohnt. Das führt zu einem erhöhten Schulungsbedarf und erfordert auch eine intensivere Zusammenarbeit über die Grenzen der eigenen Fachdisziplinen hinaus.

Hinzu kommt, dass die Modellierungssprachen selbst sehr umfangreich sind. Bisher existieren nur wenige Empfehlungen oder Hilfsmittel, wie eine gezielte und sinnvolle Auswahl von Sprachelementen für den jeweiligen Anwendungsbereich getroffen werden kann. Auch die entsprechenden Werkzeuge zur Modellierung mit SysML oder Capella (Arcadia) sind erst seit wenigen Jahren als industrietaugliche Lösungen auf dem Markt. Während sie in der Forschung und in Branchen außerhalb des Maschinen- und Anlagenbaus bereits länger eingesetzt wurden, sind sie erst durch die Integration in große PLM-Systeme für die breite Anwendung skalierbar nutzbar geworden. Eine weitere Herausforderung zeigt sich bei der Modellierung des Systemverhaltens: In der Softwareentwicklung, aus der viele MBSE-Konzepte stammen, spielen dynamische Zustandsänderungen und geometrische Aspekte eine untergeordnete Rolle. Im Maschinen- und Anlagenbau hingegen sind diese Aspekte zentral, weshalb die Modellierungssprachen entsprechend erweitert und angepasst werden müssen, damit sie den spezifischen Anforderungen physischer Systeme gerecht werden.

Zusammengefasst ergeben sich die größten Herausforderungen bei der Nutzung von SysML und Capella (Arcadia) im Maschinen- und Anlagenbau aus dem Bruch mit traditionellen, komponentenorientierten Arbeitsweisen, dem hohen Abstraktionsgrad und der Komplexität der Sprachen, dem Bedarf an methodischer und organisatorischer Anpassung, der Notwendigkeit zur bereichsüber-

greifenden Zusammenarbeit sowie der spezifischen Berücksichtigung dynamischer und geometrischer Aspekte physischer Systeme. Dennoch kann die erfolgreiche Einführung dieser modellbasierten Sprachen wesentlich dazu beitragen, die Komplexität zu beherrschen und die Transparenz im Produktentwicklungsprozess zu steigern – sofern die genannten Herausforderungen bereits frühzeitig systematisch adressiert werden.

Methoden und digitale Modelle im Maschinen- und Anlagenbau – jetzt und in Zukunft

Die inhaltlichen Grundsteine für das Projekt TraceMe wurden im Dezember 2021 auf Basis der damals vorliegenden Herausforderungen, Methoden und IKT-Tools gelegt. Über die Projektlaufzeit hat sich aufgrund der geänderten geopolitischen Rahmenbedingungen in Kombination mit neuen Regulatorien der Druck auf die oberösterreichischen Industrieunternehmen stark erhöht. Insbesondere der Kostendruck durch den außereuropäischen Mitbewerb hat eine neue Dimension angenommen. Individuelle Kundenanpassungen sind weiterhin ein zentraler Wettbewerbsvorteil oberösterreichischer Unternehmen, in der Abwicklung der Kundenaufträge und -entwicklungen spielen aber globale Netzwerke für Zusammenarbeit eine immer wichtigere Rolle. Die Nutzung globaler Supply Chains bringt neue Herausforderungen im Management von Anforderungen und Daten – vom Kunden über den Anlagenintegrator zum Komponentenlieferanten. Anforderungen, die früher auf „kurzem Dienstweg“ besprochen wurden, müssen in global agierenden Teams formalisiert und oft mehrmalig weitergegeben werden. Gemeinsame Modelle (z.B. zur Visualisierung von Anlagen und deren Funktionalitäten), moderne Tools für agiles Projektmanagement und Issue-Tracking und iinternational standardisierte Datenmodelle (z.B. Asset Administration Shell) spielen in der Kommunikation eine immer größere Rolle. Die oben beschriebene Bewertung von Aufwand zu Nutzen von Modellbildung verschiebt sich unter den neuen Gegebenheiten zugunsten leistungsfähiger Modelle. Auch die Anforderungen an Daten haben sich in den letzten Jahren durch neue und geplante Regulatorien (CBAM, Reach, RoHS, ESPR, DPP EU, Omnibus, Data Act, ...) massiv verschärft. Die geforderten Daten bedingen teilweise eine Erfassung von zusätzlichen Informationen, basieren aber weitgehend auch auf „traditionellen“ Stammdaten, die zu einem hohen Anteil in Modellen abgebildet werden können oder bereits in den Modellen stecken. Beispielsweise sind der Werkstoff und das Volumen von Bauteilen ein notwendiger Ausgangspunkt für Kalkulationen entlang der Lieferketten. Was auf den ersten Blick trivial wirkt, ist methodisch und datentechnisch eine Herausforderung. Erforderlich sind konsistente Modelle, die auf Seite der Produktdefinition im CAD/PLM die Verbindungen zwischen Werkstoffen, Rohmaterialien, Halbfabrikaten und Fertigteilen und darüber hinaus Verbindungen zu den logistischen Informationen auf ERP-Seite ermöglichen. Die Ansätze müssen dabei skalierbar sein, da Stammdaten schnell tausende Einträge pro Maschine/Anlage umfassen. Da sich sowohl Bauteile als auch Lieferketten dynamisch ändern, muss begleitend auch ein Ansatz für Änderungsmanagement konzipiert und implementiert werden.

AI als neue Technologie im Maschinen- und Anlagenbau

Im Bereich Technologie wurden während der Projektlaufzeit seit 2021 die unterschiedlichsten Facetten von AI massentauglich. Am Markt entstanden neue Software-Unternehmen wie OpenAI, die eine führende Rolle einnehmen. Abgesehen von bereits umgesetzten Integrationen in einzelnen Tools (z.B. Office-Anwendungen) können AI-Funktionalitäten in die bestehenden Backbone-Systemen (PLM,

ERP) bisweilen nur langsam integriert werden. Eine Ursache sind Bestandsdaten und Datenmodelle, die teilweise vor Jahrzehnten für die damaligen Situationen in den Unternehmen implementiert wurden und den aktuellen Anforderungen nicht gewachsen sind. Wie oben beschrieben, sind Industrieanlagen und Maschinen viele Jahre im Feld, und genauso lange müssen auch die digitalen Daten dazu existieren und im Idealfall auch noch editierbar für Umbauten zur Verfügung stehen. Jede Änderung in den bestehenden Backbone-Systemen zieht hohe Migrationsaufwände und Kosten nach sich. Darüber hinaus sind Änderungen in den oftmals stark optimierten IT-Systemlandschaften aufgrund der massiven Wechselwirkungen Disziplinen- und Fachbereichsübergreifenddisziplinen- und fachbereichsübergreifend schwierig. Alle diese Einflussfaktoren müssen in der Konzeption eines modernen Datenmodells als Träger der Datendurchgängigkeit berücksichtigt werden.

Es zeigte sich, dass die Beantwortung der zu Projektstart formulierten Fragestellungen trotz der technologischen Umbrüche im Bereich AI weiterhin eine notwendige Voraussetzung für den Erfolg sind. Ohne geeignete Strukturen konnten AI-Ansätze ihr enormes Potential bisweilen nur in Randbereichen entfalten. Generell benötigt ein Roll-Out von neuen Methoden Zeit und Ressourcen. Hilfreich ist dabei ein klares Zielbild mit pragmatischen Zwischenergebnissen, die auch einen klar messbaren Nutzen bringen.

1.2. Notwendige Vorarbeiten in einer Situationsanalyse

Anforderungen an die Digital Threads werden abgleitet aus den Erfordernissen der Geschäftsprozesse

Eine fundierte Situationsanalyse bildet die Basis für erfolgreiche Transformationsprozesse in Unternehmen. Der erste Schritt besteht darin, die wesentlichen Geschäftsprozesse systematisch zu erfassen und abzugrenzen. Zusätzlich zur Betrachtung der IST-Situation – z.B. mit dem Ziel eines Effizienzgewinns – müssen auch zukünftige und strategische Anforderungen zur Erreichung der Unternehmensziele in die Analyse einbezogen werden. Wichtig ist dabei, die real ablaufenden Prozesse – und nicht nur die formal definierten Abläufe – zu erfassen. Dies ermöglicht ein realistisches Bild und legt den Grundstein für zielgerichtete Maßnahmen.

- Die hohe Komplexität der Zusammenhänge erfordert ein interdisziplinäres Team mit Vertretern aus unterschiedlichen Fachdisziplinen, das die wesentlichen Wechselwirkungen im Unternehmen kennt. Dieses Team muss unternehmensintern aufgebaut und geformt werden und kann durch externes Consulting, das Know-how zu Best-Practice-Lösungen liefert, ergänzt werden. Auf diese Weise fließen unterschiedliche Perspektiven und Anforderungen in die Analyse und Lösungskonzeption ein.
- Die Prozesserfassung umfasst die Identifikation und Beschreibung der relevanten Geschäftsprozesse und die dabei verwendeten Geschäftsobjekte, die maßgeblich zum Erreichen der Unternehmensziele im gewählten Scope beitragen. Hierzu werden üblicherweise Interviews, Workshops und eine Analyse bestehender Dokumentationen eingesetzt. Die Prozessdokumentation beinhaltet eine transparente und nachvollziehbare Darstellung der Abläufe, Verantwortlichkeiten, Schnittstellen sowie der genutzten Informationsobjekte. Auch informelle oder abteilungsübergreifende Prozesse werden berücksichtigt, da sie häufig eine bedeutende Rolle im operativen Geschäft einnehmen. Ein Abgleich mit der Praxis stellt sicher, dass die

dokumentierten Prozesse tatsächlich mit den gelebten Abläufen übereinstimmen. Beobachtungen im Arbeitsalltag sowie der direkte Austausch mit beteiligten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern tragen dazu bei, Diskrepanzen zwischen Soll- und Ist-Zustand aufzudecken.

- Im Rahmen der Analyse erfolgt eine Identifikation von Schwachstellen wie bestehende Abstimmungsprobleme, Medienbrüche, Informationsverluste, divergierende Definitionen von KPIs, Zielkonflikte oder Qualitätsmängel. Besonderes Augenmerk liegt auf mangelnder Transparenz oder fehlender Nachvollziehbarkeit, die zu Risiken wie dem Verlust von Erfahrungswissen führen können. Entscheidend für die Ausleitung von konkreten Projekten ist auch eine Nutzen-Berechnung – die Vorgehensweise kann an die Ausführungen in der VDI 2219 angelehnt sein.

1.3. Zieldefinition mithilfe von Datenmodellen

Zukunftssichere Methoden und Datenmodelle überdauern den Wechsel von IT-Tools

Entscheidend für die Wahl der Datenmodelle sind die Charakteristika, die Fähigkeiten und die strategische Ausrichtung des Unternehmens. Dabei spielen Geschäftsprozesse, Produkte, Produktionsfähigkeiten aber auch die Organisationsstruktur eine entscheidende Rolle. Viele weitere Aspekte wurden bereits in den Ausführungen oben erwähnt. Wichtig ist die übergeordnete Betrachtung im Kontext des Gesamtunternehmens – nur dann können Synergien genutzt werden. Im Idealfall gibt es beispielsweise eine zentrale (führende) Dokumentenablage, ein Statusnetz für den Auftragsfortschritt über alle Stakeholder hinweg, ein Änderungsobjekt für alle mechatronischen Teildisziplinen und nur eine Workflow-Engine, in der unter anderem Freigaben erteilt werden bzw. eine dem realen Workflow entsprechende, verbindlich geltende RACI-Matrix, die zu jedem Schritt des Workflows definiert, wer Responsible, Accountable, Consulted und Informed ist. Die Realität sieht bekannterweise anders aus. Über die Jahre hat sich eine äußerst heterogene Systemlandschaft entwickelt. Jedes Tool trägt neben den Kernfunktionalitäten eine Reihe zusätzlicher Module und Erweiterungen. Meist können die Datenmodelle angepasst werden (z.B. konfigurierbare Attribute), es gibt Mechanismen für Versionierung, Visualisierung, Berechtigungswesen, spezifische Schnittstellen und neuerdings auch für integrierte AI-Mechanismen. Werden die Tools eingeführt und immer weiter eigenständig optimiert, führt das oft dazu, dass immer mehr redundante Funktionalitäten genutzt werden. Passen die Datenmodelle nicht zusammen, können Synchronisationspunkte nur durch hohen Aufwand (Sonderprogrammierungen) sichergestellt werden.

Übergeordnet konzipierte Datenmodelle können diese Herausforderungen entschärfen. Es werden zentrale Objekte, Attribute und Beziehungen definiert - unabhängig von spezifischen Tools. Dadurch bleibt die Datenstruktur auch bei Systemwechseln erhalten. Auch Inhalte von zentralen MBSE-Modellen sollten möglichst unabhängig von konkreten Tool-Funktionalitäten sein. Wesentliche Produktstrukturen können ebenso wie deren Datenmodelle über lange Zeit hinweg genutzt und weiterentwickelt werden. Voraussetzung sind eine klare Governance und die konsequente Ausrichtung an Unternehmensprozessen.

Wie einleitend angeführt, sind die Wiederverwendung und Weiterentwicklung von Know-how im Maschinen- und Anlagenbau äußerst

wichtig. Das bedeutet, alle Datenmodelle, die im Auftragsfall an Kundenanforderungen angepasst werden, sollten eine Art von Instanziierung ermöglichen. Einerseits, um Änderungen in der zentralen Wissensbibliothek in Kundenaufträgen bei Bedarf nachziehen zu können, und andererseits, um auftragsspezifische Gegebenheiten schnell erfassen zu können. Typischerweise werden Autorensysteme in einem PLM-Backbone oder in einem ERP-nahen PLM-Layer integriert. Nicht in allen Tools und Backbone-Systemen wird dieser Schritt der Instanziierung ausreichend unterstützt - auch im Bereich MBSE laufen am Markt hierzu noch Entwicklungen – insbesondere auch in Verbindung mit einer Produktkonfiguration, mit der eine kundenspezifische Ausprägung regelbasiert effizient ausgeleitet werden kann. Auch die Notwendigkeit einer Entkopplung der Produktion bzw. Supply Chain von den Modellen und Strukturen der Produktentwicklung muss im Datenmodell berücksichtigt werden.

Zusammengefasst sind Datenmodelle die wesentlichen Enabler für den Digital Thread und die Integration entlang des gesamten Produktlebenszyklus.

Referenzen

[1] VDI 2221 Blatt 1:2019-11. Titel: Entwicklung technischer Produkte und Systeme – Modell der Produktentwicklung. Englischer Titel: Design of technical products and systems – Model of product design. Ausgabedatum: November 2019., Herausgeber: Verein Deutscher Ingenieure (VDI).

[2] VDI/VDE 2206:2021-11. Titel: Entwicklung mechatronischer und cyber-physischer Systeme. Englischer Titel: Development of mechatronic and cyber-physical systems. Ausgabedatum: November 2021. Herausgeber: Verein Deutscher Ingenieure (VDI) / Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (VDE).

[3] VDI 2219:2016-09. Titel: Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung – Einführung und Betrieb von PDM-Systemen. Englischer Titel: Information technology in product development – Introduction and usage of PDM systems. Ausgabedatum: September 2016. Herausgeber: Verein Deutscher Ingenieure (VDI). Seiten: 45.

[4] OMG, SysML, https://www.omg.org/sysml/

[5] Eclipse Foundation, Capella, https://mbse-capella.org/

2. Anforderungen an eine Engineering-gerechte Datenhaltung

Autoren: Dipl.-Ing. Dr. Rainer Haas, Linz Center of Mechatronics GmbH und Univ.-Prof. DI Dr. Klaus Zeman, Johannes Kepler Universität Linz

2.1. Ziele und Anforderungen an die Datenhaltung

Eine Engineering-gerechte Datenhaltung (EDH) beschreibt die systematische, strukturierte und langfristig nutzbare Organisation von Daten, die für bestehende oder zukünftig denkbare Engineeringprozesse entlang des gesamten Produktlebenszyklus (PLZ), wie z.B. technische Entwicklungs-, Produktions- und Serviceprozesse, relevant sind. Die EDH geht über das reine Speichern von Daten hinaus: Ziel ist es, Daten so zu strukturieren, zu organisieren, zu vernetzen und zu verwalten, dass sie vollständig, konsistent, nachvollziehbar und kontextbezogen verfügbar sind – und zwar entlang des gesamten Lebenszyklus eines Produkts oder Projekts, bzw. darüber hinaus auch über Produktgenerationen hinweg. Die für die EDH erforderlichen Kommunikations- und Vernetzungsmöglichkeiten der Daten müssen im Sinne des Digital Thread (siehe Kap. 2.2) entsprechend geplant und durch geeignete logische und physische Datenverbindungen in Hard- und Software realisiert werden.

Für die Einführung der EDH sind zwei zentrale Zielrichtungen wichtig. Das sind einerseits die strategischen Verbesserungsbedarfe, wie:

- **Zukunftssicherheit**: Daten müssen so gehalten werden, dass sie auch in 5, 10 oder 15 Jahren noch interpretierbar und nutzbar sind. Dies erfordert offene Standards, Protokolle, klare Metadaten und eine Minimierung proprietärer Formate.
- **Compliance und Nachweisbarkeit**: Regulatorische Anforderungen (z. B. Normen, Produkthaftung) machen eine lückenlose Dokumentation und Rückverfolgbarkeit (Backward Traceability) – bereits heute und in Zukunft zunehmend – unabdingbar.
- **Interoperabilität**: Systeme und Tools müssen Daten austauschen können, um Silos zu vermeiden. Das ist entscheidend für digitale Zwillinge, Modellbasiertes Systems Engineering (MBSE), wie z.B. modellbasierte Entwicklung oder Industrie 4.0.

Aber auch operative Handlungsbedarfe wie:

- **Fehlervermeidung**: Unklare, veraltete oder fehlende bzw. fragmentierte Daten stellen oftmals unzureichende Entscheidungsgrundlagen dar und führen zu Fehlentscheidungen, Nacharbeit und Qualitätsproblemen.
- **Kostenreduktion**: Redundante Datenhaltung und aufwändige manuelle Suchprozesse verursachen hohe Kosten. Suchzeiten lassen sich speziell durch intuitivere Prozesse oder bessere Dokumentation (Use Cases) reduzieren.
- **Effizienzsteigerung**: Rasches Finden von

Daten und schneller Zugriff auf die „richtigen“ Daten sparen Zeit in Entwicklung, Einkauf, Produktion oder Wartung.

Zur verbesserten Abdeckung der oben angeführten Bedarfe ist speziell die nachfolgend beschriebene Strukturierungsmethodik (inkl. Dokumentations- bzw. Planungsmethodik) via Use Cases (UC) von Vorteil.

Bei der Planung, Analyse bzw. darauffolgenden Umsetzung einer EDH ist es wichtig, sich schon im Vorfeld Gedanken über mögliche Zielkonflikte und deren Ursachen zu machen. Das ist vor allem deshalb wichtig, weil die Anforderungen an eine EDH vielschichtig sind und unterschiedliche Stakeholder betreffen. Welche Personen, Gruppen oder Organisationseinheiten in einem Use Case (UC) berücksichtigt werden sollen, hängt vom Use Case selbst ab. Jedenfalls sollten jene Stakeholder involviert werden, die berechtigte Interessen an dem betreffenden Use Cases haben. Einige der wichtigsten Stakeholder sind:

- **Kunden / Zulieferer:** Use Cases, welche die Kunden bzw. die Zulieferer betreffen, sind von besonderer Bedeutung, da gerade hier eine klare und für alle verständliche Sicht auf den Informations- bzw. Datenaustausch wichtig ist, um eine effiziente und sichere Zusammenarbeit zu gewährleisten. Es kann aber ebenso sinnvoll sein, dass Kunden und Zulieferer in bestimmte, (z.B. „unternehmensinterne“) Use Cases bewusst nicht einbezogen werden.
- **Engineering**: Das Engineering – eine der Kernkompetenzen vieler Unternehmen – fordert typischerweise eine nahtlose Anbindung ihrer Konstruktions- und Auslegungstools. Das „Engineering“ wiederum kann verschiedene Organisationseinheiten (Abteilungen, Gruppen) umfassen, die üblicherweise nach Disziplinen wie z.B. Konstruktion, E+A (Elektrotechnik und Automation), Hydraulik, Projektierung, Abwicklung gegliedert sind und daher unterschiedliche Interessen vertreten.
- **IT**: Die IT legt Wert auf die Auswahl, Implementierung bzw. Migration, Funktion und den störungsfreien Betrieb geeigneter Hardware- und Softwaresysteme einschließlich deren Performance, Sicherheit (Safety and Security) und gute Wartbarkeit.
- **Management**: Das Management erwartet die Einhaltung der vertraglich vereinbarten Leistungen, der budgetierten Kosten, der vereinbarten Termine sowie die Fähigkeit für rasche und nachvollziehbare, begründete Entscheidungen (Informed Decision-Making). Dies wird speziell durch eine klare Darstellung der Kernprozesse mit ihren Zuständigkeiten gewährleistet.
- **Produktion und Service:** Benötigen eine einfache Zugänglichkeit auf aktuelle Daten (As Built) sowie eine Benachrichtigungsmöglichkeit bei Änderungen.
- **Generell**: alle jene Gruppen, die von dem Use Case bzw. dessen Inputs (Eingangsdaten) und Outputs (Ergebnissen) betroffen sind.

Die Interessen dieser und möglicherweise auch anderer Stakeholder können bzw. werden typischerweise bei einer derart weitreichenden Umstellung bzw. Einführung kollidieren. Beispielsweise kann eine sehr detaillierte Datenhaltung die IT-Infrastruktur überlasten oder die Bedienbarkeit für Nicht-Techniker:innenerschweren. Das kann auch die Schulungsphase verkomplizieren und die schlussendlich wichtige Akzeptanz bei den Mitarbeiter:innen negativ beeinflussen. Sinnvolle Kompromisse entstehen beispielsweise durch:

- **Frühe Einbindung aller relevanten Stakeholder** in die Ermittlung der Anforderun-

gen an den betreffenden Use Case.

- **Priorisierung nach Wertbeitrag:** Welche Daten sind kritisch für die Qualität (wichtige Eigenschaften), Sicherheit oder Kosten eines Produkts bzw. einer Leistung?
- **Klare Governance-Regeln:**
  - Festlegung von „Rollen“ („personas“)
  - Wer darf Daten ändern, freigeben oder löschen?
  - Wer darf den Use Case selbst (Tasks, Methoden, Tools, Ergebnisse usw.) ändern (UC-Owner)?
  - Wer ist Nutzer bzw. Anwender des Use Case (UC-User)?
  - Wer ist von den Ergebnissen des Use Case betroffen (UC-Kunde, UC-Customer)?

2.2. Digital Thread als Infrastruktur für durchgängige Digitale Daten und Datenflüsse

Was ist der Digital Thread?

Die Anforderungen an den Digital Thread können aus den in Kapitel 2.1 diesbezüglich angeführten Zielsetzungen abgeleitet werden, nämlich dass die für die EDH erforderlichen Kommunikations- und Vernetzungsmöglichkeiten der Daten im Sinne des Digital Thread (siehe Kap. 2.1) entsprechend geplant und durch geeignete logische und physische Datenverbindungen in Hard- und Software realisiert werden müssen.

Die logische Ebene der Datenverbindungen betrifft dabei die Modelle (inkl. Datenmodelle), die physische Ebene betrifft die hard- und softwaremäßige Realisierung der Datenverbindungen. Die dadurch entstehenden vernetzten (logischen und physischen) Datenstränge einschließlich der darauf stattfindenden Datenflüsse bzw. Datenverläufe werden als „Digital Thread“ bezeichnet. Der Digital Thread kann damit als logischer und physischer Strang (Datenstrang, Datennetzwerk) zweckmäßig vernetzter Datenquellen und -senken (Devices and Systems) aufgefasst werden, entlang dessen die beabsichtigten Datenverläufe und Datenflüsse realisiert werden können.

Zum besseren Verständnis kann die Analogie zu einer Verkehrsinfrastruktur, bestehend aus einem Straßennetz mit Autobahnen, Bundesstraßen, Bezirksstraßen, Güterwegen sowie aus einem Schienennetz, aus Wasserstraßen usw. dienen, die unabhängig von dieser verfügbaren „Infrastruktur“ stark oder schwach ausgelastet („befahren“) sein können („Datenverkehr“).

2.3. Use Cases als Strukturierungsinstrument für den Digital Thread

Was und warum: Use Cases als Strukturierungsmethode

Die zunehmende Komplexität technischer Produkte und die Vielfalt beteiligter Systeme führen dazu, dass Datenflüsse im Engineering oft fragmentiert und schwer nachvollziehbar sind. Der Digital Thread – das durchgängige digitale Informationsnetz, das den gesamten Produktlebenszyklus (PLZ) oder sogar mehrere Produktgenerationen überspannt – ist ein zentrales Instrument moderner Engineering-Organisationen. Um diesen Digital Thread greifbar zu machen, dienen Use Cases (UCs) als Methode zur Strukturierung von Daten, insbesondere von Engineering-Daten.

Use-Cases beschreiben konkrete Anwendungsfälle innerhalb (komplexer) Prozesse und machen diese auf eine übersichtliche, gut kommunizierbare Art sichtbar. Folgende Informationen können damit besonders gut festgehalten werden:

- **Stakeholder und Ziele:** Generell sind Stakeholder jene Personen bzw. Personengruppen, welche ein berechtigtes Interesse an den Zielen, Tasks, Methoden, Tools, Ergebnissen usw. eines Use Cases haben bzw. davon betroffen sind und daher ihre Interessen und Ziele in die Entwicklung und Ausgestaltung des Use Cases einbringen sollen. Mit der Definition eines Use Cases sollte als erstes die Rolle des „UC-Owners“ festgelegt werden. Das sind jene (besonderen) Stakeholder, welche schlussendlich für den besagten Use Case verantwortlich und mit der Auswahl, Definition und Detailierung der Tasks des betreffenden UCs sowie der dabei zu verwendenden Methoden und Tools betraut sind. Sie wählen auch alle anderen Stakeholder aus, die ihre Interessen und Ziele in die Entwicklung des Use Cases einbringen sollen. Ziele und Stakeholder bedingen einander: Stakeholder als Vertreter der Ziele, und Ziele als Ausdruck des Willens der Stakeholder. Eine Änderung der Ziele braucht daher die Zustimmung der betroffenen Stakeholder. Konsequenz daraus: Jedes Ziel braucht mindestens einen Stakeholder, und jeder Stakeholder vertritt mindestens ein Ziel. Dies entspricht einer m zu n Relation zwischen Zielen und Stakeholdern.
- **Tasks und Methoden:** Mit jedem Use Case wird eine Aufgabe selbst sowie deren Tasks, das sind z.B. zugehörige Teilaufgaben, dokumentiert. Diese Tasks können sequenziell, parallel oder auch in Iterationsschleifen durchlaufen werden. Verbunden sind die einzelnen Tasks nicht direkt durch Datenflüsse – diese führen ausschließlich über den (zum und vom) Digital-Thread – sondern via Trigger. Für die Darstellung des Digital-Threads im Kontext einer EGD ist es von besonderer Wichtigkeit, die in den Tasks verwendeten Methoden auszuwählen und festzulegen.
- **Systeme und Tools.** Die Auswahl bzw. Festlegung der relevanten Computerprogramme (Systeme) und Tools mit den zugehörigen Tasks bringt eine gute (notwendige) Übersicht über die eingesetzte bzw. geplante System- und Toollandschaft. Wichtig ist dabei, zwischen Methoden, Tools, Daten und deren Ablage (Quellen, Senken) sowie Flüsse zu unterscheiden!
- **Daten, Datenintegration und Anknüpfung zum Digital Thread**
  - Informationen und Daten: Was? Prinzipiell wird zwischen Informationen und Daten unterschieden, wobei man sagen kann, dass Daten in unserem Sinne Files sind, die in einem bestimmten Format vorliegen bzw. abgelegt sind. Unter Informationen verstehen wir den Inhalt von Daten, d.h. sie haben eine gewisse Bedeutung (beispielsweise Simulationsergebnisse), wozu es einer ganz bestimmten Interpretation der Daten bedarf.
  - Quellen und Senken: Wo? Quellen sind jene „Stellen“ (Knoten) des Digital Threads, von denen Tools aus einer Datenablage oder Datenbank bestimmte Daten (mit Informationen) für einen bestimmten Zweck auslesen. Die zugehörigen Informationen sind der Ausgangspunkt bzw. die Basis für einen Task. In einem Task selbst können diese Informationen beliebig oft verarbeitet, d.h. im Task durchiteriert werden (das passiert oft lokal durch die dafür zuständigen Personen oder auch Maschinen, die den Task abarbeiten). Erst wenn ein „wertiger“ Punkt beim Abarbeiten des Tasks erreicht wurde (ein wichtiger, zu speichernder Zwischenschritt) oder der Task fertig ist, werden die Ergebnisse (wieder

Informationen) in einem im Use Case vordefinierten Datenformat an einer ebenso vordefinierten „Stelle“ (Knoten) des Digital Threads abgelegt, die nun als Senke zu verstehen ist.

- Datenflüsse: von Wo Wohin? Datenflüsse entstehen somit immer nur zwischen einem Knoten (Quelle oder Senke) des Digital Threads und dem zugehörigen Task im Use Case, und dies immer nur entlang der dafür vorgesehenen Bahnen des Digital Threads, jedoch niemals zwischen zwei Tasks, oder noch schlimmer, zwischen Stakeholdern direkt! Nur so kann sichergestellt werden, dass alle, die auf den Digital Thread zugreifen, immer aktuelle, „wertige“ Daten bzw. Informationen vorfinden.

Damit bilden Use Cases die Grundlage für:

- **Transparenz**: Wer macht was, mit welchen Methoden, Tools, Daten und mit welchem Ziel?
- **Standardisierung**: Einheitliche Beschreibung von Prozessen, Tasks und Datenflüssen.
- **Automatisierung und KI-Integration:** Nur klar strukturierte Use Cases lassen sich effizient automatisieren und für KI-Anwendungen nutzbar machen.
- **Überschaubare „Baustellen“**: Durch die Strukturierung in beliebig kleine oder große Use Cases können Prozessbausteine unterschiedlicher „Größe“ und Tragweite in Angriff genommen und umgesetzt werden. Die Use Cases können selbst wieder zu „größeren“, übergeordneten Use Cases zusammengefasst bzw. verschaltet werden, wodurch in überschaubaren Schritten ein (hierarchisches bzw. flaches) Netzwerk an Use Cases aufgebaut werden kann.

Kurz zusammengefasst sollte ein vollständiger Use Case mindestens folgende Elemente enthalten:

- **Stakeholder und deren Ziele**: Wer soll beteiligt werden, und was will sie/er erreichen?
- **Tasks & Methoden:** Welche Arbeitsschritte, Vorgehensweisen, Methoden und welche Trigger sind erforderlich?
- **Tools**: Welche Software-Systeme und Anwendungen kommen zum Einsatz?
- **Datenablagen**: Wo liegen die relevanten Daten (Quellen und Senken)?
- **Datenflüsse**: Von wo und über welchen Weg (Thread, „Datenstrang“) fließen Daten wohin? Auf welchen dafür vorgesehenen Bahnen (Pfaden, Wegen, Strängen) des Digital Threads und mithilfe welcher Tools werden die Daten zwischen den Datenablagen (Quellen und Senken) und Tasks übertragen (bewegt)?
- **Spezifizierung**: Welche Eingaben, Ausgaben und Regeln gelten für den Use Case?

Die Erstellung von Use Cases beginnt mit einer Analyse des Ist-Zustands sowie mit der Identifikation aktueller kritischer Prozessschritte:

- **Welche Prozessschritte sind kritisch?** (z. B. fehleranfällig, zeitintensiv)
- **Welche Datenablagen existieren?** (Datenbanken, Dokumente, E-Mails, Handzettel)
- **Welche Datenflüsse bestehen?** (manuell, automatisiert, mit Brüchen)
- **Welche Datenflüsse sind für den Use Case erforderlich?** (manuell, automatisiert)
- **Wo fehlt digitale Durchgängigkeit?** (z.B. Medienbrüche, redundante Eingaben)

Auf Basis dieser Analyse und der obigen Struktur werden Verbesserungspotenziale identifiziert, und es kann eine vergleichba-

re Dokumentation geschaffen werden. So werden unter anderem neue bzw. geänderte Prozessschritte als Use Cases umgesetzt. Dabei gilt: Je klarer die Use Cases strukturiert sind, desto einfacher lassen sich Automatisierungsszenarien und KI-Anwendungen ableiten.

Detaillierung und Verbesserungsideen

Die präzise Detaillierung von Use Cases ist entscheidend, um Prozesse nicht nur zu dokumentieren, sondern auch gezielt zu verbessern bzw. digital zu transformieren. Dabei geht es darum, die Prozessschritte entlang des Produktlebenszyklus (PLZ) so zu strukturieren, dass sie den tatsächlichen Wertbeitrag für das Unternehmen widerspiegeln und gleichzeitig eine Grundlage für Automatisierung und KI-Unterstützung bieten. Gut aufbereitete Use Cases können auch die Grundlage für die möglicherweise später notwendige Implementierung von AAS (Asset-Administration-Shell) Systemen bzw. des Digitalen Produktpasses dienen. Um Anforderungen, wichtige Eigenschaften (Funktionen, Leistungsversprechen, Fähigkeiten) von Produkten (inkl. Services), Engineering-Aufgaben oder andere Tätigkeiten zur Erfüllung des Leistungsversprechens den jeweils dafür zuständigen Stellen des eigenen Unternehmens („make“) in seiner Rolle als Anbieter oder den Lieferanten bzw. Unterlieferanten („buy“) zuordnen zu können, ist es sinnvoll, dazu als wesentliche Orientierungshilfe die eigene Produktstruktur zu verwenden. Unter der „eigenen Produktstruktur“ ist dabei die Struktur der eigenen und (regelmäßig) zugekauften fremden Produkte bzw. Lösungselemente (Teilsysteme, Komponenten, Module, Baugruppen, Bauteile) zur Erfüllung des Leistungsversprechens zu verstehen.

Orientierung an der eigenen Produktstruktur

Die Orientierung an der eigenen Produktstruktur ist eine der zentralen Punkte im Zuge der Digitalisierung. Sie zieht sich von der Angebotslegung über alle firmeninternen Use Cases bis hin zur Verifikation und Validierung am Ende eines Projekts. Dabei kann bei ausreichend guter Kenntnis der eigenen Produktstruktur sowie der damit verbundenen Eigenschaften und Fähigkeiten der zugehörigen Elemente einfacher, schneller und zuverlässiger jener Anteil der Anforderungen aus einer Kundenanfrage extrahiert werden, welcher dem internen Standard nicht entspricht, also durch bestehende („vorrätige“) Lösungselemente nicht abgedeckt werden kann. Die Grenze zwischen den bestehenden („vorrätigen“) Lösungen und den anderen nennen wir Neugestaltungsgrenze, siehe Abbildung 2.

Bildlich gesprochen, kann man sich die „vorrätigen“ Lösungselemente wie Pfeile vorstellen, die, wenn man sie vorab passend gruppiert (quasi in die zugehörigen Köcher gegeben hat) hat, schnell für ihre Verwendung aus dem richtigen Köcher gezogen und eingesetzt werden können.

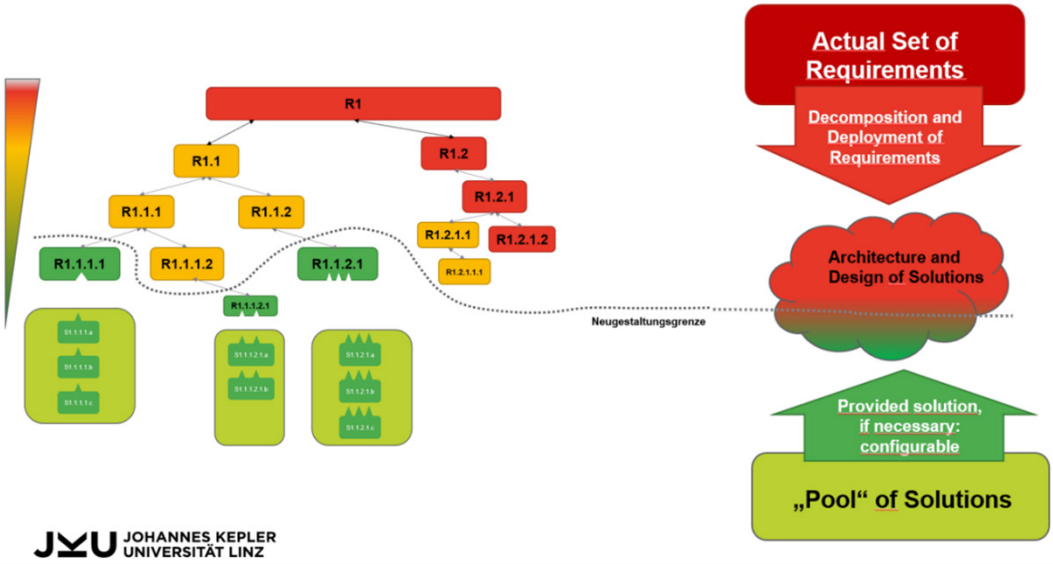


Abbildung 2: Neugestaltungsgrenze zwischen bestehenden („vorrätigen“) und neu zu gestaltenden Lösungen

Die Identifikation der Neugestaltungsgrenze eines Auftrags bildet eine wichtige Basis, um den Aufwand und das Risiko eines Projekts besser einschätzen zu können. Abbildung 3 zeigt den Anteil eines Projekts, der neu gestaltet („make“) oder zugekauft (buy“) werden muss in Rot dargestellt.

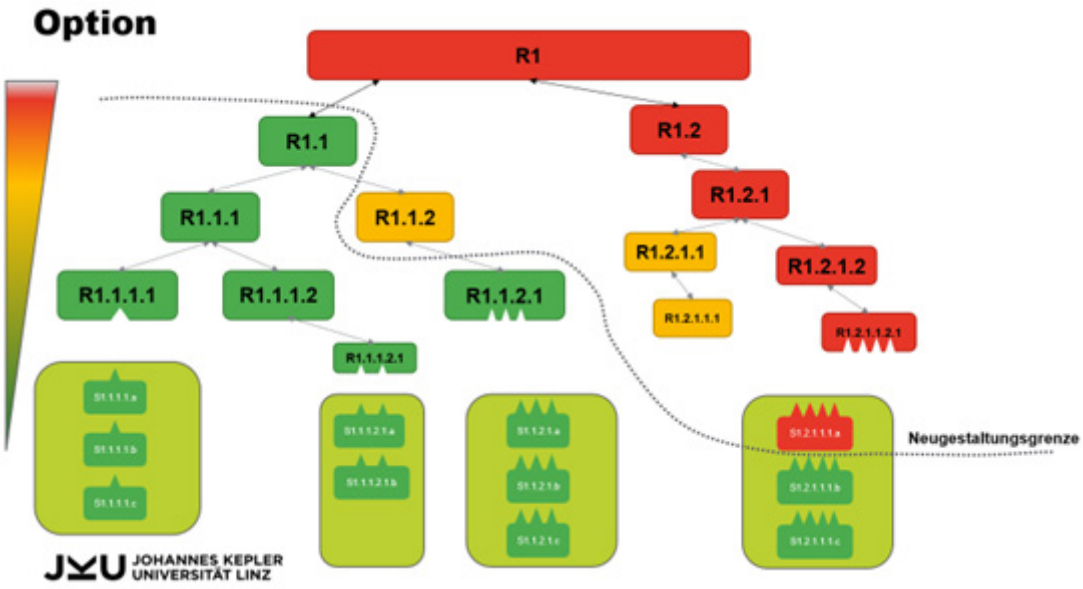


Abbildung 3: Neugestaltungsgrenze zwischen bestehenden („vorrätigen“) und neu zu gestaltenden Lösungen

Aber auch die firmeninterne Use Case Struktur ist eine wichtige Grundlage für die Aufwandsabschätzung des neu zu entwickelnden Anteils (des roten Anteils in Abbildung 3). Wenn aber eine mögliche technische Lösung nicht durch firmenintern bestehende Prozesse und Strukturen unterstützt wird, z.B. für allfällige Prüfroutinen, das Handling für besondere Materialien oder das Bereitstellen von IT-Infrastruktur, ist das Umsetzungsrisiko deutlich höher, als wenn für die mögliche Lösung bereits Prozesse und Strukturen (unabhängig von einer allfälligen informationstechnischen Implementierung) vorhanden sind. Die vermeintlichen Aufwände einer solchen möglicherweise notwendigen Strukturbildung können mit Use Cases auf eineübersichtliche Weise dargestellt, verglichen, diskutiert und bewertet werden, was wiederum das Entwicklungsrisiko senkt. Diesen Aspekt sollte man auch bei der Erstellung der Use-Cases berücksichtigen.

Abstimmung auf Neugestaltungsgrenzen und Granularität der Use-Cases

Die Granularität eines Use-Cases hängt von den typischen Neugestaltungsgrenzen ab:

- Grober Zuschnitt für stabile, unveränderte Prozessbereiche.
- Feinere Detaillierung für kritische Schritte mit hohem Risiko, hoher Fehlerquote oder großem Automatisierungspotenzial.
- Modularisierung: Komplexe Prozesse werden in kleinere, klar abgegrenzte Use Cases zerlegt, um sie leichter automatisieren und überwachen zu können.

Darauf aufbauend, können projektkritische Entscheidungen, wie etwa eine „MAKE or BUY“ Entscheidung, besser fundiert und getroffen werden.

- MAKE – Eigenfertigung und Eigenentwicklung
  - Was wird selbst gemacht? → Prozesse mit hoher strategischer Bedeutung oder technologischer Differenzierung.
  - Was existiert bereits? → Rückgriff auf bewährte Lösungen aus früheren Projekten, idealerweise mit minimalen Anpassungen.
  - Was muss neu entwickelt werden? → Identifikation von Lücken, die Innovationen oder neue Technologien erfordern.
  - Was liegt außerhalb der Neugestaltungsgrenze? → Prozesse, die unverändert übernommen werden können, um Ressourcen zu schonen.
- BUY – Fremdbezug und Standardlösungen
  - Was wird zugekauft? → Standardkomponenten oder Dienstleistungen, die keinen Wettbewerbsvorteil bieten oder andere Anbieter in hoher Qualität und kostengünstig beitragen können.
  - Integration sicherstellen: Auch zugekaufte Elemente müssen in die Datenflüsse und Governance eingebunden werden.
  - Kritische Elemente: Solche, für die es keine firmeninternen Prozesse gibt und auch strategisch nicht aufgebaut werden sollen.

Diese Analyse schafft Klarheit über den Gestaltungsraum und verhindert, dass unnötige Komplexität entsteht. Erst wenn man die eigene Produktstruktur mit den verfügbaren Eigenschaften (Fähigkeiten, Funktionen, Leistungen usw.) gut kennt und entsprechend strukturiert zur Verfügung hat (so wie Pfeile im zugehörigen Köcher), kann man diese Information zur automatisierten Vorverarbeitung von neuen Kundenanfragen, d.h. zur Automatisierung der Vorfilterung der Anforderungen, verwenden – zum Beispiel via KI. Der Vorteil dieses Zugangs ist, dass die Strukturierung nicht von Auftrag zu Auftrag variieren muss, sondern

maßgeblich durch die eigene Produktstruktur vorgegeben ist.

Exemplarischer KI-Use-Case

Ein Beispiel für einen Use Case mit KI-Unterstützung ist die automatisierte Zeichnungsprüfung:

- **Ziel**: Reduktion manueller Prüfaufwände und Fehlervermeidung.
- **Ablauf**: CAD-Zeichnung wird hochgeladen → KI prüft Normkonformität → Prüfbericht wird erzeugt → Freigabeprozess wird angestoßen.
- **Datenquellen**: CAD-Dateien aus dem Digital Thread, Normendatenbanken.
- **Output**: Prüfstatus, Konflikte (Inkonsistenzen, Bugs), Bericht, Freigabeempfehlung. Damit wird deutlich: Use Cases müssen so strukturiert sein, dass Ereignisse, Datenfelder und Schnittstellen klar definiert sind – nur dann sind sie für KI und Automatisierung gut zugänglich bzw. verwendbar.

Einheitliches Wording für ein gemeinsames Sachverständnis

Die zahlreichen Diskussionen unter den am Projekt beteiligten Firmen und wissenschaftlichen Partnern haben gezeigt, dass einerseits recht unterschiedliche Begriffe für ein und denselben Sachverhalt verwendet wurden, andererseits wiederum ein und derselbe Begriff recht unterschiedlich interpretiert wurde – unterschiedliche Begriffe für ein und denselben Sachverhalt sind jedoch eine veritable Quelle für Missverständnisse und Fehler. Ein gemeinsames Verständnis zentraler Begriffe ist daher die Basis für erfolgreiche Prozessoptimierung, nicht nur innerhalb des eigenen Unternehmens, sondern über die Unternehmensgrenzen hinweg. Daher ist so etwas wie ein zumindest firmeninternes Glossar mit aussagekräftigen Erklärungen und Beispielen unverzichtbar:

- Definition zentraler Begriffe (z. B. Systeme, Systemgrenzen, Super- und Subsysteme, Systemattribute, Systemgrößen, ...).
- Abbildung des Ist- und Zielzustands: Welche Begriffe gelten heute, welche sollen künftig verwendet werden?
- Versionierung und Pflege: Das Glossar muss wie ein technisches Dokument behandelt werden – mit Änderungsmanagement und Freigabeprozess.

Einheitliches Wording erleichtert nicht nur die Kommunikation und Transparenz, sondern auch die Automatisierung, da nur so Begriffe in verschiedenen Regeln, Schnittstellen und KI-Modellen mit einheitlicher Bedeutung und konsistent verwendet werden können.

Vorteile nach Anwendung

Die Einführung von Use Cases als methodisches Instrument zur Strukturierung und Beschreibung von Prozessen bietet weit mehr als eine strukturierte Dokumentation. Sie schafft eine Grundlage für strategische und operative Verbesserungen, die sich unmittelbar auf Effizienz, Qualität und Zukunftsfähigkeit auswirken. Drei zentrale Nutzenaspekte stehen dabei im Vordergrund: Automatisierungspotenziale, KI-Integration und Know-how-Sicherung.

Automatisierungspotenziale sichtbar machen

Durch die detaillierte Erfassung von Aufgaben, Schnittstellen und Datenflüssen wird deutlich, wo wiederkehrende, regelbasierte Tätigkeiten auftreten. Typische Beispiele sind die Übertragung von Daten zwischen Systemen, die Durchführung von Statusänderungen, die Synchronisierung von Daten oder die Konvertierung von Dateiformaten. Solche Schritte sind prädestiniert für Automatisierung, da sie klar definierte Eingaben, Ausgaben und Regeln besitzen.

Die strukturierte Use Case Darstellung ermöglicht es, diese Potenziale nicht nur zu erkennen, sondern auch zu priorisieren und in eine Umsetzungsplanung zu überführen. Damit wird Automatisierung planbar und messbar – mit Kennzahlen wie Durchlaufzeit, Fehlerquote oder Ressourceneinsatz.

KI-Szenarien identifizieren und nutzbar machen

Neben klassischen Automatisierungsmöglichkeiten eröffnen Use Cases den Blick auf Prozesse, in denen Entscheidungen unter Unsicherheit getroffen oder große Datenmengen verarbeitet werden müssen. Hier liegt das Feld für den Einsatz von Künstlicher Intelligenz.

Beispiele sind die automatisierte Qualitätsprüfung von CAD-Zeichnungen oder die Prognose von Terminrisiken, sofern sie digital zugänglich sind. Die Use Case Dokumentation liefert die notwendige Grundlage für solche Anwendungen: klar definierte Datenquellen, Metadaten und Schnittstellen, die für das Training und die Integration von KI-Modellen unverzichtbar sind. So wird aus einer reinen Prozessbeschreibung ein strategisches Werkzeug für die digitale Transformation.

Know-how-Sicherung als strategischer Vorteil

Ein weiterer, schwer quantifizierbarer Nutzen liegt in der Sicherung von Wissen. Jeder Use Case beantwortet die zentrale Frage: „Warum mache ich wann was?“ Damit wird implizites Wissen explizit und für alle Beteiligten nachvollziehbar.

Dies schafft Transparenz über die Prozesslogik, erleichtert Audits und reduziert die Abhängigkeit von Einzelpersonen. Gleichzeitig wird ein Wissensspeicher aufgebaut, der nicht nur die aktuelle Organisation unterstützt, sondern auch zukünftige Projekte beschleunigt und die Einarbeitung neuer Mitarbeiter:innen erleichtert.

2.4. Analyse bestehender Datenflüsse und -quellen

Die Analyse bestehender Datenflüsse, senken und -quellen ist ein zentraler Schritt, um die digitale Durchgängigkeit im Sinne des Digital Threads sicherzustellen. Ziel ist es, ein vollständiges Bild der aktuellen Datenlandschaft zu erhalten, bestehende Brüche (in deren Durchgängigkeit) zu identifizieren und daraus konkrete Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten. Dabei dienen Use Cases als methodisches Instrument, um Prozesse und Datenflüsse strukturiert darzustellen und nachvollziehbar zu machen.

Use Cases als Methode zur Strukturierung

Ein gemeinsames Verständnis der Use Case-Systematik ist entscheidend: Jeder UC beschreibt nicht nur die fachlichen Aufgaben und beteiligten Stakeholder, sondern auch die relevanten Datenquellen, Datensenken und deren Verbindungen. So entsteht eine transparente Abbildung der Informationsstränge und -flüsse entlang des Produktlebenszyklus. Diese Strukturierung ist die Grundlage für die Bewertung der digitalen Durchgängigkeit und die Ableitung von Automatisierungs- und KI-Potenzialen.

Lückenlose Genese der Projektdaten – Traceability

Ein zentrales Qualitätsmerkmal moderner Datenhaltung ist die Traceability, also die lückenlose Verfolgbarkeit von Daten, deren Herkunft sowie ihren Auswirkungen. Hierbei unterscheidet man zwei Perspektiven:

- **Backward Traceability:** Woher kommen die Daten? Welche Quellen, Stakeholder und Entscheidungen haben zu ihrer Ent-

stehung geführt? Diese Rückverfolgbarkeit ist essenziell für Audits, Compliance und die Begründung von (technischen) Entscheidungen. Beispiele: (i) Ein Materialstammsatz im ERP muss eindeutig auf die CAD-Daten und die Freigabe im PLM zurückführbar sein. (ii) Rückholaktionen bei Massenprodukten (z.B. PKW): In welchen Fahrzeugtypen und -varianten, Jahrgängen usw. ist eine bestimmte (fehlerhafte) Baugruppe verbaut und muss ausgetauscht werden?

- **Forward Traceability:** Wohin gehen/ wirken die Daten? Wer nutzt sie, und welche Auswirkungen hat eine Änderung? Diese Sicht ist entscheidend für Änderungsmanagement und Risikobewertung. Beispiel: Eine geänderte Toleranz im CAD-Modell beeinflusst Prüfpläne, Fertigungsprozesse und Lieferantenkommunikation.

Die Use Case-Systematik unterstützt beide Perspektiven, indem sie Datenflüsse und Verantwortlichkeiten explizit dokumentiert.

Integration der Projektablage in das Projektmanagement

Eine durchdachte Datenhaltung muss das Projektmanagement aktiv unterstützen. Dazu gehören die Integration der notwendigen Kommunikationselemente (E-Mails, Chatverläufe, Projekt-management Elemente, ...), der Termine sowie die Nachverfolgbarkeit von Anforderungen und die klare Zuordnung von Arbeitspaketen und Meilensteinen. Die Projektablage sollte nicht nur als Speicher dienen, sondern als Informationsdrehscheibe, die alle relevanten Artefakte verknüpft und deren Status transparent macht.

Kollaboration und gemeinsame Nutzung von Daten

Moderne Engineering-Prozesse sind kollaborativ. Unterschiedliche Rollen arbeiten gleichzeitig an Modellen, Dokumenten und Daten – von einfachen Textdokumenten bis hin zu komplexen CAD-Baugruppen. Die Frage lautet: Was braucht wer in welchem Arbeitsschritt? Hier können Use Cases einen wichtigen Beitrag leisten: Sie definieren nicht nur die Datenflüsse, sondern auch die Zugriffsrechte, Schnittstellen und Synchronisationsmechanismen. So wird sichergestellt, dass alle Beteiligten zur richtigen Zeit auf die richtigen Informationen zugreifen können – ohne Medienbrüche oder redundante Datenhaltung.

2.5. Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Umsetzung

Die Einführung einer Engineering-gerechten Datenhaltung und die Nutzung von Use Cases als Strukturierungsinstrument sind keine einmaligen Maßnahmen, sondern erfordern eine langfristige Strategie. Damit die Umsetzung nachhaltig gelingt, müssen organisatorische, technische und methodische Rahmenbedingungen geschaffen werden. Drei Aspekte sind dabei besonders wichtig: Änderungsmanagement, Anbieterunabhängigkeit und Teilautomatisierung.

Änderungsmanagement – den Wandel planbar machen

Eigentlich beginnt der Wandel schon bei der Entwicklung der Use Cases. Beim Dokumentieren bestehender Prozesse und Systeme wird meist kritisch über vorhandene Lösungen nachgedacht, wodurch es schon zu möglichen Verbesserungsideen kommen kann. Dabei ist es wichtig, nicht sofort an die Umsetzung zu gehen, sondern die Auswirkungen/Änderungen im Use Case festzuhalten, mit den Stakeholdern zu diskutieren, zu bewerten, über die Realisierung zu entscheiden und gegebenenfalls einen Plan für die Umsetzung zu machen.

Ein strukturiertes Change-Management ist unverzichtbar, um Akzeptanz zu sichern und Risiken zu minimieren. Dazu gehören:

- **Planung des Change-Prozesses:** Welche Schritte sind erforderlich, um die neuen Strukturen einzuführen? Welche internen Abteilungen bzw. externen Partner (Zulieferer und Kunden) sind betroffen?
- **Impact-Abschätzung:** Welche Änderungen haben besondere Auswirkungen auf Kosten, Zeit und Qualität? Mit Use Cases lassen sich der Ist- und der Zielzustand gut miteinander vergleichen – sowohl technisch-inhaltlich als auch menschlich-organisatorisch. Das erleichtert eine allfällige Impactabschätzung von notwendigen Änderungen.
- **Traceability sicherstellen:** Dazu gehören die oben besprochenen Teilaspekte der Backward- bzw. Forward-Traceability.

Anbieterunabhängigkeit – Methoden vor Tools

Eine nachhaltige Lösung darf nicht von einem einzelnen Software-Anbieter oder Tool abhängig sein. Der Fokus muss auf Methoden und Standards liegen, die unabhängig von spezifischen Softwarelösungen funktionieren. In diesem Zusammenhang sind drei Begriffe zentral:

- **Single Source of Truth (SSOT):** Alle relevanten Daten liegen in einer konsistenten, zentralen Quelle.
- **Single Point of Truth (SPOT):** Es gibt eine eindeutige Referenz für jede Information, auch wenn sie verteilt gespeichert ist.
- **Single Source of Authoritative Truth (SSAOT):** Die maßgebliche Instanz für eine Information ist klar definiert und nachvollziehbar. Use Cases helfen, diese sichtbar zu machen, indem sie Datenquellen, Verantwortlichkeiten und Schnittstellen eindeutig beschreiben.

Teilautomatisierung – Akzeptanz und Effizienz steigern

Die vollständige Automatisierung aller Prozesse ist selten realisierbar. Teilautomatisierungen sind ein pragmatischer Ansatz, um Effizienz zu erhöhen und gleichzeitig die Benutzerakzeptanz zu sichern. Ein paar Beispiele sind:

- Automatisierte Validierungen von Pflichtfeldern und Formaten.
- Workflow-Automatisierungen für Statusänderungen oder Benachrichtigungen.
- Haltepunkte für manuelle Prüfungen bei kritischen Entscheidungen (z. B. Freigaben, Sicherheitsrelevantes).

Diese Kombination aus Automatisierung und menschlicher Kontrolle schafft Vertrauen und reduziert Fehler, ohne die Flexibilität zu verlieren.

3. Prototypenhafte Implementierung in den Wertschöpfungsnetzen

Kapitel 3 widmet sich der praktischen Umsetzung des Digital Threads in realen Unternehmensprozessen. Im Mittelpunkt stehen prototypische Ansätze, die zeigen, wie digitale Durchgängigkeit entlang der Wertschöpfungskette erreicht werden kann. Anhand konkreter Use Cases aus führenden Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus wird die Übertragbarkeit theoretischer Konzepte in die Praxis demonstriert. Die Beispiele stammen von Fill Maschinenbau, Braun Maschinenfabrik, Engel Austria und GTech Automatisierungstechnik und verdeutlichen unterschiedliche Perspektiven: von der Datenextraktion aus bestehenden Prozessen über den Aufbau mechatronischer Stücklisten bis hin zur Nutzung von Klassifikationssystemen und Tools für interdisziplinäre Prozessplanung. Damit liefert das Kapitel wertvolle Impulse für Unternehmen, die den Digital Thread nicht nur konzipieren, sondern in ihren operativen Abläufen verankern möchten.

3.1. Datenextraktion aus bestehenden Prozessen – Fill Maschinenbau

Fill Gesellschaft m. b. H. (2025). Kapitel „Datenextraktion aus bestehenden Prozessen“. Unveröffentlichtes Manuskript, erstellt für das Handbuch „Digitale Durchgängigkeit im Maschinen- und Anlagenbau“. Fillstraße 1, 4942 Gurten, Österreich. URL: https://www.fill.co.at

Dieses Unterkapitel behandelt, wie Anforderungen aus umfangreichen Spezifikationsdokumenten mithilfe KI-gestützter Tools automatisiert analysiert und strukturiert werden können. Ziel ist es, die Effizienz und Genauigkeit in der Angebots- und Projektinitialisierungsphase deutlich zu steigern.

Um eine effiziente Bearbeitung sicherzustellen, müssen die zu erhebenden Anforderungen frühzeitig verfügbar sein. Bereits in der Vertriebsphase ist es entscheidend, sowohl zeitliche als auch qualitative Wettbewerbsvorteile gegenüber Mitbewerbern zu erzielen.

Hinsichtlich des Zeitmanagements wurde festgestellt, dass sämtliche Fachbereiche (Mechanik, Software, Elektrotechnik) während der Initialisierungsphase umfangreiche Lastenhefte vollständig analysieren. Ein belastbares Angebot oder Konzept kann erst nach Beurteilung durch verschiedene Bereiche erstellt werden. Häufig entsteht zudem erheblicher Zeitdruck, sodass umfangreiche Dokumente nicht immer vollständig gesichtet werden können. Dies birgt das Risiko, wichtige Aspekte zu übersehen, was sich letztlich in verlängerten Projektdurchlaufzeiten, einer geringeren Kundenzufriedenheit oder einem reduzierten Deckungsbeitrag widerspiegeln kann.

Bei dieser Lösung handelt es sich um eine cloudbasierte Software, die KI-gestützt Anforderungen für den Maschinen- und Anla-

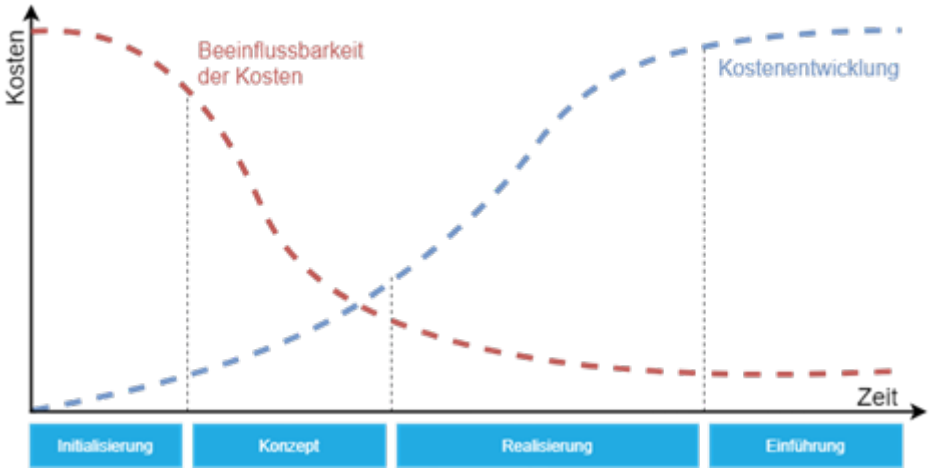


Abbildung 4: Zusammenhang zwischen Kostenbeeinflussbarkeit und Kostenentwicklung.
Quelle: https://www.transformatik.ch/blog/projektinitialisierung-eine-wertvolle-investition

genbau kategorisiert. Unterschiedliche eingehende Spezifikationsdokumente (wie Lastenhefte, Liefervorschriften etc.) werden mittels künstlicher Intelligenz verarbeitet. Die Hauptfunktionen umfassen:

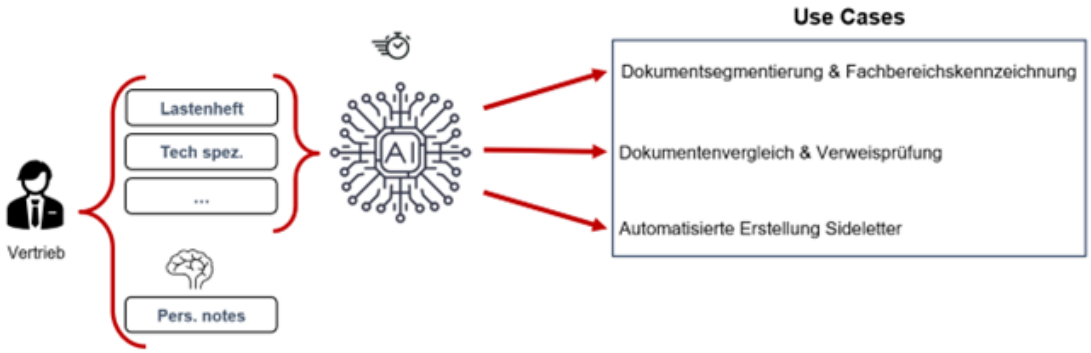


Abbildung 5: Hauptfunktionen einer KI-gestützten Anforderungsanalyse

- **Automatisierte Anforderungsanalyse:** Anforderungen werden aus hochgeladenen Dokumenten extrahiert, in einzelne Einträge zerlegt, klassifiziert und den zuständigen Fachbereichen zugewiesen. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass alle Anforderungen korrekt erfasst und adressiert werden.
- **Effiziente Kollaboration & Review:** Die Anforderungen stehen dem gesamten Team zur Überprüfung und Diskussion zur Verfügung. Jede Anforderung wird strukturiert mit individuell anpassbaren Feldern angezeigt, wodurch der Status transparent dokumentiert und abteilungsübergreifend nachvollzogen werden

kann. Das integrierte Benachrichtigungs- und Aufgabensystem unterstützt bei Unsicherheiten und gewährleistet termingerechte Rückmeldungen, womit proaktive bereichsübergreifende Zusammenarbeit gefördert und unerwartete Projektrisiken reduziert werden.

- **Abweichungsanalyse & Wissensdatenbank:** Mittels hinterlegter interner Standards werden bereits hochgeladene Dokumente automatisiert geprüft und etwaige Abweichungen identifiziert. Das System unterbreitet auf Basis existierender Lösungsansätze Handlungsempfehlungen. Dadurch wird Erfahrungswissen früherer Projekte für das gesamte Team nutzbar gemacht, was insbesondere die Einarbeitung neuer Mitarbeitender erleichtert.
- **Sideletter-Erstellung:** Identifizierte Abweichungen können standardisiert exportiert und dem Kunden bereitgestellt werden. Damit entfällt die manuelle und fehleranfällige Erstellung entsprechender Verweise auf betroffene Dokumentensektionen, da dieser Prozess vollständig automatisiert erfolgt.
- **Sprachübersetzung:** Zur Unterstützung internationaler Projekte ermöglicht das System, vollständige Anforderungsdokumente per Knopfdruck ins Deutsche oder Englische zu übersetzen. Während interne Abstimmungen beispielsweise auf Deutsch erfolgen können, wird die Ausgabe für den Kunden automatisch in englischer Sprache generiert.

Nach rund zehn Monaten Pilotbetrieb mit dem System zeigen sich für das Unternehmen deutliche Vorteile, die sowohl die Effizienz als auch die Qualität im Umgang mit Kundenanforderungen nachhaltig verbessern.
Ein zentraler Fortschritt liegt in der Verkürzung der Bearbeitungsdauer von Lastenheften. Durch die Automatisierung und parallele Bearbeitung der Anforderungen reduziert sich der Zeitaufwand für ein umfangreiches Lastenheft (z.B. 120 Anforderungen, vier Abteilungen) von ursprünglich etwa zehn auf rund sieben Arbeitstage. Auch kleinere Lastenhefte werden nun deutlich schneller fertiggestellt. Das ermöglicht es, Angebote fristgerecht zu erstellen und Kunden schneller Rückmeldung zu geben – ein entscheidender Vorteil angesichts wachsender Dokumentenumfänge. Mitarbeiter:innen profitieren zudem von der Entlastung von Routinetätigkeiten wie der manuellen Sortierung, sodass sie sich auf wertschöpfende Aufgaben konzentrieren können.

Neben der Effizienz steht die Genauigkeit im Fokus: Die Plattform stellt sicher, dass sämtliche Anforderungen geprüft werden, da das System alle Punkte systematisch vorgibt und deren Abarbeitung dokumentiert. In der Praxis wurde beispielsweise eine kritische technische Klausel rechtzeitig erkannt, die ohne automatisierte Analyse hätte übersehen werden können. Die Fehlerquote tendiert gegen null, und nachträgliche Ergänzungen entfallen weitgehend. Dies senkt das Risiko teurer Nacharbeiten und Vertragsstrafen erheblich und sorgt für belastbare, vollständige Angebote.

Die Transparenz im Bearbeitungsprozess hat sich spürbar erhöht. Mittels der Plattform ist nun jederzeit sichtbar, welcher Bereich welche Anforderungen kommentiert hat und wo noch Klärungsbedarf besteht. Die projektübergreifende Kommunikation wird durch die Kommentarfunktion gefördert und der E-Mail-Verkehr reduziert. Interne Bereiche verstehen besser, welche Anforderungen kritisch sind und weshalb, und können gemeinsam mit dem Kunden priorisieren. Das System unterstützt damit eine offene, nach-

vollziehbare Zusammenarbeit und erleichtert die Abstimmung nach außen. Langfristig entsteht eine zentrale Wissensdatenbank, in der alle bearbeiteten Lastenhefte hinterlegt und durchsuchbar sind. Teams können so auf Erfahrungen aus früheren Projekten zurückgreifen und effiziente Lösungen übernehmen.

Das neue System hat die Angebotsprozesse nachhaltig modernisiert und professionalisiert. Effizientere Abläufe, geringe Fehlerquoten, verbesserte Zusammenarbeit sowie ein systematischer Wissensaufbau verschaffen dem Unternehmen einen deutlichen Wettbewerbsvorteil und ermöglichen qualitativ hochwertige, rasch erstellte Angebote. Die jetzige Herausforderung liegt nun darauf, die prototypenhafte Implementierung auf alle betroffenen Bereiche flächendeckend auszurollen und in der Arbeitsroutine nachhaltig zu integrieren.

3.2. Aufbau einer mechatronischen Stückliste – Braun Maschinenfabrik

Braun Maschinenfabrik (2025). Kapitel „Aufbau einer mechatronischen Stückliste“. Unveröffentlichtes Manuskript, erstellt für das Handbuch „Digitale Durchgängigkeit im Maschinen- und Anlagenbau“. Eternitstraße 1, 4840 Vöcklabruck, Österreich. URL: https://www.braun-tech.com/Home

Dieses Kapitel zeigt, wie mechanische und elektrische Stücklisten aus unterschiedlichen Systemen konsolidiert werden, um eine durchgängige, revisionssichere mechatronische Stückliste zu schaffen. Ziel ist die Verbesserung von Datenkonsistenz, Automatisierung und Transparenz entlang der Wertschöpfungskette.

Anforderungen

Um die Prozesse rund um E-CAD-Stücklisten effizienter, sicherer und konsistenter zu gestalten, müssen folgende Anforderungen erfüllt werden:

- **Wachsende Stücklisten:** Die Stückliste entwickelt sich im Verlauf des Projekts kontinuierlich weiter. Mit zunehmendem Detaillierungsgrad und fortschreitender Planung wächst die Anzahl der Artikel, Baugruppen und Informationen. Das System muss daher in der Lage sein, diese dynamische Erweiterung zuverlässig abzubilden, Änderungen sauber zu verwalten und jederzeit eine konsistente, aktuelle und vollständig nachvollziehbare Stückliste bereitzustellen.
- **Versionierung:** Alle Stücklisten sollen durch die Speicherung im PDM-System versioniert werden, sodass Änderungen nachvollziehbar und revisionssicher dokumentiert sind.
- **Abgleich der Artikelanzahl:** Die Anzahl der mechatronischen Artikel in der Stückliste muss automatisch mit dem ERP-System abgeglichen werden, um Inkonsistenzen und Fehlbestände zu vermeiden.
- **Automatisierte Übertragung:** Die Übertragung von Stücklisten aus E-CAD in das ERP-System soll weitgehend automatisiert erfolgen, wobei Fehlerquellen minimiert werden.
- **Fehlerkontrolle:** Es müssen Mechanismen implementiert werden, die fehlerhafte oder unvollständige Daten erkennen, bevor sie ins ERP-System übernommen werden.
- **Ressourceneffizienz:** Routineaufgaben wie Import, Abgleich und Statuskontrolle sollen möglichst automatisiert ablaufen, um personelle Ressourcen zu schonen und die Produktivität zu steigern.
- **Nachvollziehbarkeit und Reporting:** Alle Änderungen, Statusänderungen und

Datenübertragungen sollen protokolliert werden, sodass jederzeit nachvollziehbar ist, welche Daten wann und von wem bearbeitet wurden.

Status quo

Derzeit werden die E-CAD-Stücklisten noch vollständig manuell im ERP-System angelegt. Jeder Artikel muss einzeln und korrekt eingetragen werden, was nicht nur zeitaufwändig ist, sondern auch eine hohe Fehleranfälligkeit mit sich bringt. Die manuelle Eingabe führt regelmäßig zu Inkonsistenzen, fehlenden Informationen oder falschen Stückzahlen, was wiederum Korrekturaufwand und Abstimmungsbedarf zwischen den Abteilungen erzeugt. Zudem gibt es je Projekt nur eine einzige Stückliste, in der jede verbaute Elektrokomponente in dieser einzigen Ebene enthalten ist. Die Aufteilung und das Kommissionieren der Komponenten zu den einzelnen Einbauorten (Schaltschränke, Klemmenkästen etc.) kann nur durch das Fachpersonal anhand des Stromlaufplans und dessen Stückliste und nicht durch die zentrale Materialwirtschaft erfolgen.

Zwar ist es mittlerweile möglich, E-CAD-Stücklisten semi-automatisch ins ERP-System zu importieren, jedoch erfordert dies größte Sorgfalt, da das verwendete Importtool keine Fehler toleriert. Darüber hinaus bindet dieser Prozess wertvolle Ressourcen, die für strategischere Aufgaben und effizientere Abläufe fehlen.

In den CAD-Stücklisten werden in den Zeichnungen die Artikel mit Positionsnummern in mechanische, elektrische und hydraulische Artikel klassifiziert. Durch die Pos.Nr.-Kreise wird die Datenhoheit sichergestellt und mehrmaliges Bestellen unterbunden (Einkauf).

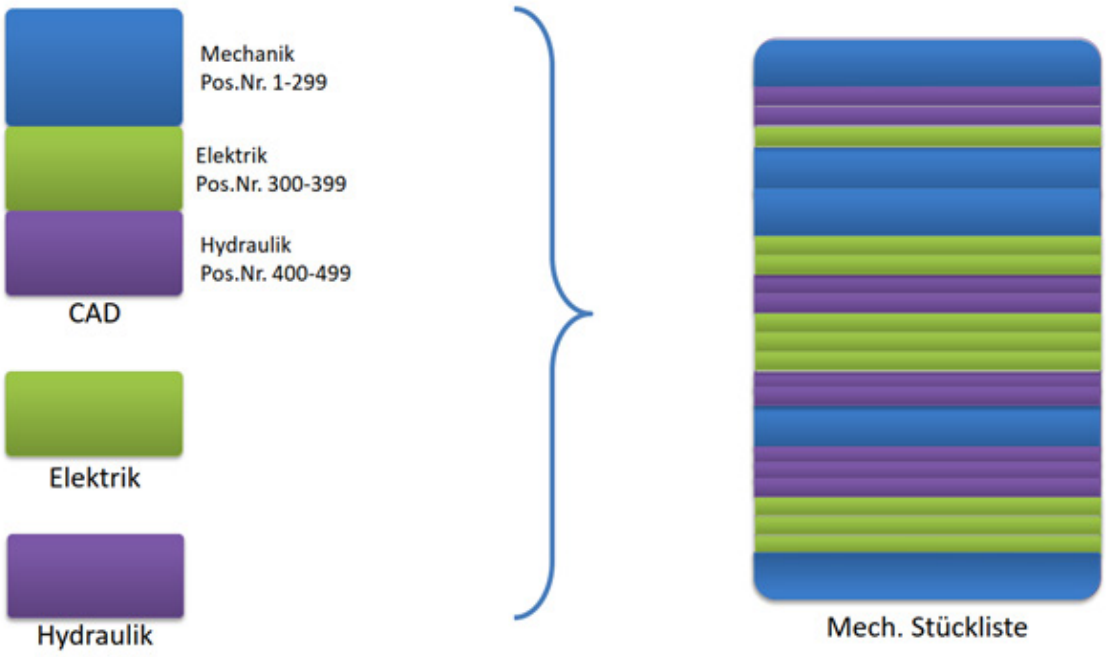


Abbildung 6: Artikel Klassifizierung auf Zeichnung

Vorteile

Die Einführung eines durchgängigen, automatisierten Daten- und Prozessmanagements bietet erhebliche Mehrwerte für Konstruktion, Elektroplanung und nachgelagerte Unternehmensbereiche. Durch die zentrale Verwaltung und Verarbeitung der Informationen werden Abläufe nicht nur beschleunigt, sondern auch qualitativ verbessert. Insbesondere beim Umgang mit komplexen Stücklisten, häufigen Änderungen und zahlreichen Schnittstellen entstehen entscheidende Vorteile, die den gesamten Entwicklungs- und Fertigungsprozess unterstützen und nachhaltig optimieren:

- **Fehlerreduktion:** Automatisierte Abläufe minimieren manuelle Eingabefehler und sorgen für konsistente Daten.
- **Produktivitätssteigerung:** Routineaufgaben können automatisiert ausgeführt werden, wodurch Zeit gespart wird und Kapazitäten für wertschöpfende Tätigkeiten frei werden.
- **Struktur und Übersicht:** Einheitliche Klassifikationen und standardisierte Datenablagen machen Informationen leichter auffindbar und nachvollziehbar.
- **Systemintegration:** Vernetzte Systeme ermöglichen konsistente Datenübertragung zwischen Abteilungen oder Softwarelösungen und verbessern die Automatisierung der Engineeringprozesse.

Nachteile

Trotz der deutlichen Vorteile bringt die Einführung eines automatisierten und systemübergreifenden Daten- und Prozessmanagements auch Herausforderungen mit sich. Durch die Integration von PDM, CAD und E-CAD steigt die technische Komplexität, was eine hohe Systemstabilität sowie verlässliche Schnittstellen voraussetzt. Zudem erfordert die Einführung eines solchen Systems Investitionen in Software, Anpassungen und Projektaufwände sowie Schulungen, damit alle Anwender die neuen Abläufe korrekt anwenden können. Auch verändert sich die tägliche Arbeitsweise – etablierte manuelle Routinen werden abgelöst, was insbesondere zu Beginn zu Vorbehalten und Akzeptanzproblemen bei den Anwendern führen kann.

Ein weiterer Nachteil ergibt sich aus der vereinfachten Logik des eingesetzten Matching-Algorithmus. In vielen Fällen werden beim Abgleich von CAD- und E-CAD-Stücklisten lediglich Stückzahlsummen überprüft. Dadurch erfolgt die Kontrolle nur auf oberflächlicher Ebene; tiefere strukturelle Unterschiede wie abweichende Funktionszuordnungen, Einbauorte oder Baugruppenstrukturen bleiben unberücksichtigt. Zum Beispiel kann eine elektrische Komponente in mehreren mechanischen Baugruppen eingesetzt sein oder eine Änderung an einer mechanischen Baugruppe dazu führen, dass die zugehörigen ECAD-Artikel manuell angepasst werden müssen. Automatisierungen stehen damit nur eingeschränkt zur Verfügung, und viele Prüfschritte sowie Korrekturen müssen weiterhin manuell durchgeführt werden. Dies reduziert den tatsächlichen Automatisierungsgrad und macht die Prozesssicherheit weiterhin stark von der Erfahrung der Anwender abhängig.

Zudem setzt ein hoher Grad an Automatisierung auch eine konsequent gepflegte Datenbasis voraus. Unvollständige oder fehlerhafte Stammdaten wirken sich unmittelbar auf die Ergebnisqualität aus. Praktische Beispiele hierfür sind falsch klassifizierte Bauteile, fehlende Ersatzteile in der Stückliste oder nicht zugeordnete Funktionsgruppen, die zu Inkonsistenzen zwischen MCAD und ECAD führen können. Solche Fälle erzeugen zusätzlichen Kontrollaufwand und verzögern die Freigabeprozesse. Insgesamt zeigen

diese Herausforderungen, dass neben der technischen Umsetzung auch Datenqualität, Schulung und Prozessreife entscheidend für den Erfolg eines mechatronischen PDM-Prozesses sind.

Herausforderungen

Die Erstellung einer mechatronischen Stückliste ist besonders anspruchsvoll, da mechanische, elektrische und mechatronische Komponenten, Software und IT-Hardware aus unterschiedlichen Systemen stammen und unterschiedliche Denkweisen erfordern. Zentrale Schwierigkeiten sind:

- **Heterogene Datenquellen:** Mechanische (MCAD) und elektronische (ECAD) Komponenten stammen aus unterschiedlichen Systemen, die oft nicht nahtlos integriert sind.
- **Komplexe Abhängigkeiten:** Änderungen an einem Bauteil können Auswirkungen auf mehrere andere Teile haben, was die Konsistenz der Stückliste erschwert.
- **Zuordnung MCAD-BOM zu ECAD-BOM:** Die Verbindung der mechanischen Stückliste mit der elektrischen Stückliste ist komplex, da unterschiedliche Strukturen, Nomenklaturen und Bauteilreferenzen existieren.
- **Unterschiedliche Denkweisen bei Strukturierung:** MCAD-Stücklisten orientieren sich häufig an Baugruppen und Unterbaugruppen, während ECAD-BOMs stärker funktional bzw. nach Anlagenabschnitten und Einbauorten strukturiert sind – ein direkter Abgleich ist oft schwierig.
- **Variantenmanagement:** Mechatronische Produkte bestehen oft aus unterschiedlichen Varianten und Optionen, die konsistent abgebildet werden müssen.
- **Versionierung und Nachverfolgbarkeit:** Jede Änderung muss nachvollziehbar dokumentiert werden, da veraltete Informationen sofort zu Fehlern führen können.
- **Standardisierung und Klassifikation:** Unterschiedliche Bezeichnungen, Bauteilkategorien und Klassifizierungen erschweren die Zusammenführung und Automatisierung der Stückliste.

Diese Faktoren machen deutlich, dass die Erstellung einer konsistenten, mechatronischen Stückliste ohne durchdachte Prozesse, geeignete Tools und klare Zuordnungen sehr aufwändig und fehleranfällig ist.

Rollen und Einflussfaktoren

Die erfolgreiche Umsetzung einer mechatronischen Stückliste wird nicht nur durch technische Systeme bestimmt, sondern in hohem Maß durch die beteiligten Rollen und ihre unterschiedlichen Perspektiven. Konstruktion, Elektroplanung und Einkauf verfolgen jeweils eigene Arbeitsweisen, Prioritäten und Zielsetzungen, die den Prozess wesentlich beeinflussen.

- **Abhängigkeit von Prozessanforderungen:** Alle Rollen müssen gleichzeitig die spezifischen Anforderungen des Produkts bzw. Prozesses berücksichtigen – z. B. Umgebungstemperaturen, Oberflächenbeschaffenheit, Mindestabstände, Toleranzen, Genauigkeit und Reproduzierbarkeit. Diese Vorgaben beeinflussen die Planung und Konstruktion direkt und können die Umsetzung der Stückliste erschweren, wenn sie komplex oder kritisch sind. Die Auswahl des Artikels kann projektabhängig sein, obwohl damit exakt dasselbe Problem gelöst werden soll.
- **Unterschiedliche Denkweisen:** Die beteiligten Rollen bringen unterschiedliche Herangehensweisen, Prioritäten und Sichtweisen in den Prozess ein. Diese Unterschiede beeinflussen, wie Informationen strukturiert, bewertet und umgesetzt werden, und müssen bei der Zusammenarbeit berücksichtigt werden, um reibungslose Abläufe zu gewährleisten.
- **Perspektive des Einkaufs:** Der Einkauf

arbeitet stärker auf der beschaffungsorientierten Ebene. Für ihn stehen Verfügbarkeit, Preise, Lieferzeiten und Rahmenbedingungen im Vordergrund, während technische Details eine geringere Rolle spielen. Wenn technische Anforderungen nicht eindeutig übermittelt werden, können Fehlbestellungen, ungeeignete Komponenten oder Verzögerungen entstehen. Eine klar strukturierte Übergabe von Informationen und ein enger Austausch mit den technischen Rollen sind daher unverzichtbar.

- **Kommunikation und Abstimmung:** Änderungen auf einer Seite – beispielsweise in der mechanischen Konstruktion – können weitreichende Auswirkungen auf die Elektroplanung haben, und umgekehrt. Regelmäßige Abstimmungen sind daher unerlässlich, um Konflikte zu vermeiden, Auswirkungen frühzeitig zu erkennen und die Stücklisten konsistent zu halten.

Sonderfälle und ihre Auswirkungen auf das System

Einige Sonderfälle innerhalb der mechatronischen Stückliste erfordern besondere Aufmerksamkeit, da sie die Systemstruktur und die Datenpflege stark prägen. Typische Herausforderungen sind:

- **Wiederverwendung von Verknüpfungen:** Bereits bestehende Zuordnungen zwischen Artikeln, Baugruppen oder Systemen sollen mehrfach genutzt werden, ohne Inkonsistenzen zu erzeugen.
- **Funktion / Einbauort vs. Baugruppenpfad:** Ein Bauteil kann an mehreren Einbauorten oder in verschiedenen Funktionen auftauchen, während der physische Baugruppenpfad nur einmal existiert – dies erschwert die eindeutige Zuordnung.
- **Verknüpfung von mehreren ECAD-Elementen (n-EP) auf eine Baugruppe:** Mehrere elektrische Komponenten können einer mechanischen Baugruppe zugeordnet sein, was die Synchronisation zwischen MCAD- und ECAD-Daten komplex macht.
- **Änderungen:** Änderungen an einzelnen Bauteilen oder Baugruppen haben weitreichende Auswirkungen auf andere Komponenten, Verknüpfungen und Stücklistenstrukturen.
- **Weitere Sonderfälle:** Variantenmanagement, hybride Komponenten (elektrohydraulisch), unterschiedliche Versionen oder parallele Projekte können zusätzliche Komplexität erzeugen.

Diese Sonderfälle zeigen, dass das System flexibel und robust sein muss, um die Daten konsistent zu halten und gleichzeitig die Wiederverwendbarkeit und Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten.

Ziel

Die mechatronische Stückliste stellt nur einen Teil eines größeren Gesamtprozesses dar. Ziel ist es, eine geeignete Infrastruktur für die benötigten digitalen Daten und Datenflüsse („Digital Thread“) entlang des gesamten Wertschöpfungsnetzwerks zu etablieren, der von den Kundenanforderungen bis zur fertigen Lösung reicht.

Im Rahmen des Requirements Engineering werden die Anforderungen des Kunden systematisch erfasst, analysiert und aufbereitet. Diese Anforderungen müssen anschließend in Form eines Projekts oder Auftrags in das Unternehmen eingetaktet werden, sodass sie disziplinenübergreifend umgesetzt werden können. Idealerweise erfolgt dies auf Basis von MBSE-Modellen (Model-Based Systems Engineering), die als zentrale Referenzen dienen und die Verknüpfung zwischen Anforderungen, Systemarchitektur und realer Umsetzung ermöglichen.

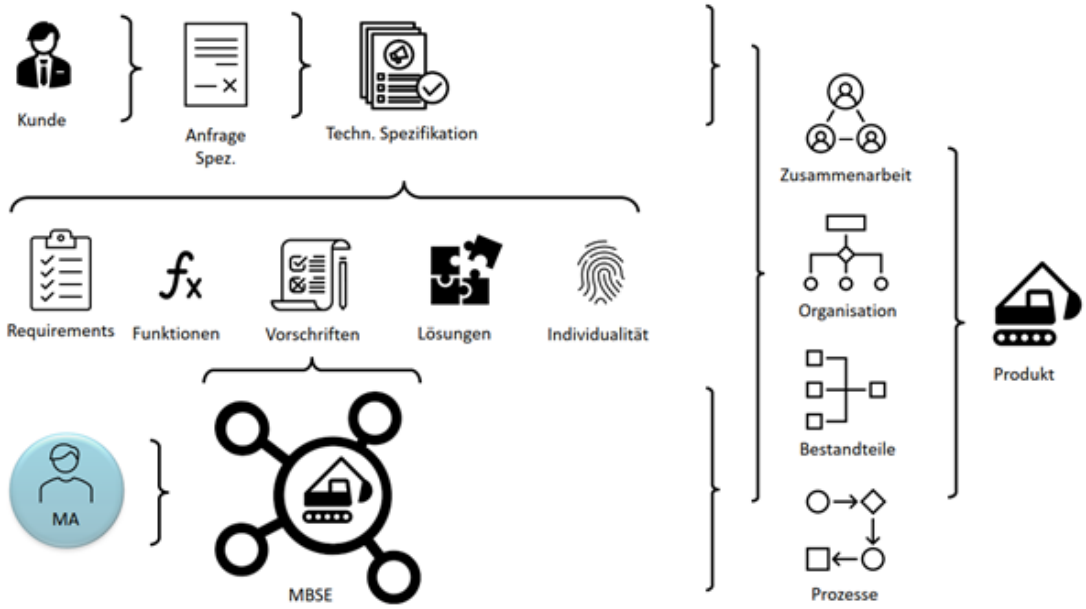


Abbildung 7: Zielleitbild der Firma BRAUN

Die mechatronische Stückliste fungiert dabei als konkretes, nachvollziehbares Ergebnis des Requirements Engineerings. Sie bildet ab, welche mechanischen, elektrischen und mechatronischen Komponenten benötigt werden, um die geforderten Funktionen und Spezifikationen des Kunden zu erfüllen. Durch diese Integration wird sichergestellt, dass die Umsetzung nicht nur die technischen Vorgaben abbildet, sondern auch die durchgängige Nachverfolgbarkeit von Anforderungen bis zum fertigen Produkt gewährleistet ist.

Darüber hinaus werden die Anforderungen des Kunden nicht isoliert betrachtet, sondern durch Standards, Normen, gesetzliche Vorschriften, technische Machbarkeit und wirtschaftliche Aspekte geprägt. Diese Rahmenbedingungen stellen sicher, dass die Umsetzung nicht nur funktional korrekt, sondern auch regelkonform, umsetzbar und kostenbewusst erfolgt. Die mechatronische Stückliste bildet in diesem Zusammenhang das konkrete Bindeglied zwischen den abstrakten Vorgaben und der realen Produktstruktur.

Ein weiterer zentraler Bestandteil der Vision ist die Stärkung der Kommunikation zwischen den Abteilungen. Nur wenn Informationsflüsse, organisatorische Abläufe und die Zusammenarbeit über Disziplinen hinweg klar definiert und transparent gestaltet sind, können Projekte effizient umgesetzt werden. Die mechatronische Stückliste unterstützt diesen Aspekt, indem sie als gemeinsame Datenbasis dient, auf der Konstruktion, Elektroplanung, Automatisierung, Fertigung und Einkauf aufeinander abgestimmt arbeiten können.

Die mechatronische Stückliste eröffnet auch wichtige Vorteile für den Customer Service. Wartung, Ersatzteilmanagement und Serviceprozesse werden erleichtert, da sämtliche Informationen zu Bauteilen, Baugruppen und deren Zusammenhängen zentral hinter-

legt und leicht nachvollziehbar sind. Auf dieser Grundlage lassen sich Serviceleistungen effizienter, schneller und fehlerfreier durchführen.

Die Vision ist damit ein integrierter, transparenter Entwicklungsprozess, bei dem alle Disziplinen von den Anforderungen über die Konstruktion bis zur Fertigung entlang eines durchgängigen Daten- und Informationsflusses vernetzt sind. Die mechatronische Stückliste ist dabei ein zentrales Bindeglied, das als Schnittstelle zwischen digitalen Modellen, Konstruktion und operativer Umsetzung dient.

Umsetzung

Die Umsetzung einer mechatronischen Stückliste beginnt mit der klaren Klassifizierung aller Artikel, um eine strukturierte und nachvollziehbare Datenbasis zu schaffen. Grundsätzlich werden die Komponenten in drei Kategorien unterteilt: mechanisch, elektrisch und mechatronisch-elektrisch, wobei letztere Artikel sowohl elektrische als auch mechanische Eigenschaften aufweisen und in beiden Disziplinen berücksichtigt werden müssen. Diese Klassifizierung erleichtert die nachfolgende Zusammenführung der Stücklisten, die Validierung von Daten und die automatische Verarbeitung im PDM-System.

Es ist bewusst, dass bestimmte Bereiche, wie pneumatische und hydraulische Komponenten, in dieser Phase noch nicht in die mechatronische Klassifizierung einbezogen werden. Diese Systeme weisen eigene physikalische und funktionale Besonderheiten auf, die einen gesonderten Umgang erfordern. Die aktuelle Umsetzung konzentriert sich daher zunächst auf die Kernbereiche Mechanik und Elektrik, um einen stabilen, konsistenten Datenfluss sicherzustellen, bevor die Integration weiterer Technologien erfolgt.

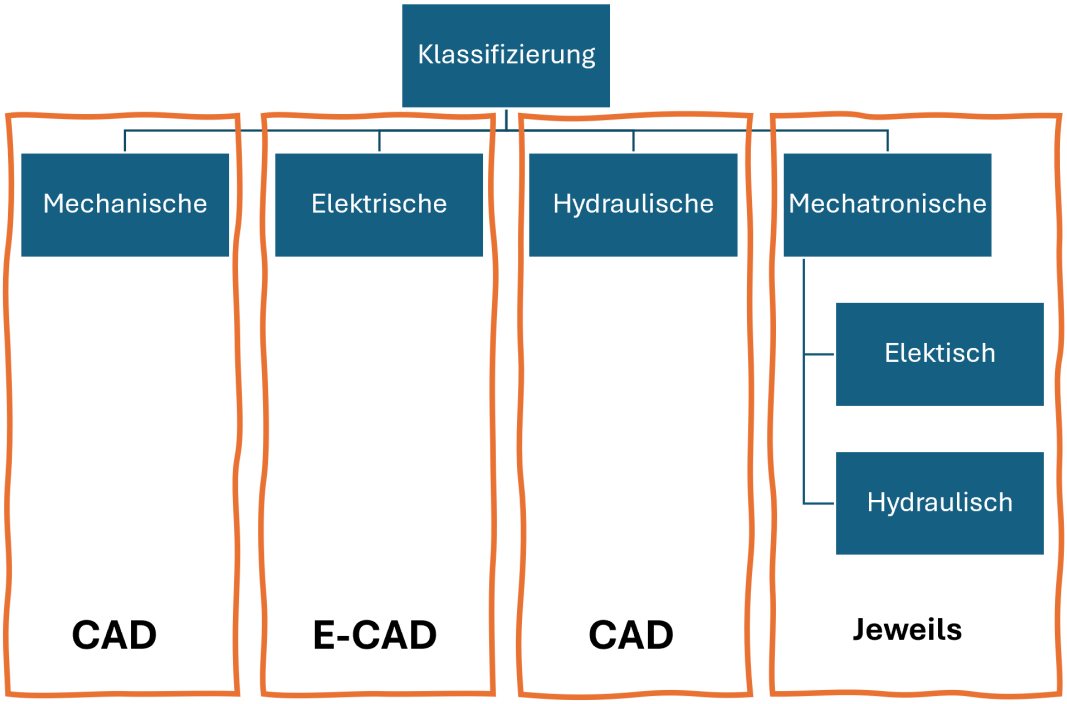


Abbildung 8: Klassifizierung der Artikel

Auf Basis dieser Klassifizierung werden die Daten sowohl aus E-CAD- als auch aus CAD-Systemen in das PDM-System eingespielt und anschließend zusammengeführt. Die Klassifizierung bildet dabei die Grundlage für das Matching der Artikel, die Konsistenzprüfung und die automatische Plausibilitätskontrolle. Sie sorgt dafür, dass Änderungen, Ergänzungen und Sonderfälle nachvollziehbar bleiben und die Stückliste als verbindliches Ergebnis des Requirements Engineering genutzt werden kann.

ECAD

Zunächst wird eine Verbindung zwischen dem E-CAD-System und dem PDM-System hergestellt, um einen direkten Datenaustausch zu ermöglichen. Danach werden die rein elektrischen Stücklisten aus dem E-CAD-System automatisch in das PDM-System eingecheckt. Dabei werden Metadaten wie Artikelnummern, Funktionen, Einbauorte und Klassifikationen übernommen, sodass die Daten versioniert, revisionssicher und zentral verfügbar sind.

Im PDM-System können die eingelesenen Artikel anschließend überprüft und eingesehen werden. Optional besteht die Möglichkeit, die Stücklisten, um nicht im E-CAD-System erfasste Artikel zu ergänzen, beispielsweise um Ersatzteile oder zusätzliche Bauteile für sonstige Sonderfälle.

CAD

Auch die im CAD-System erstellten Modelle werden ins PDM-System eingecheckt, einschließlich der zugehörigen Stücklisten. Alle relevanten Metadaten, wie Artikelnummern, Baugruppenstruktur und Klassifikationen, werden übernommen und revisionssicher abgelegt. Im Anschluss stehen die Artikel zur Einsicht und Prüfung bereit und können bei Bedarf um Bauteile ergänzt werden, die nicht im CAD-System erfasst wurden. Durch automatisierte Prüfungen und Validierungen stellt das PDM-System sicher, dass die Daten konsistent bleiben und Änderungen jederzeit nachvollziehbar dokumentiert werden.

Zusammenführung von ECAD- und CAD-Stücklisten

Nachdem die Stücklisten aus E-CAD- und CAD-System im PDM-System verfügbar sind, werden sie zu einer konsolidierten mechatronischen Stückliste zusammengeführt. Der Prozess erfolgt algorithmisch und in mehreren Schritten, um Konsistenz, Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit sicherzustellen. Zunächst werden gleichnamige Baugruppen aus beiden Disziplinen miteinander verknüpft. Durch diesen Abgleich lässt sich feststellen, welche Daten synchronisiert werden können. Anschließend erfolgt ein Matching der einzelnen Artikel innerhalb dieser Baugruppen, das unter anderem auf der mechatronischen Klassifizierung der Komponenten basiert. Diese Klassifizierung ermöglicht es, fehlende Artikel frühzeitig zu erkennen und zu markieren. Bei jedem Artikel-Match wird zudem überprüft, ob die Stückzahl übereinstimmt, um Inkonsistenzen zu vermeiden.

- **Konfliktbehebung:** Während des Zusammenführens können Konflikte auftreten, wie doppelte Einträge, abweichende Stückzahlen oder unterschiedliche Versionen desselben Artikels. Die PDM-Integration erkennt solche Konflikte automatisch und kennzeichnet sie für die Überprüfung. Der Benutzer entscheidet anschließend, welche Version gültig ist, sodass die konsolidierte mechatronische Stückliste jederzeit vollständig und konsistent bleibt. Alle Änderungen und Konfliktbehebungen werden dokumentiert, wodurch die Nachverfolgbarkeit und Transparenz gewährleistet werden.
- **Sonderfälle:** Zusätzlich müssen besonde-

re Szenarien berücksichtigt werden, die die Struktur der Stückliste maßgeblich beeinflussen. Dazu zählen beispielsweise mehrere elektrische Komponenten, die einer mechanischen Baugruppe zugeordnet werden müssen. Auch Komponenten mit abweichenden Einbauorten, Funktionen oder mehrfachen Verwendungszwecken innerhalb des Produkts fallen unter diese Kategorie. Die PDM-Integration validiert diese Sonderfälle systematisch und überträgt sie korrekt in die Gesamtstückliste. Automatisierte Prüfungen und Verknüpfungsregeln sorgen dafür, dass auch in komplexen Projekten die mechatronische Stückliste erstellt werden kann.

3.3. Datenmodelle und Datendurchgängigkeit – ENGEL AUSTRIA

Autorin: DI Dr. Ruth Markut-Kohl, ENGEL AUSTRIA GmbH

Maschinen- und Anlagen setzen sich typischerweise aus tausenden Bauteilen und Komponenten zusammen. Ein wesentlicher Anteil daraus stammt von globalen Lieferanten, die oft wiederum globale Liefernetzwerke nutzen. Die über Jahrzehnte etablierten Abläufe im Umgang mit „Zukaufteilen“ werden durch die zunehmende Dynamik der Liefernetzwerke stark gefordert. Immer häufiger sind schnelle Entscheidungen für alternative Lösungen erforderlich. Die Gründe sind hier vielfältig und reichen von Qualitätsproblemen, Lieferproblemen (siehe Corona-Pandemie), Beschränkungen von Inhaltsstoffen, Zöllen, fehlender Einhaltung neuer Standards, bis hin zu kostengünstigeren Produkten von neuen Herstellern am Markt. Es wird daher immer wichtiger, dass Anforderungen bereits an einzelne Bauteile und Komponenten klar formuliert sind. Diese Spezifikationen müssen einerseits über den gesamten Produktentstehungsprozess, aber auch darüber hinaus für Service-Einsätze widerspruchsfrei zur Verfügung stehen. Die tatsächlich gelieferten und verbauten Zukaufteile müssen natürlich die geforderten Spezifikationen erfüllen, es kann aber durchaus sein, dass gewisse Kriterien übererfüllt werden bzw. dass gelieferte Zukaufteile bessere Eigenschaften aufweisen als ursprünglich von der Produktentwicklung gefordert wurde. Dadurch können Zukaufteile auch andere Spezifikationen erfüllen bzw. in anderen Situationen zum Einsatz kommen. Eine Wiederverwendung von erprobten Lösungen bringt Vorteile über den gesamten Produktlebenszyklus - von Skaleneffekten im Einkauf bis zu geringeren Test-, Schulungs-, Programmier-, Dokumentationsaufwänden und Lagerkosten. Das Abbilden derartiger Zusammenhänge in Datenmodellen ist sehr herausfordernd - insbesondere dann, wenn die oben beschriebene Komplexität der Supply Chain berücksichtigt werden muss.

Anforderungen zur Erweiterung bestehender Datenmodelle

- **Durchgängige Transparenz über Entstehung, Pflege und Nutzung von Daten:** Datenmodelle müssen abbilden, wo Stammdaten z.B. für Eigenfertigungsteile entstehen, wie sie über Bereiche hinweg genutzt werden und welche Abhängigkeiten zwischen Entwicklung, Engineering, Einkauf, Produktion, Logistik, Qualität & Compliance und Retrofit bestehen. Nur so kann eine konsistente Datenbasis über den gesamten Produktlebenszyklus sichergestellt werden.
- **Klare Definition relevanter Stammdaten für die Zukunft:** Nicht die Menge, sondern die Relevanz der Daten steht im Fokus. Datenmodelle müssen eindeutig fest-

legen, welche Attribute künftig benötigt werden, welche automatisiert aus anderen Systemen abgeleitet werden können und welche bewusst manuell gepflegt werden müssen.

- **Verankerung von Verantwortung und Data Governance im Datenmodell:** Jeder Datensatz benötigt eine klar zugeordnete fachliche Verantwortung. Datensätze und -modelle müssen Governance-Prinzipien unterstützen und gleichzeitig Transparenz darüber schaffen, welche Auswirkungen Dateneingaben – etwa in der Konstruktion – auf nachgelagerte Prozesse, Kosten, Qualität und Nachhaltigkeit haben.
- **Datenqualität als integraler Bestandteil der Modellierung:** Datenmodelle dürfen Datenqualität nicht dem Zufall überlassen, sondern müssen sie systematisch absichern. Dazu gehören prüfbare Attribute, definierte Pflichtfelder sowie unterstützende Prüfmechanismen, beispielsweise für 3D-Modelle oder attributbasierte Vollständigkeits- und Plausibilitätschecks.
- **Systemübergreifende, skalierbare Umsetzbarkeit:** Moderne Datenmodelle müssen systemneutral entworfen sein und sowohl PLM- als auch ERP-Systeme inklusive deren Schnittstellen berücksichtigen. Sie bilden die fachliche Grundlage für Lastenhefte und IT-Umsetzungen und müssen langfristig erweiterbar und wartbar bleiben.
- **Abbildung von aggregierten Informationen auf Stücklistenebene:** Datenmodelle müssen in der Lage sein, Werte wie Gewicht, CO_2-Emissionen oder andere Umweltfaktoren über Stücklisten hinweg konsistent zu summieren. Dabei sind unterschiedliche Ermittlungsmethoden sowie Sonderfälle – etwa Rohteile als eigenständige Stücklistenobjekte – sauber zu berücksichtigen.
- **Praxisnahe Validierung durch Pilotanwendungen:** Theoretisch saubere Datenmodelle müssen sich in realen Anwendungsfällen bewähren. Piloten, etwa zur systemübergreifenden Übertragung von Bauteilgewichten zwischen CAD-, PLM- und ERP-System, dienen als entscheidender Realitätscheck und schaffen die Basis für Skalierung, Standardisierung und messbaren Nutzen.

Um Aufwände bei der Entwicklung geeigneter Datenmodelle und auch die Pflegeaufwände der Daten zu minimieren, können globale Standards hilfreich sein. Die Orientierung an etablierten Standards schafft auch die Voraussetzung für Vergleichbarkeit und Systemintegration. Im Folgenden werden exemplarisch mehrere Ansätze beschrieben:

Standardisierte Form eines digitalen Zwillings

Digitale Zwillinge stellen eine digitale Repräsentation eines physikalischen Assets dar. Dabei kann jedoch ein digitaler Zwilling nie alle Aspekte eines Assets wiedergeben. Eine Form eines digitalen Zwillings, konzipiert und standardisiert für die industrielle Anwendung, ist die „Verwaltungsschale“ (VWS) oder „Asset Administration Shell“ (AAS) - sie hat breite Akzeptanz durch die Standardisierungsaktivitäten der Industrial Digital Twin Association e. V. (IDTA) [IDTA – Der Standard für den Digitalen Zwilling - Startseite] entwickelt und ist als offener Standard frei verfügbar. Die AAS ist ein Datensatz, bestehend aus eindeutig kontextualisierten Datenpunkten und Metadaten. Je nach Use Case, für den die AAS genutzt wird, stehen standardisierte Submodelle zur Verfügung, die ein für den Anwendungsfall typisches Datenmodell darstellen (z.B: Digital Nameplate) [Teilmodelle - Industrial Digital Twin Association e. V., 18.12.2025]. Die Submodell-Templates können dabei frei erweitert werden, um branchen- oder unternehmens-

spezifische Anforderungen abzudecken. Die AAS fungiert als eine Art „Zwischen-Layer", in dem die Daten der heterogenen Systemlandschaft semantisch einheitlich (unter Verwendung von ECLASS und/oder IEC CDD – siehe weiter unten) aggregiert werden. So stehen Daten und zugehörige Metadaten eindeutig und maschinenlesbar anderen Systemen und Daten-Services zur Verfügung.

Die AAS ist in der einfachsten Ausführung - Typ 1, statische AAS - ein Datensatz, der mit Meta-Daten angereichert ist. Daneben ist die AAS Typ 2 – dynamische AAS - spezifiziert: dynamischer Datenaustausch via APIs ist möglich, Echtzeitdaten (z.B. zum Energieverbrauch, ...) können abgerufen werden. Die Spezifikation der AAS Typ 3 – proaktive AAS - ist seit Oktober 2025 veröffentlicht [Specification of Asset Administration Sell: Part 1: Metamodel IDTA; Number: 01001, Version 3.1.2, Oktober 2025, S. 14]: Steuerung und Überwachung von Assets durch direkte Kommunikation der AASs untereinander werden dadurch möglich.

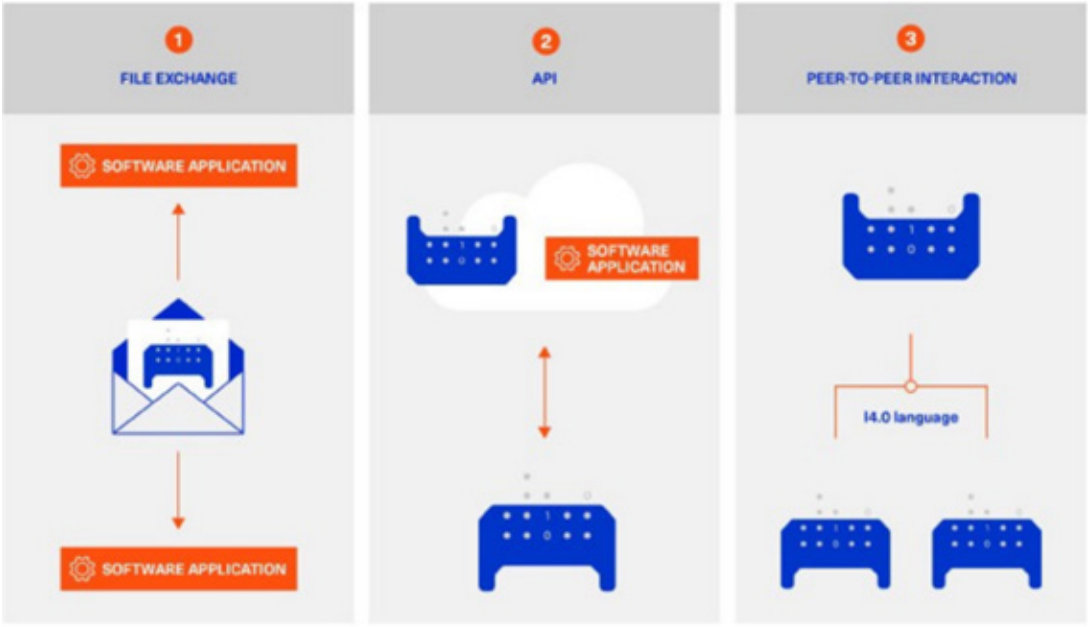


Figure 2. Types of Information Exchange via Asset Administration Shells

Abbildung 9: Specification of Asset Administration Sell: Part 1: Metamodel IDTA; Number: 01001, Version 3.1.2, Oktober 2025, S. 14

Das Konzept der AAS bietet die Möglichkeit, als Digitaler Zwilling eines Assets Daten über den gesamten Produkt-Lebenszyklus aufzunehmen: in der Produktentwicklung wird die AAS als Beschreibung der Type eines Assets genutzt. Für konkrete Ausführung im Produkt bzw. in weiteren Lebensphasen des Produkts werden Instanzen dieser AAS generiert bzw. genutzt. Damit erfüllt die AAS die in Kap. 1 beschriebene, grundlegende Anforderung nach Instanzierbarkeit.

Datenbeschreibung und Klassifizierung nach ECLASS, IEC CDD und/oder UNSPSC

Für eine einheitliche, eindeutige und maschinenlesbare Definition von Begriffen, die

zur Beschreibung von Attributen und Meta-Daten genutzt werden, haben sich Datenwörterbücher etabliert. Sie stellen einen Datenstandard dar, der eine Klassifizierung und eindeutige Beschreibung von Produkten und Dienstleistungen ermöglicht. Non-kommerziell ist IEC CDD (Common Data Dictionary), basierend auf IEC 61360, verfügbar - ein von der IEC betriebenes System, das ein gemeinsames Repository mit Datenwörterbüchern für alle ISO- und IEC-bezogenen Industriezweige enthält. [Common Data Dictionary – CDD – TC 3, 18.12.225]. Vor allem im amerikanischen Raum genutzt, ist United Nations Standard Products and Services Code (UNSPSC) als ein offener, kostenloser Standard, verwaltet von den UN. Als kommerzielle Variante bekommt ECLASS stetig größere Verbreitung.

Einheitliche Wörterbücher und Klassifizierungssysteme sind essenziell für einen strukturierten und effizienten Datenaustausch sowohl innerhalb eines Unternehmens als auch über Unternehmensgrenzen hinweg. Sie gewährleisten, dass Daten eindeutig beschrieben und klassifiziert werden, sodass alle Akteure in Wertschöpfungsnetzwerken auf ein gemeinsames Begriffsverständnis zurückgreifen können. Dies bildet die Basis für eine nahtlose Integration und Interoperabilität zwischen unterschiedlichen IT-Systemen und Unternehmen. Die Verwendung klar definierter Begriffe nach etablierten Standards findet zunehmend Eingang in offene und kommerzielle Datenmodelle wie die Asset Administration Shell (AAS) sowie in PLM- und ERP-Systeme. Dadurch wird die Interoperabilität maßgeblich verbessert und eine konsistente Integration beispielsweise von Produktionsprozessen ermöglicht. Eine solche durchgängige und qualitativ hochwertige Datenbasis ist von zentraler Bedeutung, um den gesamten Produktlebenszyklus effektiv abzubilden und innovative Methoden wie Data Analytics und KI gezielt für branchenspezifische Fragestellungen einsetzen zu können.

Bauteil-Bibliotheken können als Sammlungen von Daten inkl. 3D-Daten, Metadaten und digitalen Zwillingen entweder unternehmensintern oder unternehmensübergreifend entstehen. Am Markt ist eine Weiterentwicklung von kommerziellen Normteil- und Kaufteil-Bibliotheken zu Plattformen (wie z.B. CADENAS) mit leistungsfähigen Modellen entlang Standards wie der AAS (also weit über 3D-Daten hinaus) erkennbar.

Austausch von Informationen im Unternehmen und über die Unternehmensgrenzen

Strukturierte, systematische Datendurchgängigkeit im Unternehmen und über Unternehmensgrenzen hinweg ist notwendig, um die Vorteile von Co-Innovation, Co-Engineering und Co-Produktion (inkl. Near- und Off-Shoring) besser nutzen zu können, aber auch um Wartungs- und Service-Dienstleistungen zu optimieren bis hin zur kommerziell erfolgreichen Realisierung von Circular Economy.

Die technische Basis ist die Nutzung von standardisierten Industrie 4.0 Bausteinen, wie z.B. AAS und ECLASS. So lassen sich flexibel die spezifischen Anforderungen der Unternehmen Maschinebau und unternehmensindividuelle Prozesse umsetzen. Gleichzeitig werden etablierte Standards genutzt. Diese ermöglichen, Kosten und Komplexität in der Entwicklung und dem Betrieb von Use Cases zu reduzieren. Dabei ist semantische Interoperabilität im Unternehmen und zwischen Unternehmen ein Schlüssel für Skalierbarkeit und Synergien. Der Mehrwert dieser Basisbausteine wächst überproportional zur Investition: Bereits mit der Einführung einiger zentraler Komponenten erhöht sich

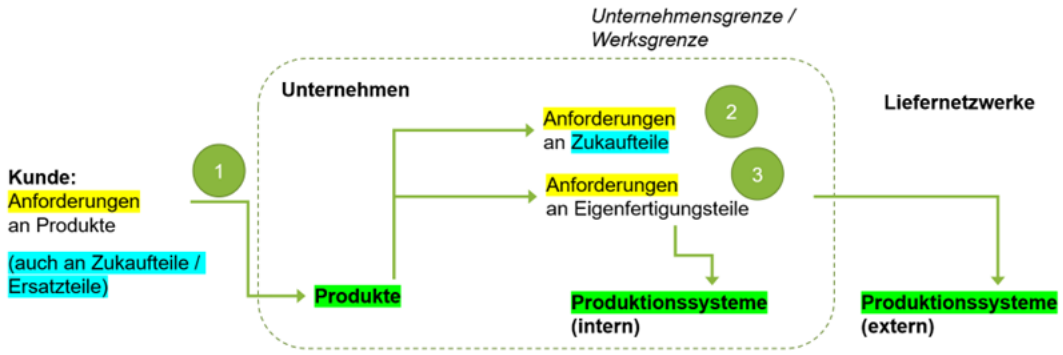


Abbildung 10: Datendurchgängigkeit innerhalb und außerhalb des Unternehmens: (1) Kunde stellt Anforderungen an Produkte (z.B. Einzelkomponenten), daraus entstehen Anforderungen, die an Lieferanten weitergegeben (2) bzw. in der Eigenfertigung (3) z.B. bei der Wahl der Produktionssysteme berücksichtigt werden müssen.

der Nutzen für das Unternehmen signifikant stärker als die hierfür entstehenden Entwicklungskosten. Je mehr Unternehmen diese I4.0 Bausteine nutzen, desto höher der Mehrwert, der durch Datenaustausch zwischen Unternehmen entsteht. Ein wichtiger Aspekt bei der Sicherstellung der Interoperabilität ist die gleichzeitige Wahrung des geistigen Eigentums (IP) und von Alleinstellungsmerkmalen.

Data Governance als notwendige Basis

Um den Wert von Daten im Unternehmen systematisch zu erfassen und zu nutzen, empfiehlt es sich, Daten als strategisches Asset zu betrachten. Dies bedeutet, dass Daten – ähnlich wie physische Produkte – eindeutig beschrieben, mit Metadaten versehen und als eigenständiges Datenprodukt definiert werden. Eine klare Strukturierung und Kategorisierung der Daten ermöglicht es, deren Nutzen für unterschiedliche Anwendungen zu bewerten und gezielt weiterzuentwickeln.

Die wirtschaftliche Bedeutung von Daten wird besonders deutlich, wenn man betrachtet, was ohne qualitativ hochwertige und strukturierte Daten nicht möglich wäre: Schlechte Datenqualität kann dazu führen, dass moderne Methoden wie Data Analytics oder KI-Technologien nicht oder nur eingeschränkt einsetzbar sind. Dies verursacht nicht nur direkte Kosten, sondern verhindert auch Innovationen und Prozessoptimierungen. Fehlende oder fehlerhafte Daten können beispielsweise dazu führen, dass wichtige Zusammenhänge unentdeckt bleiben oder falsche Entscheidungen getroffen werden.
Im Gegensatz dazu eröffnen gut gepflegte und qualitativ hochwertige Daten zahlreiche Innovationspotenziale. Sie bilden die Grundlage für handlungsleitende Erkenntnisse, ermöglichen automatisierte Analysen, unterstützen die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle und tragen dazu bei, Prozesse effizienter und ressourcenschonender zu gestalten. Unternehmen, die in Datenqualität investieren, profitieren von einer höheren Transparenz, besseren Entscheidungsgrundlagen und einer stärkeren Wettbewerbsfähigkeit.

Für eine ganzheitliche Bewertung sollten zudem Chancen, Resilienzen und Risiken im Zusammenhang mit Daten und Datenaustausch systematisch abgeschätzt werden. Zu berücksichtigen sind dabei beispielsweise Compliance-Anforderungen, wie sie etwa durch Nachhaltigkeitsrichtlinien, Datenschutzbe-

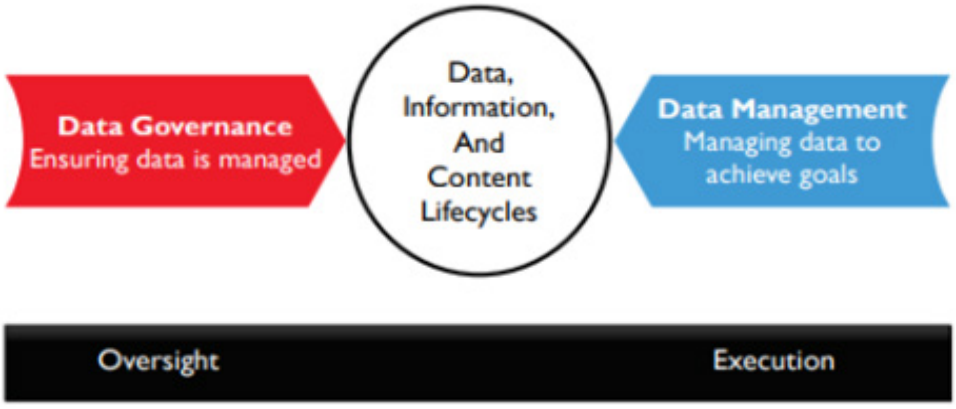


Abbildung 11: Date Governance and Data Management, DAMA-DMBOK, Deborah Henderson et al. (editors), 2024 DAMA International, p. 74]

stimmungen oder branchenspezifische Regularien vorgegeben werden. Ein strukturierter Ansatz zur Bewertung dieser Aspekte hilft, Risiken zu minimieren, Chancen frühzeitig zu erkennen und die Resilienz des Unternehmens gegenüber externen Einflüssen zu stärken.

Strategische Verankerung von Data Governance

Data Governance muss eine klare, langfristige Ausrichtung vorgeben, wie Daten im Unternehmen genutzt, geschützt und weiterentwickelt werden. Sie schafft den Rahmen, innerhalb dessen Daten als strategisches Asset behandelt und gezielt zur Wertschöpfung eingesetzt werden.

Klare Grundsätze für den Umgang mit Daten - Verbindliche Richtlinien und Regeln

- Übergreifende Leitlinien definieren, wie Daten erzeugt, gepflegt, genutzt und weitergegeben werden dürfen. Diese Grundsätze bilden die verbindliche Basis für ein einheitliches Datenverständnis im gesamten Unternehmen.
- Durch klare Klassifikationen – etwa hinsichtlich Vertraulichkeit oder geschäftlicher Relevanz – entstehen einheitliche Standards, die Transparenz, Sicherheit und Priorisierung ermöglichen.
- Konkrete Vorgaben regeln die operative Datenverwaltung und stellen sicher, dass definierte Standards eingehalten werden. Diese Richtlinien sind die Grundlage für konsistente, nachvollziehbare und auditierbare Datenprozesse.

Verhinderung unkontrollierter Datennutzung und Sicherstellung der Compliance

Data Governance schützt vor unkoordiniertem Datengebrauch und stellt sicher, dass regulatorische, rechtliche und interne Vorgaben eingehalten werden.

Festgelegte Datenverantwortung und Rollenmodelle

- Rollen, Verantwortlichkeiten und Eskalationswege für Datenpflege und Datenqualität müssen eindeutig definiert sein. Nur so lassen sich nachhaltige Datenqualität und kontinuierliche Weiterentwicklung sicherstellen.
- Die Einführung und Etablierung von Data Governance erfordert eine klare Kommunikation der Ziele und Auswirkungen sowie ein aktives Change-Management. Akzeptanz und Verständnis im Unternehmen sind entscheidend für den Erfolg.

Anforderungsorientierte Datenqualität

Datenqualität ist kein absoluter Wert, sondern muss sich an der jeweiligen Nutzung orientieren. Während für bestimmte Anwendungen eine sehr hohe Genauigkeit erforderlich ist, kann für andere Anwendungsfälle eine geringere Präzision ausreichend sein. Data Governance schafft Transparenz darüber, welches Qualitätsniveau wo notwendig ist.

Data Governance – einschließlich der Steuerung von Datenmodellen und Stammdaten – bildet die Grundlage für den wirkungsvollen Einsatz datenbasierter Methoden und digitaler Modelle im Maschinenbau. Sie ermöglicht, dass Datenmodelle automatisiert und in der erforderlichen Qualität befüllt werden können, und sorgt für eine durchgängige Datenbasis, die aussagekräftige und inhaltlich valide Ergebnisse gewährleistet.

3.4. Prozessplaner – Ein Tool für die interdisziplinäre Prozessplanung – GTech Automatisierungstechnik

Autor: DI Gerald Darilion,
GTech Automatisierungstechnik

Hier wird ein prototypisches Tool vorgestellt, das die Planung komplexer Produktionsprozesse vereinfacht und die Zusammenarbeit zwischen Mechanik, Elektrotechnik und Softwareentwicklung unterstützt. Der Fokus liegt auf der Reduktion von Schnittstellen, der Erhöhung der Transparenz und der Wiederverwendbarkeit von Prozessbausteinen.

Motivation

Hinter jeder leistungsfähigen Produktionsmaschine steht ein ausgeklügelter technischer Prozess. Dieser Prozess basiert im Wesentlichen auf einem Regelkreis, der aus den Hauptkomponenten Sensorik, Signalverarbeitung, Algorithmen und Aktorik besteht. Daneben gibt es noch diverse Schnittstellen zu seiner Umwelt wie Anbindung an übergeordnete Leitsysteme, Mensch-Maschine-Schnittstelle und andere. Die Anforderungen an moderne Maschinensteuerungen hinsichtlich intelligenter, hochflexible Softwareroutinen wachsen in zunehmender Geschwindigkeit. Dies stellt Maschinenhersteller zunehmend vor die Herausforderung, die in der Maschine ablaufenden Prozesse einerseits so flexibel zu designen, dass eine Fertigung von Losgröße 1 Stück möglich ist, anderseits sollen die Kosten pro Stück so gering wie möglich sein. Letzteres geht nur über hochgradig automatisierte Lösungen, die den Produktionsprozess in viele schnell ablaufende Teilprozesse zerlegen. Um in diesem Spannungsfeld bestehen zu können, wurde der GTech Prozessplaner entwickelt.

Ausgangssituation

Für die Prozessplanung steht ein Excel-Tool zur Verfügung, in dem einzelne Prozessschritte inklusive deren Prozesszeit zeilenweise eingegeben werden können. Das Tool summiert die Zeiten auf und stellt diese in einem Balkendiagramm dar. Bei komplexeren Abläufen mit Verzweigungen sind die Eingabe und die grafische Interpretation der Balkendiagramme für den Prozesstechniker eine anspruchsvolle, geistig belastende Aufgabe. Ist der Ablauf ausreichend detailliert beschrieben, wird dieser als Planungsgrundlage in den nachgelagerten Disziplinen der mechanischen und elektrischen Konstruktion verwendet.

Aufgrund der Komplexität moderner Produktionsanlagen ist die Detailplanung in diese beiden Bereiche aufgeteilt. Da es sich bei den Prozessen in der Regel um mechatronische Lösungen (Baugruppen) handelt, ist

jedoch eine enge Abstimmung zwischen mechanischem Konstrukteur und Elektroplaner zwingend erforderlich. Es wird dazu eine sogenannte Sensor-Aktor-Liste verwendet. In dieser Liste werden konkrete Bauteile wie Sensoren, Ventilbaugruppen, Motoren, usw. mit konkreter Artikelnummer vereinbart.

Danach arbeiten die beiden Disziplinen nebeneinander in deren Expertensystemen SolidWorks (MCAD) und EPLAN (ECAD). Ergebnis sind jeweils Stücklisten. Diese beiden Stücklisten (MBOM und EBOM) werden über eine elektronische Schnittstelle an das ERP-System als Bedarf gemeldet. Im ERP-System hat der Einkauf die Aufgabe, die Teile in den beiden Stücklisten (BOM's) zu beschaffen. In der Realität ist das nicht eine BOM je Disziplin, sondern viele Teil-BOM's. Die Schwachstelle in diesem Prozess sind, dass für eine fehlerfreie Stückliste eine ständige persönliche Absprache und ein händischer Eingriff in verschiedene Dokumente nötig sind. Die Dokumente bzw. Datensätze sind nicht untereinander verknüpft und können sich dadurch auch nicht automatisch abgleichen. Ein elektronisches Revisionsmanagementsystem existiert nur in den MCAD-Baugruppen, auch nicht in den MBOM's. Revisionsregeln sind in Arbeitsanweisungen für die Mitarbeiter geregelt. Ist in der E-Planung die Spezifikation für die Elektrokomponenten fertig, geht diese Information weiter an die Steuerungsprogrammierung. In sogenannten Übergabelisten sind konkrete Variablennamen zur Definition (Benennung) im späteren Steuerungs-Sourcecode definiert.

Anforderungen

- Reduktion der unterschiedlichen Planungswerkzeuge (unterschiedliche Dokumente), um Fehlerquellen und Schnittstellen zu reduzieren.
- Unterstützung der Experten bei der Eingabe von Daten. Datenbanken und Vorlagen für das Auswählen von Produkten und Lösungen. Oft kann man auf bereits Gebautes zurückgreifen. Wiederverwendung soll erhöht werden.
- Bessere Visualisierung des Prozesses. Grafische Unterstützung beim Lesen des Prozesses.
- Automatischer Abgleich bei Änderungen in der Spezifikation des Prozesses und der darin verwendeten Komponenten.
- Frühzeitiges Erkennen von möglichen Schwachstellen im Prozess.
- Ein Tool, das von allen Experten (Mechanik, Elektrotechnik und Programmierung) verstanden und verwendet werden kann. Erhöhen des gemeinsamen Verständnisses. Den Prozess in den Mittelpunkt stellen.
- Wenn es ein Produkt am Markt gibt, welches die Anforderungen von GTech erfüllt, soll dieses verwendet werden. Es ist nicht Ziel, alles selbst zu entwickeln.
- Aus der Prozessbeschreibung soll ein Steuerungscode für die spätere Maschine generiert werden können.

Umsetzung

Anhand der Anforderungen wurde eine Marktrecherche durchgeführt, und es wurden zahlreiche Produkte unterschiedlicher Softwarehersteller getestet. Es gibt einige sehr gute Produkte, die einen Teil der Anforderungen hochgradig erfüllen. Haken an der Sache: Keines der am Markt befindlichen Produkte konnte in ausreichender Breite der Anforderungen von GTech abdecken. Aus diesem Grund wurde beschlossen, mit einem offenen System, welches durch Zusatzprogrammierung angepasst werden kann, einen Prototyp zu entwickeln. Die Entscheidung viel letzten Endes auf Microsoft 365 Excel, in dem mit Hilfe von Makros die geforderten Funktionalitäten eingebettet wurden.

Das Tool unterstützt den Prozesstechniker bei der strukturierten Modellierung der späteren Abläufe in der Maschine. Anhand der Beschreibung von Funktionsblöcken wird der Prozess zusammengesetzt. Jeder Block ist eindeutig ansprechbar, hat Eigenschaften wie Funktionsbeschreibung, dahinterliegende Materialspezifikation, Prozesszeit, Grenzwerte usw..

Hauptprozesse können aus Sub-Prozessen zusammengestellt werden. Jeder Haupt- und Subprozess kann als Vorlage gespeichert und wiederverwendet werden. Die vormals eigenständige (unabhängige) Sensor-Aktor-Liste wurde in das Tool integriert. Damit wurden Schnittstellen und Fehlerquellen reduziert. Gleichzeitig wird damit die Transparenz im Projekt über alle Disziplinen hinweg erhöht.

Durch die abstrahierte Prozessbeschreibung auf Funktionsebene ist es einfacher, sich zwischen den Disziplinen zu verständigen. Es ist nicht immer sichergestellt, dass ein Programmierer, Konstrukteur, E-Planer und Prozesstechniker dasselbe verstehen, wenn sie über ein und dasselbe Thema reden. Gleichzeitig steckt hinter der abstrahierten Beschreibung anhand von Funktionsblöcken eine konkrete Definition von Komponenten (Artikel mit Artikelnummer). Was wiederrum wichtig ist, um wirklich vom gleichen zu sprechen.

Ausblick

Das Tool ist aktuell in der Erprobungsphase. Anhand von bereits damit abgewickelten realen Projekten sind Erfahrungen und Potentiale für die Optimierung aufzeigt worden. Diese sollen sukzessive in das Tool eingearbeitet werden. Das Tool ersetzt einzelne Planungsdokumente.
Das anspruchsvolle Ziel, die beiden Expertensysteme SolidWorks für den Bereich Mechanik und EPLAN für den Bereich Elektro- Fluidplanung über eine elektronische Schnittstelle direkt miteinander zu verschränken, mit dem Ziel, eine mechatronische Stückliste ableiten zu können, ist damit noch nicht gelungen. Diese Verschränkung ist jedoch die Voraussetzung für einen durchgängigen, digitalen Prozess. Dazu werden andere Ansätze außerhalb dieses Tools verfolgt.

4. Kompetenzen zur Realisierung des Digital Threads

Autor: FH-Prof. DI Dr. Mario Jungwirth, Fachhochschule Oberösterreich

Die Einführung eines Digital Threads stellt für Unternehmen im Maschinen- und Anlagenbau nicht nur eine technologische Herausforderung dar, sondern erfordert auch ein tiefgreifendes Kompetenzmanagement. Um digitale Prozesse durchgängig und effizient zu gestalten, müssen Organisationen gezielt technologische Expertise, methodisches Know-how und kommunikative Fähigkeiten aufbauen und fördern.

Dieser Abschnitt beleuchtet, wie Unternehmen die relevanten Kompetenzfelder systematisch identifizieren, gezielt weiterentwickeln und langfristig in der Organisation verankern können – sei es durch gezielte Schulungsmaßnahmen, interdisziplinäre Zusammenarbeit oder kulturelle Impulse. Nur durch ein ganzheitliches Kompetenzverständnis lässt sich der Digital Thread als strategisches Rückgrat der digitalen Transformation erfolgreich in den Unternehmen etablieren.

4.1. Technologische, methodische und kommunikative Kompetenzen

Die erfolgreiche Umsetzung des Digital Threads im Maschinen- und Anlagenbau erfordert ein breites Spektrum an Kompetenzen, die über rein technische Fähigkeiten hinausgehen. Unternehmen müssen sicherstellen, dass ihre Mitarbeitenden nicht nur mit den relevanten digitalen Technologien vertraut sind, sondern auch über methodisches Know-how und kommunikative Stärke verfügen. Technologische Kompetenzen wie der Umgang mit IoT/IIoT, Cloud- und Edge-Computing sowie Modellintegration bilden die Grundlage für die digitale Vernetzung von Prozessen und Produkten. Ergänzend dazu sind methodische Fähigkeiten im Produktlebenszyklusmanagement, in der Prozessmodellierung, Datenanalyse und Datenintegration sowie im Systems Engineering entscheidend, um komplexe Zusammenhänge zu verstehen und effizient zu gestalten. Ebenso wichtig ist die Kommunikationsfähigkeit, insbesondere im interdisziplinären Kontext. Sie ermöglicht die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Fachbereichen und fördert den Wandel hin zu einer digitalisierten Unternehmenskultur.

Nur durch die Kombination dieser drei Kompetenzfelder können kleine und mittlere Unternehmen (KMUs) den Digital Thread nachhaltig und wirkungsvoll in ihrer Organisation integrieren.

Verständnis digitaler Technologien wie IIoT, Cloud- und Edge Computing, sowie Datenintegration

Die digitale Transformation im Maschinen- und Anlagenbau erfordert von KMUs ein

umfassendes Verständnis und die gezielte Anwendung zentraler Technologien, die den Digital Thread ermöglichen und miteinander verzahnen. Dazu zählen insbesondere das Industrial Internet of Things (IIoT), Cloud- und Edge-Computing, Modellintegration sowie moderne Datenverknüpfungsstrategien.

- **IIoT** vernetzt Maschinen, Sensoren und Systeme und ermöglicht die Erfassung und Analyse von Echtzeitdaten aus der Produktion. Diese Daten bilden die Grundlage für intelligente Entscheidungen, vorausschauende Wartung und adaptive Produktionsprozesse. Im industriellen Kontext sind Zuverlässigkeit, Skalierbarkeit und Sicherheit besonders wichtig – IIoT ist damit ein zentraler Baustein für die Umsetzung des Digital Threads und die Integration von Produktions- und IT-Ebene [1].
- **Cloud- und Edge-Computing** bieten KMUs flexible und skalierbare Infrastrukturen zur Speicherung und Verarbeitung großer Datenmengen. Während Cloud-Lösungen den Zugriff auf leistungsstarke Analysewerkzeuge und KI-Modelle ermöglichen, sorgt Edge Computing für die direkte Datenverarbeitung am Ort der Entstehung – etwa an Maschinen oder Sensoren. Dies reduziert Latenzzeiten, unterstützt die Einhaltung von Datenschutzrichtlinien und eröffnet neue Geschäftsmodelle [2].
- **Datenintegration und Datenverknüpfung** sind die Voraussetzung für einen durchgängigen Digital Thread. Sie umfassen die strukturierte Erfassung, Verknüpfung und Analyse von Daten aus unterschiedlichen Quellen – von Maschinensteuerungen über ERP-Systeme bis hin zu Cloud-Plattformen. Offene Schnittstellen, hohe Sicherheitsstandards und die Wahl geeigneter Plattformen sind dabei maßgeblich für den Erfolg [3].

Für KMUs ist es essenziell, diese Technologien nicht isoliert zu betrachten, sondern als integriertes Ökosystem zu verstehen, das die Grundlage für digitale Geschäftsprozesse und innovative Wertschöpfung bildet. Praxisnahe Initiativen wie das Kicks-for-Edge-Projekt von Siemens [4] zeigen, wie Unternehmen den Einstieg in diese Technologien gestalten und den Digital Thread erfolgreich umsetzen können.

Methodenkompetenz in Prozessmodellierung, Datenanalyse, Systems Engineering

Die Methodenkompetenz bildet das Rückgrat einer erfolgreichen digitalen Transformation in KMUs des Maschinen- und Anlagenbaus. Sie ermöglicht es, komplexe technische und organisatorische Herausforderungen systematisch zu analysieren, zu strukturieren und effizient zu lösen.

- **Prozessmodellierung**: Moderne Prozessmodellierung dient der strukturierten Darstellung, Analyse und Optimierung von Geschäfts- und Entwicklungsprozessen. Für KMUs sind insbesondere visuelle Modellierungsmethoden wie Swimlane-Diagramme (erweiterte Flussdiagramme, bei denen die Aktivitäten verschiedenen Rollen oder Organisationseinheiten zugeordnet werden), eEPK (erweiterte Ereignisgesteuerte Prozesskette - besonders geeignet für die Darstellung betrieblicher Abläufe) oder BPMN (Business Process Model and Notation – einheitliche Symbolsprache zur Modellierung von Geschäftsprozessen) relevant, da sie Transparenz schaffen und die Kommunikation zwischen Fachbereichen erleichtern. Modelle abstrahieren komplexe Abläufe und helfen, Schwachstellen zu identifizieren und gezielt zu verbessern [5].
- **Datenanalyse**: Die Fähigkeit, Daten systematisch zu erfassen, zu interpretieren und

in Entscheidungsprozesse einzubinden, ist für KMUs essenziell. Methoden wie statistische Auswertungen, maschinelles Lernen oder visuelle Analytik ermöglichen es, Produktionsdaten, Qualitätskennzahlen oder Kundenanforderungen in Echtzeit zu analysieren. Praxisnahe Anwendungen datenbasierter Methoden in Industrieprojekten – von Predictive Maintenance (vorausschauende Wartung) bis hin zu Smart Services (intelligente Dienstleistungen) finden sich u.a. in [6], [7].

- **Systems Engineering:** Systems Engineering ist ein interdisziplinärer Ansatz zur Entwicklung komplexer technischer Systeme. Für KMUs bedeutet dies, dass Mechanik, Elektronik und Softwareentwicklung frühzeitig integriert und abgestimmt werden müssen. Besonders relevant ist das modellbasierte Systems Engineering (MBSE), das digitale Modelle zur Spezifikation, Analyse und Validierung nutzt. MBSE reduziert Fehler, verbessert die Nachverfolgbarkeit und ermöglicht eine konsistente Dokumentation über den gesamten Entwicklungsprozess [8], [9].
- **Digitale Zwillinge:** Digital Twins erweitern den Digital Thread um eine virtuelle Repräsentation physischer Produkte. Sie ermöglichen Simulationen, Analysen von Zuständen und die Optimierung von Betrieb und Wartung. Damit wird der Lebenszyklus eines Produkts transparent und steuerbar [10].
- **Product Lifecycle Management (PLM):** Unterstützt die Verwaltung und Steuerung aller produktbezogenen Informationen und Prozesse über den gesamten Lebenszyklus hinweg. Durch die Integration von PLM-Systemen in den Digital Thread können Entwicklungs-, Fertigungs- und Serviceprozesse digital verknüpft und optimiert werden [11].

Kommunikationsfähigkeit für interdisziplinäre Zusammenarbeit und Change Management

Die erfolgreiche Umsetzung eines Digital Threads in KMUs des Maschinen- und Anlagenbaus erfordert nicht nur technologische und methodische Kompetenzen, sondern auch ausgeprägte kommunikative Fähigkeiten. Diese sind entscheidend, um interdisziplinäre Teams zu koordinieren, Wissen effektiv zu transferieren und Veränderungsprozesse nachhaltig zu gestalten.

- **Interdisziplinäre Zusammenarbeit:** In digitalisierten Produktionsumgebungen arbeiten Fachkräfte aus Mechanik, Elektronik, IT, Datenanalyse und Betriebswirtschaft eng zusammen. Kommunikationsfähigkeit bedeutet hier, komplexe technische Inhalte verständlich zu vermitteln, gemeinsame Ziele zu definieren und Schnittstellen zwischen Disziplinen aktiv zu gestalten. Werkzeuge wie kollaborative Plattformen (z. B. Microsoft Teams, Confluence) und visuelle Modellierung (z. B. BPMN, UML) unterstützen den Austausch und die Abstimmung [12].
- **Change Management:** Digitale Transformation ist immer auch ein kultureller Wandel. Kommunikationskompetenz ist daher zentral für das Change Management – etwa bei der Einführung neuer Technologien, der Umgestaltung von Prozessen oder der Schulung von Mitarbeitenden [13].

Erfolgreiche Kommunikation umfasst:

- Transparenz über Ziele, Nutzen und Auswirkungen.
- Empathie gegenüber Bedenken und Widerständen.
- Aktive Beteiligung durch Feedbackformate, Workshops und Multiplikatoren.

Besonders in KMUs, wo Hierarchien flacher und Entscheidungswege kürzer sind, kann

eine offene Kommunikationskultur den Wandel beschleunigen und die Akzeptanz neuer digitaler Lösungen fördern.

4.2. Zielgruppen und Vorbildungen

Die erfolgreiche Qualifizierung für den Digital Thread im Maschinen- und Anlagenbau setzt voraus, dass Weiterbildungsmaßnahmen gezielt auf die unterschiedlichen Rollen und Ausgangskompetenzen innerhalb eines Unternehmens abgestimmt sind. KMUs verfügen über vielfältige Mitarbeitergruppen – von Produktionsmitarbeitenden über Ingenieur:innen und IT-Fachkräfte bis hin zu Führungskräften – die jeweils spezifische Anforderungen, Vorkenntnisse und Lernbedarfe mitbringen.

Dieses Kapitel beleuchtet die typischen Vorbildungen der einzelnen Zielgruppen und zeigt auf, wie passgenaue Weiterbildungsangebote entwickelt werden können, um technologische, methodische und kommunikative Kompetenzen wirksam zu fördern. Dabei stehen praxisnahe Formate, modulare Lernpfade und die nachhaltige Verankerung des Gelernten im betrieblichen Alltag im Fokus.

Produktionsmitarbeiter:innen mit technischer Grundausbildung

Produktionsmitarbeiter:innen bilden das Rückgrat vieler KMUs im Maschinen- und Anlagenbau. Ihre Vorbildung basiert in der Regel auf einer abgeschlossenen Berufsausbildung in Bereichen wie Metalltechnik, Mechatronik, Elektrotechnik oder Maschinenbau. Sie verfügen über praktische Erfahrung in Fertigung, Montage, Instandhaltung oder Qualitätssicherung und sind mit klassischen Produktionsprozessen und Maschinenbedienung vertraut.

Typische Qualifikationen:

- Berufsausbildung (z. B. Lehre, Facharbeiter:in, Meister:in)
- Kenntnisse in mechanischer Bearbeitung, Steuerungstechnik, Pneumatik/Hydraulik
- Umgang mit Maschinensteuerungen (z. B. SPS, CNC)
- Grundverständnis für technische Zeichnungen und Arbeitsanweisungen

Digitale Ausgangskompetenz:

- Geringe bis mittlere IT-Affinität
- Erste Berührungspunkte mit digitalen Assistenzsystemen, MES- oder ERP-Oberflächen
- Erfahrung mit digitalen Prüf- oder Dokumentationssystemen

Herausforderungen im Kontext des Digital Threads:

- Verständnis für vernetzte Systeme und Datenflüsse
- Umgang mit IoT-fähigen Maschinen und Sensorik
- Einbindung in digitale Rückmeldesysteme und Qualitätsdatenbanken

Kommunikation mit anderen Fachbereichen über digitale Schnittstellen

Ziel der Weiterbildung:

- Vermittlung von Grundlagen der digitalen Produktion und Datenverarbeitung
- Schulung im Umgang mit digitalen Werkzeugen (z. B. Tablets, Dashboards, digitale Arbeitsanweisungen)
- Sensibilisierung für Datenqualität, Prozessvernetzung und digitale Rückverfolgbarkeit
- Förderung der Selbstständigkeit im Umgang mit neuen Technologien

Empfohlene Formate:

- Praxisnahe Schulungen mit hohem Anteil

an Demonstration und Anwendung
- Blended Learning mit kurzen digitalen Lerneinheiten und Präsenzworkshops
- Lernbegleitung durch interne Multiplikator:innen oder „Digitale Influencer“
- Zertifikatskurse mit Fokus auf Industrie 4.0-Grundlagen

Ingenieur:innen und IT-Fachkräfte mit Vorkenntnissen in Automatisierung und Digitalisierung

Ingenieur:innen in KMUs verfügen in der Regel über ein abgeschlossenes Studium in Maschinenbau, Mechatronik, Automatisierungstechnik oder verwandten Disziplinen. Ihre Tätigkeitsschwerpunkte liegen typischerweise in Konstruktion, Produktentwicklung, Fertigungsplanung oder Projektleitung. Sie bringen fundiertes technisches Wissen mit und sind geübt im Umgang mit CAD-Systemen, technischen Normen und industriellen Entwicklungsprozessen.

Typische Vorbildung:
- Lehre mit Matura, HTL, Bachelor- oder Masterabschluss in einem ingenieurwissenschaftlichen Fach
- Erfahrung mit CAD-/PDM-Systemen, FEM-Simulationen, Stücklistenmanagement
- Kenntnisse in Projektmanagement, Qualitätsmanagement und Normung
- Erste Berührungspunkte mit digitalen Tools wie PLM-, MES- oder ERP-Systemen

Digitale Ausgangskompetenz:
- Mittlere bis hohe IT-Affinität
- Verständnis für technische Datenstrukturen und digitale Produktmodelle
- Erfahrung mit Schnittstellen zwischen Konstruktion, Fertigung und IT

Herausforderungen im Kontext des Digital Threads:
- Integration von Entwicklungsdaten in durchgängige digitale Prozessketten
- Zusammenarbeit mit IT-Fachkräften und Produktionsmitarbeitenden über digitale Plattformen
- Anwendung von modellbasiertem Systems Engineering (MBSE)
- Umgang mit digitalen Zwillingen, Simulationen und datengetriebenen Optimierungen

Ziel der Weiterbildung:
- Vertiefung des Verständnisses für digitale Produktentwicklung und Datenmanagement
- Schulung in der Anwendung von Digital Thread-Technologien (z. B. PLM, IoT/IIoT, Cloud)
- Vermittlung von Methodenkompetenz in Prozessmodellierung und Datenanalyse
- Förderung der interdisziplinären Zusammenarbeit und Kommunikationsfähigkeit

Empfohlene Formate:
- Zertifikatslehrgänge zu Digital Engineering, MBSE und Industrie 4.0
- Blended Learning mit Praxisprojekten und Online-Modulen
- Workshops zur Integration von CAD/PDM in digitale Prozessketten
- Schulungen zu Datenanalyse und KI-Anwendungen im Engineering

IT-Fachkräfte in KMUs sind zentrale Akteure bei der technischen Umsetzung digitaler Transformationsprozesse. Sie verfügen in der Regel über eine Ausbildung oder ein Studium in Informatik, Wirtschaftsinformatik, Informationstechnik oder verwandten Bereichen. Ihre Aufgaben umfassen die Systemintegration, Netzwerktechnik, Datenmanagement, Softwareentwicklung und zunehmend auch die Betreuung von IoT- und Cloud-Infrastrukturen.

Typische Vorbildung:
- Ausbildung als Fachinformatiker:in (Lehre mit Matura, HTL) oder Studium in Informatik/Wirtschaftsinformatik
- Erfahrung mit IT-Infrastrukturen, Datenbanken, Netzwerken und Schnittstellen
- Kenntnisse in Programmiersprachen (z. B. Python, Java, SQL), API-Design und IT-Sicherheit
- Erste Berührungspunkte mit Industrie 4.0-Technologien und Automatisierungssystemen

Digitale Ausgangskompetenz:
- Hohe IT-Affinität und technisches Verständnis
- Erfahrung mit Cloud-Plattformen (Azure, AWS), Edge-Computing und IoT-Architekturen
- Vertrautheit mit Datenanalyse-Tools, ERP-Systemen und digitalen Schnittstellen

Herausforderungen im Kontext des Digital Threads:
- Integration von Produktionsdaten in zentrale Datenplattformen
- Aufbau und Pflege von sicheren, skalierbaren IT-Architekturen
- Zusammenarbeit mit Fachabteilungen zur Umsetzung digitaler Prozesse
- Unterstützung bei der Einführung von digitalen Zwillingen, KI-Anwendungen und automatisierten Workflows

Ziel der Weiterbildung:
- Vertiefung der Kenntnisse in industrieller Datenanalyse und Datenintegration
- Schulung in I(I)oT- und Edge-Technologien sowie deren Anwendung im Produktionsumfeld
- Vermittlung von Methoden zur sicheren und effizienten Systemvernetzung
- Förderung der Kommunikationsfähigkeit für interdisziplinäre Zusammenarbeit

Empfohlene Formate:
- Zertifikatskurse zu Industrie 4.0, IoT/IIoT, Cloud und Edge Computing
- Online-Trainings zu Datenanalyse, KI und IT-Security
- Praxisworkshops zur Integration von IT-Systemen in Produktionsprozesse
- Interaktive Lernformate mit Fokus auf Use Cases aus dem Maschinenbau

Führungskräfte mit strategischem Interesse an digitalen Geschäftsmodellen

Führungskräfte in KMUs des Maschinen- und Anlagenbaus tragen die Verantwortung für strategische Entscheidungen, Organisationsentwicklung und die erfolgreiche Umsetzung von Innovationsprozessen. Sie agieren an der Schnittstelle zwischen Technik, Wirtschaft und Personalführung und sind maßgeblich daran beteiligt, digitale Transformationsprozesse wie den Digital Thread im Unternehmen zu initiieren und zu steuern.

Typische Vorbildung:
- Studium in Maschinenbau, Mechatronik, Wirtschaftsingenieurwesen, Betriebswirtschaft oder verwandten Disziplinen
- Mehrjährige Berufserfahrung in leitender Funktion (z. B. Bereichsleitung, Produktionsleitung, Geschäftsführung)
- Kenntnisse in strategischem Management, Prozessoptimierung und Organisationsentwicklung
- Erste Berührungspunkte mit Digitalisierungsthemen, z. B. ERP-Systeme, digitale Produktentwicklung oder Industrie 4.0-Initiativen

Digitale Ausgangskompetenz:
- Strategisches Verständnis für digitale Technologien und deren Potenzial
- Grundkenntnisse in IT-Systemen und digitalen Geschäftsmodellen
- Erfahrung in der Steuerung von Verän-

derungsprozessen und interdisziplinären Teams

Herausforderungen im Kontext des Digital Threads:

- Entwicklung einer unternehmensweiten Digitalisierungsstrategie
- Förderung einer innovationsfreundlichen Unternehmenskultur
- Integration digitaler Kompetenzen in bestehende Strukturen und Prozesse
- Kommunikation und Motivation von Mitarbeitenden im Wandel

Ziel der Weiterbildung:

- Vermittlung von strategischem Know-how zur Nutzung des Digital Threads als Wertschöpfungsinstrument
- Schulung in Change Management, Leadership und digitaler Organisationsentwicklung
- Sensibilisierung für technologische Trends und deren Auswirkungen auf Geschäftsmodelle
- Förderung der Fähigkeit, digitale Initiativen zu priorisieren, zu bewerten und nachhaltig zu verankern

Empfohlene Formate:

- Executive-Seminare zu Digital Leadership und Industrie 4.0
- Zertifikatslehrgänge zu digitaler Transformation und Change Management
- Strategieworkshops mit Fokus auf Geschäftsmodellinnovation und Technologieeinsatz
- Peer-Learning-Formate und Erfahrungsaustausch mit anderen Führungskräften

4.3. Schulungskonzepte und -formate

Die Vielfalt der Rollen und Ausgangskompetenzen in KMUs des Maschinen- und Anlagenbaus erfordert differenzierte Schulungskonzepte, die sowohl inhaltlich als auch methodisch auf die jeweiligen Zielgruppen abgestimmt sind. Während Produktionsmitarbeiter:innen praxisnahe und visuell unterstützte Lernformate benötigen, profitieren Ingenieur:innen und IT-Fachkräfte von vertiefenden Modulen zu digitalen Technologien und Methoden. Führungskräfte hingegen benötigen strategisch ausgerichtete Weiterbildungen, die den Wandel auf organisationaler Ebene begleiten.

Moderne Schulungskonzepte setzen auf Flexibilität, Modularität und Praxisnähe. Blended Learning-Ansätze, Microlearning-Einheiten, interaktive Workshops und digitale Lernplattformen ermöglichen eine individuelle und bedarfsgerechte Qualifizierung. Dabei steht nicht nur die Vermittlung von Wissen im Vordergrund, sondern auch die Förderung von Handlungskompetenz, interdisziplinärer Zusammenarbeit und Veränderungsbereitschaft.

Dieses Kapitel stellt geeignete Formate und didaktische Ansätze vor, mit denen Unternehmen ihre Mitarbeitenden gezielt auf die Anforderungen des Digital Threads vorbereiten und eine nachhaltige Kompetenzentwicklung sicherstellen können.

Blended Learning mit Präsenz- und Online-Modulen

Blended Learning kombiniert die Vorteile digitaler Lernformate mit der Wirksamkeit persönlicher Interaktion. Für KMUs im Maschinen- und Anlagenbau bietet dieser Ansatz eine flexible und praxisnahe Möglichkeit, Mitarbeitende unterschiedlicher Qualifikationsstufen gezielt weiterzubilden – ohne den laufenden Betrieb zu beeinträchtigen.

Online-Module ermöglichen orts- und zeitunabhängiges Lernen. Sie eignen sich besonders für die Vermittlung theoretischer Grundlagen, etwa zu digitalen Technologien,

Datenanalyse oder Prozessmodellierung. Interaktive Elemente wie Videos, Quizformate und Simulationen fördern das Verständnis und die Selbstlernkompetenz.

Präsenzphasen dienen der Vertiefung, Anwendung und Reflexion des Gelernten. In Workshops, Fallstudien oder Gruppenarbeiten können reale Problemstellungen aus dem Unternehmenskontext bearbeitet und interdisziplinäre Zusammenarbeit geübt werden. Der direkte Austausch mit Trainer:innen und Kolleg:innen stärkt zudem die Motivation und den Lernerfolg.

Blended Learning lässt sich modular gestalten und auf die jeweiligen Zielgruppen zuschneiden – von Einstiegsformaten für Produktionsmitarbeiter:innen bis hin zu strategischen Entwicklungsprogrammen für Führungskräfte. Durch die Kombination beider Lernwelten entsteht ein nachhaltiger Qualifizierungsansatz, der sowohl Wissen als auch Handlungskompetenz fördert.

Praxisnahe Workshops und Simulationen

Praxisnahe Workshops und Simulationen sind besonders wirksame Lernformate für die Vermittlung komplexer Inhalte im Maschinen- und Anlagenbau. Sie ermöglichen es den Teilnehmenden, theoretisches Wissen direkt in realitätsnahen Szenarien anzuwenden und zu vertiefen. Für KMUs bieten sie den Vorteil, dass sie konkrete Problemstellungen aus dem eigenen Betrieb aufgreifen und so einen hohen Transfer in die Praxis gewährleisten.
Workshops fördern den aktiven Austausch zwischen Mitarbeitenden unterschiedlicher Fachbereiche. Sie eignen sich ideal zur Schulung von Methodenkompetenz – etwa in Prozessmodellierung, Datenanalyse oder Systems Engineering – und zur Entwicklung gemeinsamer Lösungsansätze. Durch Gruppenarbeiten, Fallstudien und moderierte Diskussionen entstehen neue Perspektiven und ein gemeinsames Verständnis für digitale Prozesse.

Simulationen ermöglichen es, komplexe technische Abläufe virtuell nachzubilden und zu analysieren. Sie sind besonders hilfreich, um die Auswirkungen von Entscheidungen, Prozessänderungen oder Systemvernetzungen zu erproben, ohne reale Risiken einzugehen. Digitale Zwillinge, virtuelle Produktionsumgebungen oder interaktive Planspiele sind typische Formate, die sowohl für Produktionsmitarbeiter:innen als auch für Ingenieur:innen und Führungskräfte wertvolle Lernimpulse bieten.

Durch die Kombination von Workshop-Elementen und Simulationen entsteht ein dynamisches Lernumfeld, das nicht nur Wissen vermittelt, sondern auch Teamarbeit, Problemlösefähigkeit und Veränderungsbereitschaft fördert – zentrale Voraussetzungen für die erfolgreiche Umsetzung des Digital Threads in KMUs.

Microlearning für spezifische Themen wie Datenhandling oder digitale Zwillinge

Microlearning bezeichnet kurze, fokussierte Lerneinheiten, die gezielt einzelne Inhalte oder Fertigkeiten vermitteln. Für KMUs im Maschinen- und Anlagenbau ist dieses Format besonders attraktiv, da es sich flexibel in den Arbeitsalltag integrieren lässt und sich hervorragend für die Vermittlung spezifischer digitaler Kompetenzen eignet – etwa im Umgang mit Produktionsdaten oder digitalen Zwillingen.

Typische Einsatzbereiche:

- Datenhandling: Kurze Module zur sicheren Erfassung, Strukturierung und Auswertung von Produktionsdaten, z. B. über Dashboards, MES-Systeme oder Excel-

basierte Auswertungen.
- Digitale Zwillinge: Einführung in die Konzepte, Anwendungen und Nutzen virtueller Abbilder von Maschinen, Anlagen oder Prozessen – etwa zur Simulation, Wartung oder Optimierung.

Vorteile für KMUs:
- Geringer Zeitaufwand pro Einheit (5–15 Minuten)
- Hohe Zielgenauigkeit bei der Kompetenzvermittlung
- Ideal für mobile Endgeräte und dezentrale Teams
- Fördert kontinuierliches Lernen und schnelle Wissensaktualisierung

Microlearning kann sowohl als eigenständiges Format eingesetzt als auch in Blended-Learning-Konzepte integriert werden. Besonders wirksam ist es, wenn es mit interaktiven Elementen wie Quizfragen, kurzen Videos oder praktischen Mini-Übungen kombiniert wird. So entsteht ein lernförderliches Umfeld, das Mitarbeitende befähigt, digitale Werkzeuge sicher und effizient im Arbeitsalltag zu nutzen.

4.4. Schulungspfade für verschiedene Mitarbeitergruppen

Um den unterschiedlichen Anforderungen und Vorkenntnissen der Mitarbeitenden im Maschinen- und Anlagenbau gerecht zu werden, sind **maßgeschneiderte Schulungspfade** unerlässlich. Sie ermöglichen es, digitale Kompetenzen gezielt und praxisnah zu vermitteln – vom Einstieg in digitale Werkzeuge über die Vertiefung technologischer und methodischer Fähigkeiten bis hin zur strategischen Qualifizierung von Führungskräften.
Im Folgenden werden die wichtigsten Ansätze und Formate vorgestellt, die eine erfolgreiche und nachhaltige Kompetenzentwicklung für alle Mitarbeitergruppen unterstützen.

Einstiegspfade für gewerbliche Mitarbeiter:innen mit Fokus auf digitale Werkzeuge

Um gewerbliche Mitarbeiter:innen erfolgreich an digitale Werkzeuge heranzuführen, sollten Unternehmen strukturierte Einstiegspfade anbieten, die sich an den realen Arbeitsprozessen orientieren und praxisnah gestaltet sind.

Empfohlene Inhalte und Maßnahmen:
- **Bedarfsanalyse**: Ermittlung der vorhandenen digitalen Kompetenzen und Identifikation von Weiterbildungsbedarf direkt am Arbeitsplatz.
- **Grundlagenschulungen**: Vermittlung von Basiswissen zu digitalen Werkzeugen, wie z.B. Tablets, digitalen Arbeitsanweisungen, MES-Systemen oder digitalen Prüf- und Dokumentationssystemen.
- **Lernen am Arbeitsplatz:** Einsatz von praxisnahen Schulungsformaten, bei denen Mitarbeitende digitale Tools direkt an den eigenen Maschinen oder Arbeitsplätzen ausprobieren und anwenden können.
- **Blended Learning:** Kombination aus kurzen Online-Lerneinheiten (z. B. Erklärvideos, Microlearning-Module) und Präsenzworkshops, in denen reale Aufgabenstellungen aus dem Betrieb bearbeitet werden.
- **Mentoring und Lernbegleitung:** Unterstützung durch interne Multiplikator:innen bzw. „Digital Influencer“, die als Ansprechpartner:innen für Fragen und Hilfestellungen zur Verfügung stehen.
- **Erfolgskontrolle und Feedback:** Regelmäßige Überprüfung des Lernfortschritts und Einholen von Feedback, um die Schulungsmaßnahmen kontinuierlich zu verbessern und an die Bedürfnisse der Mitarbeitenden anzupassen.

Praxisbeispiel: Ein Unternehmen führt Tablets für die digitale Erfassung von Produkti-

onsdaten ein. Die gewerblichen Mitarbeitenden erhalten zunächst eine kurze Einführung in die Bedienung der Geräte, gefolgt von begleiteten Übungen direkt in der Fertigung. Interne „Digital Champions“ stehen als Ansprechpartner:innen bereit und unterstützen bei Fragen im Arbeitsalltag.

Vertiefungspfade für Fachkräfte in Engineering und IT

Um die digitale Transformation im Unternehmen nachhaltig zu gestalten, benötigen Fachkräfte aus Engineering und IT gezielte Vertiefungspfade, die über Grundlagenwissen hinausgehen und aktuelle technologische Entwicklungen sowie Methodenkompetenz adressieren.

Empfohlene Inhalte und Maßnahmen:

- **Technologiespezifische Trainings:** Vertiefende Schulungen zu Themen wie Datenintegration, Cloud- und Edge-Computing, IoT/IIoT, digitale Zwillinge, KI-Anwendungen oder Automatisierungslösungen, die direkt auf die im Unternehmen eingesetzten Systeme und Plattformen zugeschnitten sind.
- **Projektbasierte Lernformate:** Anwendung des Gelernten in realen Unternehmensprojekten, z. B. durch die Integration neuer digitaler Tools in bestehende Prozesse oder die Entwicklung von Prototypen für datengetriebene Services.
- **Methodenkompetenz:** Aufbau und Vertiefung von Fähigkeiten in Prozessmodellierung (z. B. BPMN, eEPK), Datenanalyse, modellbasiertem Systems Engineering (MBSE) und agilen Projektmethoden.
- **Interdisziplinäre Zusammenarbeit**: Förderung des Austauschs zwischen Engineering, IT und anderen Fachbereichen, z. B. durch gemeinsame Workshops, Hackathons oder Innovationsprojekte.
- **Blended Learning und Online-Module:** Kombination aus vertiefenden Online-Kursen, Webinaren und praxisorientierten Präsenzworkshops, die flexibel in den Arbeitsalltag integriert werden können.
- **Zertifizierungen und Qualifikationsnachweise:** Möglichkeit, erworbene Kompetenzen durch anerkannte Zertifikate (z. B. in Cloud-Technologien, Datenanalyse oder Systems Engineering) zu dokumentieren.

Praxisbeispiel: Ein Unternehmen führt ein projektbasiertes Weiterbildungsprogramm ein, bei dem Engineering- und IT-Fachkräfte gemeinsam an der Entwicklung eines digitalen Zwillings für eine Produktionslinie arbeiten. Begleitend absolvieren sie Online-Module zu Datenintegration und Simulation und erhalten am Ende ein Zertifikat.

Führungskräftepfade mit Fokus auf strategische Umsetzung und Kulturwandel

Für Führungskräfte ist die digitale Transformation nicht nur eine technologische, sondern vor allem eine strategische und kulturelle Herausforderung. Spezifische Weiterbildungspfade unterstützen Führungskräfte dabei, den Digital Thread als Wertschöpfungsinstrument zu nutzen und den Wandel im Unternehmen aktiv zu gestalten.

Empfohlene Inhalte und Maßnahmen:

- **Strategische Kompetenzentwicklung:** Vermittlung von Wissen zu digitalen Geschäftsmodellen, Entwicklung und Umsetzung einer unternehmensweiten Digitalisierungsstrategie sowie Bewertung und Priorisierung digitaler Initiativen.
- **Change Management:** Schulungen zu Methoden und Werkzeugen des Change Managements, um Veränderungsprozesse erfolgreich zu steuern, Mitarbeitende zu motivieren und Widerstände abzubauen.
- **Kulturwandel und Leadership:** Förderung einer innovationsfreundlichen Unterneh-

menskultur, Entwicklung von Leadership-Kompetenzen für die digitale Transformation und Stärkung der Vorbildfunktion im Umgang mit neuen Technologien.
- **Praxisorientierte Workshops:** Bearbeitung realer Fallstudien aus dem eigenen Unternehmen, Entwicklung von Roadmaps für die digitale Transformation und Erfahrungsaustausch mit anderen Führungskräften.
- **Peer-Learning und Netzwerke:** Aufbau von Netzwerken und Peer-Gruppen, um Best Practices zu teilen, voneinander zu lernen und gemeinsam Lösungen für aktuelle Herausforderungen zu entwickeln.
- **Zertifizierungen und Qualifikationsnachweise:** Möglichkeit, erworbene Kompetenzen durch anerkannte Zertifikate im Bereich Digital Leadership, Change Management oder digitale Geschäftsmodelle zu dokumentieren.

Praxisbeispiel: Eine Führungskraft nimmt an einem Executive-Seminar zu Digital Leadership teil, entwickelt im Rahmen eines Workshops eine Digitalisierungsstrategie für den eigenen Unternehmensbereich und tauscht sich regelmäßig mit anderen Führungskräften in einer Peer-Learning-Gruppe über Erfahrungen und Herausforderungen aus.

4.5. Nachhaltige Verankerung durch Unternehmenskultur und Anreizsysteme

Die erfolgreiche und langfristige Umsetzung Digitaler Transformation erfordert mehr als technologische Investitionen – sie lebt von einer Unternehmenskultur, die digitale Kompetenzen wertschätzt, Innovationen anerkennt und kontinuierliches Lernen fördert.

Integration digitaler Kompetenzen in Leitbilder und Werte
- Unternehmen sollten digitale Kompetenzen und Offenheit für Innovationen explizit in ihren Leitbildern und Unternehmenswerten verankern.
- Dies kann durch die Aufnahme digitaler Fähigkeiten in Kompetenzmodelle, Zielvereinbarungen und Mitarbeitergespräche geschehen.
- Führungskräfte sollten als Vorbilder agieren und die Bedeutung digitaler Kompetenzen im Arbeitsalltag sichtbar machen.

Anerkennungssysteme für digitale Innovationsbeiträge
- Die Einführung von Anerkennungs- und Belohnungssystemen motiviert Mitarbeitende, sich aktiv an Digitalisierungsinitiativen zu beteiligen.
- Beispiele sind Prämien für innovative Ideen, Auszeichnungen für erfolgreiche Digitalisierungsprojekte oder die öffentliche Würdigung von „Digital Influencers“ im Unternehmen.
- Auch kleine, sichtbare Erfolge – wie die Verbesserung eines digitalen Prozesses – sollten anerkannt und kommuniziert werden.

Förderung von Lernkultur und interner Wissensweitergabe
- Eine offene Lernkultur ist die Basis für nachhaltige Kompetenzentwicklung. Fehler dürfen als Lernchance verstanden werden.
- Unternehmen können interne Lernplattformen, Wissensdatenbanken oder regelmäßige „Lunch & Learn“-Formate etablieren, um den Austausch von Erfahrungen und Best Practices zu fördern.
- Peer-to-Peer-Ansätze, bei denen Mitarbeitende ihr Wissen an Kolleg:innen weitergeben, stärken die Eigenverantwortung und beschleunigen den Wissenstransfer.

Praxisbeispiel: Ein Unternehmen integriert digitale Kompetenzen in die jährlichen Zielvereinbarungen, richtet einen Innovationspreis für Digitalisierungsprojekte aus und veranstaltet monatliche Wissensrunden, in denen Mitarbeitende ihre Erfahrungen mit neuen digitalen Tools teilen.

4.6. Aufbau von internen Multiplikatoren

Die nachhaltige Verankerung digitaler Kompetenzen im Unternehmen gelingt besonders effektiv durch den gezielten Aufbau interner Multiplikatoren. Diese „Digital Influencers“ (Digital Coaches) fungieren als Katalysatoren für den digitalen Wandel und stärken die Umsetzung von Digitalisierungsinitiativen im Arbeitsalltag.

Identifikation und Schulung von „Digital Influencers“

- Unternehmen sollten gezielt Mitarbeitende identifizieren, die eine hohe Affinität zu digitalen Themen zeigen und als Vorbilder im Umgang mit neuen Technologien agieren.
- Diese Mitarbeitenden werden durch spezielle Schulungen und Weiterbildungen zu „Digital Influencers“ qualifiziert, die nicht nur technisches Wissen, sondern auch kommunikative und didaktische Fähigkeiten vermitteln.
- Die Schulung kann praxisnah durch Workshops, Mentoring-Programme und den Austausch mit externen Expert:innen erfolgen.

Multiplikator:innen als Bindeglied zwischen Strategie und operativer Umsetzung

- Digital Influencers übernehmen die Rolle von Vermittlern zwischen der strategischen Unternehmensführung und den operativen Teams.
- Sie übersetzen strategische Ziele in konkrete Handlungsempfehlungen und unterstützen Kolleg:innen bei der Anwendung neuer digitaler Werkzeuge im Arbeitsalltag.
- Multiplikator:innen geben Impulse für Verbesserungen, sammeln Feedback aus den Teams und tragen so zur kontinuierlichen Weiterentwicklung der Digitalisierungsstrategie bei.

Peer-to-Peer-Ansätze zur Verstärkung des Lerntransfers

- Peer-to-Peer-Lernformate, wie interne Schulungen, Erfahrungsaustausch oder Tandem-Programme, fördern den Wissenstransfer auf Augenhöhe.
- Mitarbeitende lernen voneinander, teilen Best Practices und unterstützen sich gegenseitig bei der Lösung digitaler Herausforderungen.
- Diese Ansätze stärken die Eigenverantwortung, erhöhen die Akzeptanz neuer Technologien und beschleunigen die Verbreitung digitaler Kompetenzen im Unternehmen.

Praxisbeispiel: Ein Unternehmen etabliert ein Netzwerk von Digital Influencers, die regelmäßig interne Workshops zu digitalen Tools anbieten, als Ansprechpartner:innen für Kolleg:innen fungieren und aktiv an der Weiterentwicklung der Digitalisierungsstrategie mitwirken. Durch Peer-to-Peer-Formate wird der Wissenstransfer im Unternehmen nachhaltig gestärkt.

Referenzen

[1] Europäische Kommission, „Das Internet der Dinge der nächsten Generation“, https://digital-strategy.ec.europa.eu/de/policies/next-generation-internet-things, abgerufen am 2.11.2025

[2] N. Jahnke, N. Niehoff, „Datenwirtschaft und Edge-Computing“ Kurzstudie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz im Rahmen der Begleitforschung zum Technologieprogramm „Edge Datenwirtschaft“, Fraunhofer-Institut für Software- und Systemtechnik ISST, Dortmund, 2024

[3] C. Anhalt, „Datenintegration für das industrielle Internet der Dinge“, Softing Industrial bitte Automation, 2021

[4] A. Bee, F. Vogt, M. Leipoldt, “Kicks-for-Edge-Projekt”, Siemens Industrial Edge, Digital Factory Journal, 2024, https://emagazin.digital-factory-journal.de/de/profiles/25d7b9e1ecb5/editions/2077b80e5195f4f40655, abgerufen am 2.11.2025

[5] A. Gadatsch, „Modellierung und Analyse von Prozessen in Grundkurs Geschäftsprozess-Management“, Springer, 2025

[6] T. Schuls (Hrsg.), „Analytics in der Industrie, Schlüsseltechnologien für die digitale Transformation“, Vogel, 2022

[7] J. Deuse, R. Kingenberg, N. West (Hrsg.), „Industrielle Datenanalyse - Entwicklung einer Datenanalyse-Plattform für die wertschaffende, kompetenzorientierte Kollaboration in dynamischen Wertschöpfungsnetzwerken“, Springer-Vieweg, 2024

[8] I. Gräßler, C. Oleff, „Systems Engineering verstehen und industriell umsetzen“, Springer, 2022

[9] B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansel, M. ten Hompel, „Handbuch Industrie 4.0 – Allgemeine Grundlagen“, Springer, 2017

[10] L. Wagner, „Kein Digital Twin ohne digitale Durchgängigkeit“, DOI 10.3139/104.112315, ZWF 115 (2020) Special; page 43–45, Hanser, ISSN 0947–0085

[11] J. Stark, „Product Lifecycle Management – 21st Century Paradigm for Product Realisation”, 5. Ausgabe, Springer, 2022

[12] F. Lattuch, “Führung interdisziplinärer Teams”, Springer-Gabler, 2024

[13] A. Bittner-Fesseler, A. Krutzke, K. Hermann, „Change Kommunikation als Managementaufgabe“, Springer-Gabler, 2023

5. Rechtliche Aspekte im Kontext des Digital Thread

Autorinnen: Univ.-Ass.in Mag.a Elisa Girleanu und Mag.a Alexandra Hofer, LIT Law Lab

Im Sinne einer Infrastruktur für durchgängige, digitale Daten und Datenflüsse (siehe Kapitel 2.2) muss der Digital Thread jedenfalls in der Lage sein, alle benötigten, relevanten Daten einzelner Maschinen oder Anlagen miteinander zu verbinden. Dementsprechend werden verschiedenste Daten und Datenflüsse aus unterschiedlichen Quellen gesammelt und im Digital Thread zusammengeführt. Angesichts dessen, dass Daten über den gesamten Lebenszyklus der Maschine hinweg gesammelt werden – angefangen von der Konzeptentwicklung über Fertigung bis zum Betrieb der Maschine –, entspringen die Daten aus der Sphären unterschiedlicher Akteure. Es stellt sich daher die Frage, ob und welche rechtlichen Interessen und Positionen mit der Datensammlung berührt werden, welche der Betreiber des Digital Threads zu berücksichtigen hat.

Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass der Betreiber des Digital Threads (bzw. des die Maschine betreffenden Anteils am Digital Thread) auch der Hersteller der Anlage ist und dementsprechend auch über die ersten Datenflüsse in Zusammenhang mit der Konzeption und Konstruktion der Maschine verfügt. Es ist daher zu untersuchen, welche Rechtspositionen der Hersteller der Anlage als Betreiber des Digital Threads innehat und welche anderen Akteure an den gesammelten Daten rechtliche Ansprüche haben könnten.

5.1. Wem gehören die Daten und wie sind sie geschützt?

Dateneigentum

Das klassische Eigentumsrecht im Sinne des österreichischen ABGB beschreibt das Herrschaftsrecht einer Person an einer Sache. Vorrangig ist mit dem sachenrechtlichen Eigentum die Herrschaft über körperliche Sachen gemeint [1]. Wird eine körperliche Sache wie eine Maschine verkauft, wechselt die Maschine aus dem Eigentum des Verkäufers (z.B. Hersteller) in das Eigentum des Käufers (z.B. Kunde). Der Käufer kann nunmehr als neuer Eigentümer frei über die Maschine verfügen [2].

Bei Daten, das heißt rein codierten Informationen, handelt es sich hingegen um immaterielle Güter, also gerade um keine körperlichen Sachen. Mangels Körperlichkeit kann an Daten nach geltendem Recht kein Eigentum im sachenrechtlichen Sinne erworben werden [3]. Dies nicht zuletzt deswegen, weil Daten über andere Eigenschaften als körperliche Sachen verfügen: Anders als körperliche Gegenstände sind Daten nicht rivalisierend, nicht exklusiv und nicht abnutzbar. So können mehrere Personen dieselben Daten ohne Einschränkungen gleichzeitig verwenden (nicht-rival). Aufgrund dieser Eigenschaft ist es allerdings schwierig, die Nutzung der Daten durch andere verlässlich zu verhindern (nicht exklusiv). Zuletzt verlieren Daten bei bestimmungsgemäßer Benutzung nicht an Substanz (nicht abnutzbar) [4].

Auch die Idee eines eigenen „Dateneigentums“, welche über die Jahre immer wieder angestoßen und diskutiert wurde, wurde rechtlich nie umgesetzt [5]. Wie unten zum Data Act noch ausgeführt wird, gibt es auch auf unionsrechtlicher Ebene kein „Dateneigentum“, sondern bloß rechtlich verankerte Zugriffsrechte auf Daten. Ein umfangreicher Eigentumsschutz für Daten existiert somit aktuell nicht.

Schutz der Daten über geistiges Eigentum

Unsere Rechtsordnung schützt jedoch auch immaterielle Güter als geistiges Eigentum („Intellectual Property“). Der Schutz aus diesen Immaterialgüterrechten umfasst jedoch nur gewisse Aspekte:

Unter dem Markenrecht geschützt werden etwa Kennzeichen (z.B. Markennamen, Markenlogos). Wird ein fremdes Markenzeichen unzulässigerweise im geschäftlichen Verkehr kennzeichenmäßig für Waren oder Dienstleistungen genutzt, kann der Markeninhaber diese Benutzung verbieten [6]. Ähnlich gestaltet sich der Schutz für Geschmacksmuster („Designs“): Ist die äußere Gestalt eines industriellen oder handwerklichen Erzeugnisses als Muster geschützt, kann der Musterinhaber Dritten verbieten, das Muster ohne seine Zustimmung zu benutzen [7]. Insbesondere bei CAD-Dateien, welche einen 3D-Druck des digital dargestellten Erzeugnisses erlauben, ist Vorsicht geboten: Bereits das Erstellen und Einbinden einer CAD-Datei, welche ein fremdes Muster reproduziert, kann eine Verletzungshandlung darstellen, wenn damit eine unerlaubte Handlung (zB die Herstellung des Erzeugnisses nach dem fremden Muster) vorbereitet wird [8].

Das Patentrecht wiederum schützt technische Erfindungen. Obwohl Daten als codierte Informationen technischer Natur sind, sind sie jedoch explizit vom Patentschutz ausgenommen: Nach dem Patentgesetz sind Programme für Datenverarbeitungsanlagen und die bloße Wiedergabe von Informationen nicht schutzfähig [9].

Gegenstand des Urheberrechts sind eigentümliche geistige Schöpfungen [10], wobei auch der Schutz von Computerprogrammen vorgesehen ist [11]. Allerdings beschränkt sich dieser Schutz auf den Programmcode und umfasst nicht reine Maschinendaten [12]. Im Urheberrechtsgesetz enthalten ist zudem der Schutz von Datenbankwerken und schlichten Datenbanken [13]. Datenbanken werden in diesem Zusammenhang als „Sammlungen von Werken, Daten oder anderen unabhängigen Elementen, die systematisch oder methodisch angeordnet und einzeln mit elektronischen Mitteln oder auf andere Weise zugänglich sind“ definiert [14]. Während auch Datenbankwerke eine eigentümliche schöpferische Komponente voraussetzen, sind unter bestimmten Voraussetzungen sogenannte schlichte Datenbanken geschützt. Solche Datenbanken genießen dann Schutz, „wenn für die Beschaffung, Überprüfung oder Darstellung ihres Inhalts eine nach Art oder Umfang wesentliche Investition erforderlich war.“ [15] Wesentlicher Schutzaspekt solcher Datenbanken ist somit nicht die eigentümliche geistige Schöpfung, sondern die wesentliche Investition, die in die Schaffung der Datenbank geflossen ist [16]. Hierzu ist zwischen Investitionen auf Ebene der Datengenerierung und Investitionen auf Ebene der Datensammlung zu unterscheiden, da bloß letztere einen Datenbankschutz begründen [17].

Dieser sui-generis-Leistungsschutz umfasst jedoch nur die betroffene Datenbank und nicht die Daten als solche. Es ist jedoch anzunehmen, dass im Digital Thread für eine strukturierte Sammlung der Daten freilich

auch Datenbanken erstellt und eingebunden werden. Insofern der Betreiber des Digital Threads eigene Investitionen in die Schaffung von Datenbanken steckt, kann er – bei Erfüllung aller Voraussetzungen – von diesem Leistungsschutzrecht profitieren. Bindet er fremde Datenbanken in den Digital Thread ein, muss er wiederum ein mögliches Leistungsschutzrecht eines Dritten an der Datenbank beachten.

Das bloße Fehlen eines Schutzes der schlichten Datenbanken bedeutet allerdings nicht, dass die Daten als solche ebenfalls frei von fremden rechtlichen Positionen sind. Die in der Datenbank enthaltenen Daten können ihrerseits unter anderen Gesichtspunkten geschützt sein (z.B. Markenrecht, Designrecht, Urheberrecht).

Zusammenfassend ist also festzuhalten, dass an Daten kein sachenrechtliches Eigentum erworben werden kann und auch die Immaterialgüterrechte nur bestimmte Aspekte von Daten schützen.

In Daten enthaltene schutzwürdige Geschäftsgeheimnisse

Trotz eines fehlenden umfangreichen Schutzes für Daten bedeutet dies nicht, dass der Betreiber des Digital Threads Daten aus beliebiger Quelle uneingeschränkt sammeln und verwerten darf.

Vorsicht ist insbesondere dann geboten, wenn Echtzeitdaten der Maschine im Betrieb des Kunden gesammelt werden, da so möglicherweise dessen Geschäftsgeheimnisse unzulässig erlangt werden könnten.

Geschäftsgeheimnisse werden durch das Bundesgesetz gegen den unlauteren Wettbewerb (UWG) geschützt, sodass der rechtswidrige Erwerb, die rechtswidrige Nutzung und die rechtswidrige Offenlegung von Geschäftsgeheimnissen verboten ist [18]. Unter Geschäftsgeheimnissen versteht das Gesetz Informationen,

(1) die geheim sind,
(2) welche aufgrund der Geheimhaltung einen kommerziellen Wert haben, und
(3) welche durch angemessene Geheimhaltungsmaßnahmen geschützt werden [19].

Allerdings schützen auch Geschäftsgeheimnisse nur den Informationsgehalt und nicht die Daten per se [20]. Insofern stellt sich die Frage, ob reine, unverarbeitete IoT-Maschinendaten überhaupt einen Bedeutungsgehalt haben, der als Geschäftsgeheimnis geschützt sein kann. Nach der herrschenden Ansicht können auch in (aggregierten) Maschinendaten schutzwürdige Informationen enthalten sein [21]. Maschinendaten enthalten schließlich zahlreiche Informationen über konkrete Maschineneinstellungen sowie technische Parameter, welche über Sensoren aufgezeichnet werden. Eine Person mit ausreichendem Fachwissen kann solche Rohdaten, wenn sie in aggregierter Form vorliegen, auswerten und dadurch ermitteln, wie die Maschine konkret verwendet wird [22]. Dies wiederum bedeutet, dass unter Umständen etwa Rückschlüsse auf den konkreten Verlauf von Produktionsprozessen im Betrieb des Kunden möglich sind. In vielen Branchen sind die konkreten Maschineneinstellungen ausschlaggebend für die Qualität der Produktion, weshalb Unternehmen diese Informationen als Betriebsgeheimnisse geheim halten [23]. Werden nun im Rahmen des Digital Threads Echtzeitdaten bei Betrieb der Maschine gesammelt, kann dies im schlimmsten Fall potenzielle Geschäftsgeheimnisse des Kunden berühren [24]. Durch Offenlegung von Geschäftsgeheimnissen über Produktionsabläufe würde das Unter-

nehmen einen Wettbewerbsvorteil verlieren, weshalb der in Maschinendaten enthaltene Informationsgehalt einen kommerziellen Wert für das Unternehmen hat [25].

Allein der subjektive Wille, eine Information geheim halten zu wollen, reicht natürlich noch nicht aus, um ein Geschäftsgeheimnis zu begründen. Zusätzlich ist erforderlich, dass der Geschäftsgeheimnisinhaber angemessene Geheimhaltungsmaßnahmen gesetzt hat. Die Angemessenheit orientiert sich nach der Art des Geheimnisses und der Umstände des Einzelfalls. Angemessen sind beispielsweise technische Maßnahmen (z.B. Verschlüsselung), organisatorische Maßnahmen (z.B. Anweisungen an Mitarbeiter:innen) oder Geheimhaltungsvereinbarungen [26].

Diese Pflicht trifft naturgemäß den Geschäftsgeheimnisinhaber. Der Betreiber eines Digital Threads ist jedoch verpflichtet, den Kunden und potenziellen Geschäftsgeheimnisinhaber über den konkreten Umfang der Datensammlung im Rahmen des Digital Threads zu informieren. Denn nur bei ausreichender Transparenz über Art und Umfang der Datensammlung kann der Kunde darüber entscheiden, ob und welche angemessenen Geheimhaltungsmaßnahmen er setzen muss. Es ist daher essenziell, den Kunden über die konkrete Datensammlung zu informieren und den Schutz etwaiger Geschäftsgeheimnisse zu wahren, da widrigenfalls rechtliche Konsequenzen drohen [27].

Neben Geschäftsgeheimnissen des Kunden darf der Hersteller der Maschine nicht übersehen, dass im Digital Thread womöglich auch eigene Geschäftsgeheimnisse enthalten sein können [28]. Im Digital Thread sind schließlich ebenso Informationen aus der Entwicklungs- und Herstellungsphase enthalten, die der Sphäre des Herstellers entstammen. Zwar wird der Hersteller als gleichzeitiger Betreiber des Digital Threads die Verfügungsmacht über den Digital Thread haben. Allerdings ist es naheliegend, dass auch Dritten Zugang auf Informationen im Digital Thread gewährt wird; nicht zuletzt deswegen, weil gerade der Data Act mit gesetzlich verankerten Datenzugangsansprüchen einen Paradigmenwechsel in diesem Bereich erzwingt. Inwiefern dieser umfangreiche Datenzugangsanspruch mit dem Schutz von Geschäftsgeheimnissen in Einklang zu bringen ist, wird nachfolgend näher beleuchtet.

Zum Schutz seiner eigenen Geschäftsgeheimnisse muss also auch der Hersteller der Maschine als Betreiber des Digital Threads potenziell geheime Informationen identifizieren und entsprechende Geheimhaltungsmaßnahmen umsetzen. Denn gelangen geheime Informationen einmal in die Hände eines unbefugten Dritten, lässt sich der Verlust der Geheimhaltung dieser Informationen nicht mehr rückgängig machen [29].

5.2. Datenaustausch – Relevante Aspekte des Datenschutzes

Personenbezogene Daten

Die Datenschutzgrundverordnung [30] (DSGVO) ist als Verordnung [31] der Europäischen Union in allen Mitgliedstaaten unmittelbar anwendbar, gilt also in Österreich wie ein (nationales) Gesetz. Sie erfasst nur sogenannte personenbezogene Daten – das sind Informationen, die sich „auf eine identifizierte oder identifizierbare natürliche Person beziehen [32].“ Gemeint ist damit der Bezug zu einem Menschen. Für die Anwendbarkeit der DSGVO-Vorschriften stellt sich daher die zentrale Frage, ob sich die durch den Digital Thread verarbeiteten Daten auf einen Menschen beziehen.

Der Unterschied soll anhand eines Bei-

spiels verdeutlicht werden: Handelt es sich bei den verarbeiteten Daten etwa bloß um technische Parameter oder Messungen von Grenzwerten, so wird (wohl) kein Personenbezug vorliegen. Wird hingegen eine Maschine durch einen Menschen bedient, der sich zur Inbetriebnahme der Maschine etwa mit einem Ausweis identifizieren muss (wodurch ersichtlich wird, welcher Mensch wann und wo welche Maschine wie bedient hat), so ist ein Personenbezug dieser verarbeiteten Daten anzunehmen.

Um eine Anwendbarkeit der DSGVO zu beurteilen, muss also im Vorfeld immer genau geklärt werden, welche Daten durch den Digital Thread verarbeitet werden und inwiefern sich diese auf Menschen beziehen (können).

Datenschutzrechtliche Verantwortlichkeit

Der datenschutzrechtlich Verantwortliche ist derjenige, der „allein oder gemeinsam mit anderen über die Zwecke und Mittel der Verarbeitung personenbezogener Daten entscheidet [33].“ Ihn trifft die Pflicht, für die Einhaltung der DSGVO-Vorschriften zu sorgen – womit bei Verstößen Schadenersatzansprüche und Sanktionen drohen [34].

Im Zusammenhang mit einem Digital Thread ist freilich interessant, wen die datenschutzrechtliche Verantwortlichkeit letztendlich trifft, als die Daten von verschiedenen Akteuren in der Lieferkette (etwa verschiedenen Komponentenherstellern) kommen. Zur Beurteilung der Verantwortlichkeit sind zunächst folgende Aspekte zu beachten:

Als Verantwortlicher kommt jede Organisationsform in Betracht [35]; es muss sich nicht zwingend um einen Menschen handeln. Außerdem können mehrere Personen gemeinsam verantwortlich sein (siehe dazu unten).

Der Verantwortliche entscheidet über die Art und Weise der Datenverarbeitung, die Datenübermittlung und die Löschung der Daten sowie über die technischen und organisatorischen Methoden. Dabei spielt es keine Rolle, ob der Verantwortliche die Daten selbst verarbeitet (oder sich eines Hilfsorganes bedient) bzw. ob ihm die physische Herrschaft über die Daten obliegt (oder eben einer anderen Person bzw. Organisation) [36].

Obliegen die relevanten Entscheidungen bzgl. der Datenverarbeitung mehreren Akteuren gemeinsam, so sieht die DSGVO eine gemeinsame Verantwortlichkeit vor. Konsequenz dieser gemeinsamen Verantwortlichkeit ist eine Solidarhaftung, das heißt betroffene Personen können jeden der gemeinsam Verantwortlichen vollumfänglich zur Haftung heranziehen [37].

Für eine gemeinsame Verantwortlichkeit kommt es darauf an, dass die beteiligten Akteure gleichberechtigt sind, also kein Weisungsverhältnis zwischen ihnen besteht [38]. Den Akteuren muss demnach Entscheidungsmacht hinsichtlich der Ausgestaltung der Datenverarbeitung zukommen – wenn auch nicht notwendigerweise im gleichen Verhältnis [39]. Die gemeinsam Verantwortlichen müssen sich die Daten nicht zwingend gegenseitig übermitteln, und es ist auch nicht erforderlich, dass alle Verantwortlichen Zugang zu den Daten haben [40].

Die gemeinsam Verantwortlichen haben eine sogenannte Joint-Controller-Vereinbarung [41] zu treffen, in der ihre Verantwortungsbereiche geregelt sind [42]. Von dieser Vereinbarung müssen sich betroffene Personen Kenntnis verschaffen können, etwa indem die Vereinbarung öffentlich abrufbar auf der Website bereitgestellt wird [43].

Beachte: Von der gemeinsamen Verantwortlichkeit zu unterscheiden ist die sogenannte Auftragsverarbeitung. Hier führt ein Dritter im Auftrag des Verantwortlichen und unter dessen Weisung die Datenverarbeitung durch und wird dementsprechend dem Verantwortlichen zugerechnet [44].

In der Lieferkette bedeutet dies, dass grundsätzlich sowohl der Hersteller der Maschine als auch die Lieferanten einzelner Komponenten datenschutzrechtlich (unabhängig voneinander) für ihre jeweils eigene Datenverarbeitung verantwortlich sein können. So träfe die Komponenten-Lieferanten die Verantwortlichkeit für die von ihnen verarbeiteten personenbezogenen Daten – diese sind richtig, vollständig und aktuell in den Digital Thread zu integrieren. Kommt den Lieferanten in der Folge kein Einfluss mehr auf die weiteren Datenverarbeitungen im Rahmen des Digital Thread zu, so bestünde diesbezüglich auch keine Verantwortlichkeit mehr [45].

Liegt hinsichtlich der relevanten Entscheidungen eine Kooperation zwischen den Lieferanten und dem Hersteller der Maschine vor und besteht zwischen ihnen kein Über- oder Unterordnungsverhältnis, so ist auch eine gemeinsame Verantwortlichkeit denkbar. Die gemeinsame Verantwortlichkeit kann in diesem Sinne auch nach Lieferung der Komponenten aufrecht bleiben, sofern den Lieferanten Einfluss auf die Entscheidungen bzgl. der Datenverarbeitung zukommt.

5.3. Datenaustausch – Relevante Aspekte des Data Act

Wie bereits oben angedeutet, wird auch der Data Act [46] der Europäischen Union beim Betrieb eines Digital Threads (insbesondere betreffend den Datenzugang [47]) zu beachten sein.

Anwendungsbereich

Sachlicher Anwendungsbereich
Grundsätzlich umfasst der Data Act sowohl personenbezogene als auch nicht-personenbezogene Daten [48]. Das Regelwerk von Kapitel II Data Act betrifft Daten aus vernetzten Produkten oder verbundenen Diensten [49]. Mit dem Begriff „vernetzte Produkte“ sollen insbesondere auch industrielle Maschinen und Anlagen erfasst werden [50].

Persönlicher Anwendungsbereich
Wesentliche Akteure nach dem Data Act sind:

- der Dateninhaber als jener Akteur, der die Verfügungsmacht über die Datengenerierung hat [51];
- der Nutzer als Inhaber des datenerzeugenden Gerätes, welcher zur Datenerzeugung beiträgt [52];
- der Dritte als Datenempfänger, insofern der Nutzer die Datenweitergabe an diesen Dritten verlangt [53].

Um eine unverhältnismäßige Belastung zu vermeiden, profitieren Kleinst- und Kleinunternehmen von einer Ausnahmeregelung, wonach sie nicht zur Umsetzung von Kapitel II Data Act verpflichtet sind, wenn sie vernetzte Produkte herstellen oder konzipieren (oder verbundene Dienste anbieten) [54].

Zeitlicher Anwendungsbereich
Der Data Act ist wie auch die DSGVO unmittelbar anwendbar und tritt gestaffelt in Kraft [55]. Obwohl der Data Act schon seit 12. September 2025 in Kraft getreten ist, gilt z.B. die Pflicht zur Umsetzung eines Datenzugangs „by design“ nach Art 3 Abs 1 Data Act erst für vernetzte Produkte, welche ab dem 12. September 2026 in Verkehr gebracht werden.

Beachte: Bereits anwendbar sind jedoch die Vorschriften für die Datenzugangsansprüche.

Datenzugang „by design“

Der Data Act verlangt von Herstellern, ihre vernetzten Produkte [56] so zu gestalten, dass die generierten Daten „by design“ „einfach, sicher, unentgeltlich in einem umfassenden, strukturierten, gängigen und maschinenlesbaren Format“ für den Nutzer direkt zugänglich sind [57]. Der Nutzer soll somit primär selbst auf seine Daten zugreifen können, z.B. über eine eingerichtete Schnittstelle [58]. Neben den Produktdaten sind auch die dazugehörigen Metadaten zugänglich zu machen [59].

Datenzugangsanspruch des Nutzers

Sollte ein Datenzugang „by design“ aus welchen Gründen auch immer nicht eingerichtet worden sein, kann der Nutzer stattdessen einen Anspruch auf Datenzugang gegen den Dateninhaber richten [60]. In diesem Fall muss der Dateninhaber prüfen, ob der Nutzer zum Herausgabeanspruch der Daten tatsächlich berechtigt ist, welche Daten er bereitzustellen hat, und in diesem Zusammenhang ist insbesondere auch zu ermitteln, ob er für bestimmte Daten Zugangs- oder Verwendungsbeschränkungen entgegenhalten kann.

Grundsätzlich sieht der Data Act eine Herausgabepflicht nur für Produktdaten in Rohform vor [61]. Bereits an dieser Stelle ergibt sich jedoch ein Konfliktpotenzial mit dem sui-generis-Leistungsschutzrecht schlichter Datenbanken, da nicht abschließend geklärt ist, ab welchem Aufbereitungsgrad die Herausgabepflicht nach dem Data Act tatsächlich endet und der Schutz als schlichte Datenbank greift [62].

Und auch die Zugangs- und Verwendungsbeschränkungen, die der Dateninhaber als Rechtfertigung für die Zurückhaltung oder Einschränkung der herausgegebenen Daten verwenden kann, stehen in einem Spannungsverhältnis mit anderen geschützten Rechtsgütern: Neben der Beeinträchtigung der Sicherheitsanforderungen des vernetzten Produkts [63] und kartellrechtlichen Bedenken [64] kann der Dateninhaber auch den Schutz von Geschäftsgeheimnissen behaupten. Wie bereits oben dargestellt, können schließlich auch in bloßen Rohdaten Geschäftsgeheimnisse enthalten sein.

Der Data Act räumt kein pauschales Leistungsverweigerungsrecht ein [65], sondern sieht im Falle betroffener Geschäftsgeheimnisse ein abgestuftes Vorgehen vor: Zunächst haben sich Dateninhaber und Nutzer darum zu bemühen, angemessene Schutzmaßnahmen (sogenannte TOMs“ [66]) zu ermitteln, welche durch den Nutzer umzusetzen sind [67]. Ist der Nutzer zur Umsetzung angemessener TOMs nicht willig, kann der Dateninhaber die Weitergabe jener Daten verweigern, welche er als Geschäftsgeheimnisse identifiziert hat. Sollten die vereinbarten TOMs unzureichend umgesetzt werden, oder wird trotz vereinbarungsgemäßer Umsetzung der TOMs die Vertraulichkeit der Geschäftsgeheimnisse dennoch verletzt, kann der Dateninhaber vorerst die Weitergabe dieser Daten aussetzen [68]. Nur im Falle außergewöhnlicher Umstände beim Dateninhaber ist ausnahmsweise eine unmittelbare Herausgabeverweigerung der betroffenen Daten gerechtfertigt [69].

Trotz der Bemühungen, den Schutz von Geschäftsgeheimnissen angemessen zu würdigen, wird in der Literatur diese Kompromisslösung zwischen Datenzugang und Geschäftsgeheimnisschutz durchaus kritisch aufgenommen. Bedenken herrschen etwa dahingehend, dass der Dateninhaber die Last trägt, aus der Unmenge an Daten jene Daten zu ermitteln, welche tatsächlich Geschäftsgeheimnisse enthalten, und auf-

grund der abgestuften Vorgehensweise das Risiko trägt, Daten mit Geschäftsgeheimnissen herausgeben zu müssen, wobei bei Missbrauch der Geschäftsgeheimnisschutz auch bei Aussetzung der Datenweitergabe unumkehrbar erlischt [70].

Anspruch des Nutzers auf Weitergabe von Daten an Dritte

Neben einer unmittelbaren Herausgabe an den Nutzer selbst sieht der Data Act zusätzlich auch die Möglichkeit vor, dass der Nutzer einen Dritten als Datenempfänger [71] benennt und den Dateninhaber auffordert, die Daten an diesen Dritten weiterzugeben [72]. Weiterzugeben sind dieselben Daten, welche der Nutzer für sich selbst herausverlangen kann, wobei die Bereitstellung auf derselben Art und Weise zu erfolgen hat. Die Einschränkungen nach Art 4 Data Act gelten zudem inhaltsgleich für die Datenweitergabe an einen Dritten [73].

Beachte: Anders als bei der Herausgabe an den Nutzer, welche unentgeltlich zu erfolgen hat, kann der Dateninhaber im Falle eines B2B-Verhältnisses Bedingungen für die Bereitstellung der Daten aufstellen und dabei insbesondere eine Gegenleistung vorsehen [74].

5.4. Relevante Aspekte des AI Act

Große Relevanz hat seit Beginn des Projekts „TraceMe“ auch der Einsatz von Künstlicher Intelligenz („KI“) gewonnen. Immer mehr Unternehmen setzen zunehmend auf die Umsetzung von KI-Lösungen zur Steigerung der Arbeitseffizienz. In einem Digital Thread können Daten über den gesamten Lebenszyklus einer Anlage hinweg gesammelt werden. Um einen Mehrwert aus den gesammelten Daten zu gewinnen, müssen diese Daten verarbeitet und analysiert werden. Angesichts der unüberschaubaren Menge an Daten, die im Rahmen der Lebensdauer einer Anlage entsteht, ist daher der Einsatz von KI naheliegend, um die Daten schneller und effizienter zu verwerten.

Der Einsatz von KI innerhalb der Europäischen Union ist jedoch inzwischen einem eigenen rechtlichen Regelwerk unterworfen: Mit der Umsetzung des AI Acts [75] (auch KI-Verordnung genannt) ist der Einsatz von KI – je nach Risikoeinordnung – mit gewissen Verpflichtungen verbunden. Der AI Act ist künftig wie die DSGVO unmittelbar anwendbar. Entspricht das KI-Tool nicht den Vorgaben dieses neuen Rechtsaktes, drohen empfindliche Bußgelder [76]. Nachfolgend werden bloß die wichtigsten Aspekte des AI Acts speziell für Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbausektors behandelt.

Anwendungsbereich

Sachlicher Anwendungsbereich

Der AI Act regelt sogenannte „KI-Systeme“ sowie „KI-Modelle mit allgemeinem Verwendungszweck“ („GPAIs“) [77]. Da GPAIs große KI-Modelle wie etwa die GPT-Modelle von OpenAI erfassen soll, wird auf die Regelungen zu GPAI im Rahmen dieser Analyse nicht näher eingegangen.

Der Auslegung des Begriffs „KI-System“ kommt dementsprechend zentrale Bedeutung zu, möchte der AI Act doch nur KI und gerade nicht herkömmliche Software erfassen.

Ein KI-System wird definiert als ein „maschinengestütztes System, das für einen in unterschiedlichem Grade autonomen Betrieb ausgelegt ist und das nach seiner Betriebsaufnahme anpassungsfähig sein kann und das aus den erhaltenen Eingaben für explizite oder implizite Ziele ableitet, wie Ausgaben wie etwa Vorhersagen, Inhalte, Empfehlungen oder Entscheidungen erstellt werden, die

physische oder virtuelle Umgebungen beeinflussen können." [78]

Trotz Bemühungen um eine ausreichend deutliche Begriffsdefinition schafft die Begriffserklärung zum KI-System nur wenig Klarheit. In der Literatur finden sich bereits erste Versuche, greifbare Kriterien für eine sachgerechte Auslegung des KI-Systems festzulegen (siehe etwa den „Drei-Faktor-Ansatz" von Wendehorst/Nessler/Aufreiter/Aichinger [79]). Inzwischen hat auch die Europäische Kommission Leitlinien zur Definition von KI-Systemen veröffentlicht. Aufgrund der Komplexität von KI-Systemen beantworten leider auch die Leitlinien nicht klar, anhand welcher Kriterien auf jeden Fall ein KI-System (oder zumindest auf jeden Fall keines) vorliegt [80]. Unternehmen, welche (potenzielle) KI-Tools einsetzen oder anbieten wollen, müssen aktuell anhand der in den Leitlinien dargelegten Kriterien selbst beurteilen, ob ihre Softwareanwendung ein KI-System darstellt oder nicht. Bis zu einer Behandlung durch die Höchstgerichte oder der Veröffentlichung weiterer Durchführungsrechtsakte durch die Europäische Kommission wird die korrekte Einordnung als KI-System vorerst mit Unsicherheit behaftet sein.

Persönlicher Anwendungsbereich

Aufgrund der langen Wertschöpfungskette bei KI sieht der AI Act für unterschiedliche Akteure unterschiedliche Verpflichtungen vor: Adressaten der verschiedenen Verpflichtungen sind Anbieter, Produktherstellen, Betreiber, Bevollmächtigte, Einführer und Händler [81], wobei für Anbieter von Hochrisiko-KI-Systemen der umfangreichste Pflichtenkatalog [82] gilt.

Anbieter im Sinne des AI Act ist „eine natürliche oder juristische Person, Behörde, Einrichtung oder sonstige Stelle, die ein KI-System oder ein KI-Modell mit allgemeinem Verwendungszweck entwickelt oder entwickeln lässt und es unter ihrem eigenen Namen oder ihrer Handelsmarke in Verkehr bringt oder das KI-System unter ihrem eigenen Namen oder ihrer Handelsmarke in Betrieb nimmt, sei es entgeltlich oder unentgeltlich" [83]. Dabei ist insbesondere zu beachten, dass bereits Inbetriebnahme unter eigenem Namen oder Handelsmarke die Anbieterrolle und nicht bloß die Betreiberrolle begründet.

Die bloße Niederlassung im EU-Ausland steht der Anwendung des AI Acts nicht entgegen: Zum einen folgt der AI Act dem Marktortprinzip, sodass er auch für Anbieter gilt, die im EU-Ausland niedergelassen sind, wenn diese Anbieter am EU-Binnenmarkt ihr KI-System in Verkehr bringen oder in Betrieb nehmen [84]. Zum anderen reicht bereits aus, dass der KI-Output in der Union verwendet wird [85].

Doch auch Nicht-Anbieter können unter bestimmten Umständen in die Anbieterrolle rutschen (sogenannte „Quasi-Anbieter"). Der AI Act regelt drei Fälle, in denen Händler, Einführer, Betreiber oder sonstige Dritte den Anbieterpflichten unterliegen:

1. Der Akteur bringt seinen Namen oder die Handelsmarke an ein bereits in Verkehr gebrachtes oder in Betrieb genommenes Hochrisiko-KI-System an;
2. Der Akteur nimmt wesentliche Veränderungen an einem Hochrisiko-KI-System, das bereits in Verkehr gebracht oder in Betrieb genommen wurde, vor, wobei es weiterhin ein Hochrisiko-KI-System im Sinne des Art 6 AI Act bleibt;
3. Der Akteur ändert die Zweckbestimmung eines KI-Systems, welches bereits in Verkehr gebracht oder in Betrieb genommen wurde und ur-

sprünglich nicht als hochriskant einzustufen war, so um, dass das (neue) KI-System nunmehr als Hochrisiko-KI-System im Sinne von Art 6 AI Act zu werten ist [86].

Beachte: Liegt ein solcher Fall vor, ist nicht mehr der Erstanbieter für das neue KI-System verantwortlich, sondern der ursprüngliche Nicht-Anbieter. Dieser löst als neuer „Quasi-Anbieter" den Erstanbieter ab und ist für die Erfüllung der Anbieterpflichten für das neue KI-System alleinig verantwortlich [87].

Zeitlicher Anwendungsbereich

Der AI Act ist als EU-Verordnung unmittelbar anwendbar und tritt gestaffelt in Kraft [88]. Die Verordnung gilt grundsätzlich ab dem 2. August 2026, wobei zahlreiche Kapitel bereits in Kraft sind, so etwa das Verbot inakzeptabler KI-Praktiken (seit 2. Februar 2025). Die Einstufung als Hochrisiko-KI-Systeme sowie die damit verbundenen Pflichten gelten erst ab dem 2. August 2027.

Zu erwähnen ist, dass der AI Act für solche KI-Systeme, die vor dem 2. August 2026 in Verkehr gebracht oder in Betrieb genommen und in ihrer Konzeption nicht erheblich verändert wurden, einen Bestandsschutz vorsieht. Für solche KI-Systeme sind die Bestimmungen des AI Act noch unbeachtlich, was sich in dem Moment ändert, in dem eine erhebliche Konzeptionsveränderung eintritt.

Risikobasierter Ansatz

Der AI Act folgt einem risikobasierten Ansatz und unterscheidet zwischen drei Risikostufen: Verbotene Praktiken [89] sind – wie der Name schon verrät – gänzlich verboten. Dabei handelt es sich um KI-Systeme mit schwerwiegenden Risiken für Grundrechte und demokratische Werte. Nicht verboten, jedoch mit strengen Compliance-Pflichten verbunden, sind Hochrisiko-KI-Systeme [90]. KI-Systeme mit begrenztem Risiko sind zuletzt nur zu Transparenz verpflichtet [91]. Lässt sich das KI-System in keine dieser Risikostufen einordnen, handelt es sich um ein KI-System mit minimalem Risiko und ist keinen besonderen Verpflichtungen unterworfen.

Aufgrund des umfangreichen Pflichtenkatalogs für Hochrisiko-KI-Systeme ist es für Unternehmen von großer Bedeutung, korrekt zu bestimmen, ob das KI-Tool als Hochrisiko-KI-System zu werten ist.

Hochrisiko-KI-Systeme

Ein Hochrisiko-KI-System im Sinne des AI Act liegt dann vor, wenn

a) das KI-System selbst ein Produkt nach den in Anhang I angeführten EU-Produktsicherheitsrechtsakten ist oder das KI-System als Sicherheitsbauteil eines solchen Produkts verwendet werden soll, und
b) das KI-System als Produkt bzw. das Produkt, dessen Sicherheitsbauteil das KI-System ist, einer Konformitätsbewertung durch Dritte unterzogen werden muss [92].

Handelt es sich um ein hochriskantes KI-System, so muss der Anbieter zahlreiche Pflichten wie etwa die Umsetzung eines Risikomanagementsystems, besondere Qualitätsanforderungen für Daten oder technische Dokumentationspflichten erfüllen [93].

Prüfschritte für Hochrisiko-KI-Systeme im Maschinen- und Anlagenbau

Aufgrund des komplexen Zusammenspiels von AI Act und der im Maschinen- und Anlagenbau einschlägigen Maschinen-Verordnung (siehe hierzu unten) soll sogleich dargestellt werden, welche Prüfschritte sich in Zusammenschau dieser beiden Rechtsakte ergeben.

KI-System?
Freilich stellt sich zunächst die Frage, ob die Anwendung überhaupt als KI-System zu werten ist. Zweifellos liegt ein KI-System dann vor, wenn ein GPAI wie z.B. ein Large Language Model eingebunden ist und etwa Prozesshinweise zur Maschine generiert. Aufgrund der vielfältigen technischen Umsetzungsmöglichkeiten und des unklaren Begriffs des „KI-Systems" handelt es sich hierbei um eine Einzelfallbeurteilung.

Hochrisiko-KI-System nach Anhang III?
Die Europäische Kommission hat die Möglichkeit eingeräumt, bestimmte KI-Systeme explizit zu Hochrisiko-KI-Systemen zu benennen [94]. Zu diesem Zweck nennt Anhang III zum AI Act bestimmte sensible Einsatzbereiche von KI-Systemen, etwa kritische Infrastruktur. Der Maschinen- und Anlagenbau per se ist in Anhang III nicht enthalten.

Produkt nach einem Produktsicherheitsrechtsakt
Ob es sich also bei einem KI-Tool im Bereich des Maschinen- und Anlagenbaus um ein Hochrisiko-KI-System handelt, ist primär anhand von Art 6 Abs 1 AI Act zu beurteilen.

Das Hochrisiko ergibt sich unter anderem daraus, dass ein Produkt betroffen ist, welches nach einschlägigem Produktsicherheitsrecht einer Konformitätsbewertung durch Dritte unterliegt. Dabei kann entweder das KI-System an sich schon das betroffene Produkt darstellen, oder Sicherheitsbauteil eines solchen Produkts sein. Die einschlägigen Rechtsakte sind in Anhang I zum AI Act aufgelistet, wobei die Maschinen-Richtlinie an erster Stelle steht. Da die Maschinen-Richtlinie durch die Maschinen-Verordnung abgelöst wird, konzentriert sich die nachfolgende Analyse auf das komplexe Zusammenspiel von AI Act und Maschinen-Verordnung.

Grundsätzlich umfasste bereits die Maschinen-Richtlinie neben Maschinen im engen Sinne auch Maschinen im weiten Sinne [95]. Die Maschinen-Verordnung trennt nun in Maschinen und dazugehörige Produkte, wobei insbesondere Sicherheitsbauteile als dazugehörige Produkte zu werten sind. Eine wesentliche Änderung zur Maschinen-Richtlinie setzt die Maschinen-Verordnung bei der Frage zu Software um: Die Begriffsbestimmung der Maschinen-Verordnung zum „Sicherheitsbauteil" stellt nunmehr klar, dass es sich bei einem Sicherheitsbauteil um „ein physisches oder digitales Bauteil, einschließlich Software" handeln kann [96]. Aus diesem Grund zählt die Maschinen-Verordnung in ihrem Anhang II in der (nicht erschöpfenden) Liste an möglichen Sicherheitsbauteilen auch „Sicherheitsbauteile mit vollständig oder teilweise selbstentwickelndem Verhalten unter Verwendung von Ansätzen des maschinellen Lernens, die Sicherheitsfunktionen gewährleisten" (Z 19), auf. Obwohl die Europäische Kommission hier offensichtlich auf die Regulierung von Künstlicher Intelligenz abzielte [97], wirft die unterschiedliche Formulierung zu KI die Frage auf, inwiefern das Verständnis von KI in Maschinen-Verordnung und AI Act deckungsgleich ist [98].

Sicherheitsbauteil ist entsprechend der Maschinen-Verordnung somit [99]:
- ... ein (physisches oder digitales) Bauteil einer Maschine oder eines dazugehörigen Produkts,
- ... welches zur Gewährleistung einer Sicherheitsfunktion konstruiert oder bestimmt ist, und
- ... dessen Ausfall/Fehlfunktion zur Gefährdung von Personen führen kann, und
- ... welches gesondert in Verkehr gebracht wurde, aber
- ... es ist nicht für das Funktionieren der

Maschine oder eines dazugehörigen Produkts erforderlich bzw. es kann durch normale Bauteile ersetzt werden.

Sicherheitsfunktion „bezeichnet eine Funktion, die als Schutzmaßnahme zur Beseitigung oder, falls dies nicht möglich ist, zur Reduzierung eines Risikos fungiert, wobei ein Ausfall dieser Funktion zu einer Erhöhung dieses Risikos führen könnte [100].“ Das relevante Risiko ist hierbei in Zusammenhang mit der Gefährdung von Personen zu verstehen [101].

Damit der AI Act greift, muss die Maschine oder ein dazugehöriges Produkt (hier: KI als Sicherheitsbauteil) jedoch der strengen Konformitätsbewertung durch Dritte unterliegen [102]. Tatsächlich sieht die Maschinen-Verordnung bereits für ein KI-Tool eine Konformitätsbewertung durch Dritte vor. Die Maschinen-Verordnung legt eine Kategorie an Maschinen und dazugehörigen Produkten mit erhöhtem Risikopotenzial fest, für welche jedenfalls die Einbindung einer notifizierten Prüfstelle erforderlich ist [103]. Gemeint sind damit Maschinen und dazugehörige Produkte, die in Anhang I Teil A Maschinen-Verordnung aufgezählt sind:

1. Abnehmbare Gelenkwellen einschließlich ihrer trennenden Schutzeinrichtungen;
2. Trennende Schutzeinrichtungen für abnehmbare Gelenkwellen;
3. Hebebühnen für Fahrzeuge;
4. Tragbare Befestigungsgeräte mit Treibladung und andere Schussgeräte;
5. Sicherheitsbauteile mit vollständig oder teilweise selbstentwickelndem Verhalten unter Verwendung von Ansätzen des maschinellen Lernens, die Sicherheitsfunktionen gewährleisten;
6. Maschinen, die über eingebettete Systeme mit vollständig oder teilweise selbstentwickelndem Verhalten unter Verwendung von Ansätzen des maschinellen Lernens verfügen, die Sicherheitsfunktionen gewährleisten, die nicht gesondert in Verkehr gebracht wurden, nur in Bezug auf diese Systeme [104].

Wie anhand von Anhang I Teil A Maschinen-Verordnung zu sehen ist, unterliegt auch KI im Maschinen- und Anlagenbau einer Konformitätsbewertung durch Dritte, wenn sie als Sicherheitsbauteil oder als eingebettetes System in Maschinen mit Sicherheitsfunktion zum Einsatz kommt [105]. Damit ist das KI-Tool bereits Produkt im Sinne der Maschinen-Verordnung, welches einer Konformitätsbewertung durch Dritte unterliegt. Dieses KI-Tool erfüllt somit Art 6 Abs 1 lit a zweite Alternative (KI-System ist das Produkt selbst) und lit b (Konformitätsbewertung durch Dritte) AI Act und ist als Hochrisiko-KI-System nach dem AI Act zu werten.

Neben einer Konformitätsbewertung nach der Maschinen-Verordnung muss das KI-Tool auch eine Konformitätsbewertung nach dem AI Act erfüllen. Um eine Doppelbelastung zu vermeiden, sieht der AI Act vor, dass die Anforderungen an Hochrisiko-KI-Systeme nach dem AI Act gleich in die Konformitätsbewertung nach dem einschlägigen Produktsicherheitsrecht (hier: Maschinen-Verordnung) miteinbezogen werden [106].

Beachte: Bereits die Maschinen-Verordnung erfasst also bestimmte KI-Systeme, welche auf maschinellem Lernen basieren, als Sicherheitsbauteile und damit in der Folge als „Produkt“ im Sinne des AI Act. Davon zu unterscheiden ist der Begriff des Sicherheitsbauteils eines Produkts nach dem AI Act selbst.

Sicherheitsbauteil eines Produkts
Aufgrund der Absicht des Unionsgesetzgebers, KI-Einsatz mit erhöhtem Risikopotenzial bereits auf Ebene der Maschinen-Verordnung zu erfassen, wird wohl grundsätzlich mit Art 6 Abs 1 lit a zweite Alternative AI Act (KI als das Produkt selbst) bereits der Großteil der einschlägigen Hochrisiko-KI-Systeme erfasst werden.

Ist das KI-Tool nicht als Sicherheitsbauteil nach der Maschinen-Verordnung zu werten, darf jedoch nicht zu voreilig eine Anwendbarkeit des AI Act verneint werden. Denn mit Art 6 Abs 1 lit a erste Alternative AI Act sind auch solche KI-Systeme hochriskant, wenn sie Sicherheitsbauteil eines Produkts sind, welches einem Produktsicherheitsrechtsakt nach Anhang I AI Act unterliegt, und einer Konformitätsbewertung durch Dritte unterzogen werden muss.

Auch bei dieser Alternative bedarf es einer Maschine oder eines dazugehörigen Produkts, für welche/s die Maschinen-Verordnung eine Konformitätsbewertung durch Dritte vorsieht (siehe oben). Insbesondere ist auch die Konstellation möglich, in welcher ein KI-Tool als Sicherheitsbauteil eines anderen KI-Tools zum Einsatz kommt, wobei letzteres als Sicherheitsbauteil der Maschinen-Verordnung unterliegt [107].

Sicherheitsbauteil nach dem AI Act ist ein „Bestandteil eines Produkts oder KI-Systems, der eine Sicherheitsfunktion für dieses Produkt oder KI-System erfüllt oder dessen Ausfall oder Störung die Gesundheit und Sicherheit von Personen oder Eigentum gefährdet [108].“

Obwohl sich der Unionsgesetzgeber schlussendlich dazu entschieden hat, denselben Begriff „Sicherheitsbauteil“ wie in den Produktsicherheitsrechtsakten zu verwenden, ist das Sicherheitsbauteil nach dem AI Act nicht inhaltsgleich mit dem Sicherheitsbauteil nach der Maschinen-Verordnung.

Zum einen stellt der AI Act auf Erfüllung einer Sicherheitsfunktion oder Gefährdung durch Ausfall oder Störung ab. Sicherheitsbauteile sind somit nicht nur KI-Systeme, welche vom Hersteller mit einer Sicherheitsfunktion konzipiert wurden. Allein die objektive Tatsache, dass deren Ausfall oder Störung Schäden herbeiführen können, genügt für die Einordnung als Sicherheitsbauteil [109]. Zum anderen ist nicht nur die Gefährdung von Personen umfasst, sondern auch die Gefährdung von Eigentum [110].

Ein KI-System ist somit nach dem AI Act dann ein Sicherheitsbauteil, wenn [111]:
- … es ein Bestandteil eines Produkts oder KI-Systems ist,
- … wobei das Produkt (oder KI-System als Produkt) einer Konformitätsbewertung durch Dritte unterliegt, und
- … das KI-System für das Produkt oder KI-System eine Sicherheitsfunktion erfüllt, oder
- … Ausfall/Störung gefährden die Gesundheit oder Sicherheit von Personen oder Eigentum.

Haftung bei KI?
Die Komplexität der Materie in Kombination mit der großen Ungewissheit rund um den AI Act lassen den Ruf nach einheitlichen Haftungsregeln betreffend KI immer lauter werden. So veröffentlichte die Europäische Kommission einen Vorschlag [112] für eine KI-Haftungsrichtlinie, der jedoch im Februar 2025 überraschend zurückgezogen wurde. Zum aktuellen Zeitpunkt ist daher unklar, wie Haftungsfragen betreffend KI künftig geregelt werden [113].

Auf unionsrechtlicher Ebene ist allerdings darauf hinzuweisen, dass im Oktober 2024 eine neue Produkthaftungsrichtlinie (PHRL 2024) veröffentlicht wurde, die einige wesentliche Änderungen im Vergleich zur bisherigen Produkthaftungsrichtlinie aus dem Jahr 1985 (und dem darauf basierenden österreichischen Produkthaftungsgesetz) mit sich bringt. Diese neue Richtlinie ist bis 9. Dezember 2026 umzusetzen [114], sodass bis zu diesem Zeitpunkt noch die „alte" Rechtslage gilt.

Bei der Produkthaftung handelt es sich um eine verschuldensunabhängige Haftung, sodass es keine Rolle spielt, ob der beim Geschädigten eingetretene Schaden vom Schädiger verschuldet wurde. Die Haftung knüpft an (im konkreten Einzelfall) fehlerhafte Produkte [115]. Durch die neue Produkthaftungsrichtlinie wurde die langjährige kontroverse Diskussion hinsichtlich der Produkteigenschaft von Software endgültig beendet, als diese nunmehr ausdrücklich den Produktbegriff erfüllt und damit eine Produkthaftung auslösen kann. So sollen künftig auch sämtliche KI-Systeme von der Produkthaftung erfasst sein [116].

5.5. Anforderungen an Cybersecurity

In einer zunehmend digitalisierten Industrie ist der Schutz von Informations- und Kommunikationstechnologien ein Schlüsselfaktor für Wettbewerbsfähigkeit und Compliance. Da der Digital Thread sensible Unternehmens- und Produktdaten über verschiedene Systeme, Standorte und Akteure hinweg verknüpft, entstehen neue Risiken für Datenmanipulation und Spionage sowie die Offenlegung von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen. Die unionsrechtlichen Cybersecurity-Bestimmungen bilden das Fundament dafür, dass der Einsatz eines Digital Threads nicht nur technisch effizient, sondern auch rechtlich und sicherheitstechnisch abgesichert erfolgt.

So legt der EU Cyber Resilience Act [117] (CRA) die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Entwicklung sicherer Produkte mit digitalen Elementen fest. Die Hersteller werden in die Pflicht genommen, die Sicherheit ihrer Produkte während des gesamten Lebenszyklus zu gewährleisten und so Produkte mit weniger Schwachstellen in Verkehr zu bringen [118]. Es handelt sich – ebenso wie bei der DSGVO – um eine Verordnung der Europäischen Union, wodurch die Bestimmungen unmittelbar anzuwenden sind.

Produkte mit digitalen Elementen werden als Software- oder Hardwareprodukte und deren Datenfernverarbeitungslösungen [119] verstanden [120]. Hardware erfasst in diesem Zusammenhang physische Informationssysteme zur Speicherung, Übertragung oder Verarbeitung von Daten sowie dazugehörige Komponenten. Nicht-physische elektronische Informationssysteme und dazugehörige Komponenten sind unter dem Begriff der Software zusammengefasst, wobei damit sowohl integrierte Software als auch Standalone-Software gemeint sind [121]. Software-as-a-Service (SaaS) ist hingegen ausdrücklich nicht Gegenstand des CRA, es sei denn, Cloud-Lösungen bilden als Backend einen Teil des Produkts [122].

Der Digital Thread als Gesamtkonstrukt wird wohl kein solches Produkt mit digitalen Elementen darstellen, doch kann dies sehr wohl auf die einzelnen Komponenten (das heißt die konkret eingesetzte Software, die Sensoren, Kommunikationstechnologien, usw.) zutreffen. Handelt es sich also bei der jeweiligen Komponente des Digital Threads um ein

Hard- oder Softwareprodukt mit (in-)direkter Datenverbindung zu einem anderen Gerät oder Netzwerk, so kommt eine Anwendbarkeit des CRA in Betracht [123].

Beachte: Die Bestimmungen des CRA kommen stets nur dann zur Anwendung, wenn die Komponente als Produkt mit digitalen Elementen auf dem Unionsmarkt bereitgestellt, das heißt entgeltlich oder unentgeltlich im Rahmen einer Geschäftstätigkeit zum Vertrieb oder zur Verwendung abgegeben wird [124].

Bis 11. 12. 2027 haben Unternehmen sicherzustellen, dass ihre Produkte mit digitalen Elementen den Anforderungen des CRA entsprechen [125]. Dies gilt grundsätzlich nicht für Produkte, die vor dem 11. 12. 2024 in Verkehr gebracht wurden, da der CRA zu diesem Zeitpunkt noch nicht in Geltung war.

Beachte: Ausnahmsweise muss der CRA aber auch in diesen Fällen beachtet werden – nämlich dann, wenn das Produkt später (das heißt nach dem 11. 12. 2024) wesentlich geändert wurde [126].

Den zweiten wesentlichen Rechtsakt auf dem Gebiet der Cybersicherheit stellt die NIS2-Richtlinie [127] dar. Die Vorgaben der Richtlinie müssen erst innerstaatlich umgesetzt werden (etwa in einem österreichischen NIS2-Gesetz) und sind sohin noch nicht unmittelbar anwendbar [128].

Nach der NIS2-Richtlinie sind die EU-Mitgliedstaaten verpflichtet, die Ergreifung technischer, operativer und organisatorischer Risikomanagementmaßnahmen betreffend Cybersicherheit durch öffentliche oder private Einrichtungen in Sektoren mit hoher Kritikalität [129] bzw. in sonstigen kritischen Sektoren [130] sicherzustellen [131]. Grundsätzlich ist eine Einrichtung der betreffenden Sektoren aber nur dann erfasst, wenn sie bestimmten Größenkriterien entspricht – sie muss als mittleres Unternehmen gelten oder die Schwellenwerte für mittlere Unternehmen überschreiten [132].

Indem der Teilsektor „Maschinenbau“ ausdrücklich vom kritischen Sektor „Verarbeitendes Gewerbe/Herstellung von Waren“ erfasst ist [133], dürfen die Vorgaben der NIS2-Richtlinie (und des künftigen österreichischen Gesetzes) keinesfalls vernachlässigt werden. In diesem Zusammenhang sind die Wirtschaftstätigkeiten nach Abschnitt C Abteilung 28 der Statistischen Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft [134] relevant [135].

Die konkrete Ausgestaltung der Richtlinien-Vorgaben wird sich erst durch die österreichische Umsetzung zeigen – allerdings ist zu erwähnen, dass die Europäische Kommission bereits eine Durchführungsverordnung [136] betreffend die technischen und methodischen Anforderungen an die zu ergreifenden Risikomanagementmaßnahmen erlassen hat.

Referenzen

[1] Vgl § 292 ABGB; Zur hA siehe etwa Holzner in ABGB-ON1.07 § 354 Rz 1 (Stand 1.10.2025, rdb.at); Kietaibl in Klang II3 (2011) ABGB § 354 Rz 1, Winner in Rummel/Lukas, ABGB4 § 354 Rz 1, 3 (Stand 1.7.2016, rdb.at).

[2] Freilich gibt es im Rahmen der Vertragsgestaltung zahlreiche Variationen, welche den Übergang des Eigentums beeinflussen können.

[3] Vgl etwa Determann, Gegen Eigentumsrechte an Daten, ZD 2018, 503; Hoeren, Datenbesitz statt Dateneigentum, MMR 2019, 5; Kühling/Sackmann, Irrweg „Dateneigentum", ZD 2020, 24; Wagner in MünchKomm/BGB, § 823 BGB, 9. Aufl. 2024, Rz 285; Sendlmeier, Digitalisierung und Recht, GPR 2020, 111.

[4] Vgl Zech, Information als Schutzgegenstand (2012), 117 ff.

[5] Siehe etwa Kraul, „Recht an Daten": Aktuelle Gesetzeslage und vertragliche Ausgestaltung, GRUR-Prax 2019, 478 (478 f).

[6] Für österreichische Marken § 10 Markenschutzgesetz (MSchG) bzw für Unionsmarken Art 9 Unionsmarkenverordnung (UMV).

[7] Für österreichische Geschmacksmuster § 4 Musterschutzgesetz (MuSchG) bzw für Unionsgeschmacksmuster (ehemals: Gemeinschaftsgeschmacksmuster) Art 19 Unionsgeschmacksmusterverordnung (UGV).

[8] Dies wird zukünftig aufgrund der EU-Designrechtsreform auch gesetzlich verankert, siehe Art 16 Abs 2 lit d Richtlinie (EU) 2024/2823 und Art 19 Abs 2 lit d Verordnung (EU) 2024/2822.

[9] Vgl § 1 Abs 3 Z 5 und Z 6 PatG; Zur Frage, unter welchen Voraussetzungen ein Patentschutz für Daten nach deutscher Rechtslage möglich ist, vgl Landscheidt, Der patentrechtliche Schutz von Daten und seine Grenzen. Gleichzeitig ein Beitrag zum Erfordernis der Technizität informationsbezogener Erfindungen sowie der Körperlichkeit von Erzeugnissen im Sinne des § 9 S. 2 Nr. 1 PatG (2023), URL: https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-43119-8 (open access; zuletzt abgefragt am 18.11.2025).

[10] Vgl § 1 UrhG.

[11] Vgl § 40a UrhG.

[12] Vgl Wiebe/Pabst in Handig/Hofmarcher/Kucsko, urheber.recht3 § 40a UrhG Rz 6 ff (Stand 1.8.2023, rdb.at).

[13] Vgl §§ 40f ff UrhG und §§ 76c ff UrhG.

[14] § 40f Abs 1 UrhG.

[15] Vgl § 76c Abs 1 UrhG

[16] Vgl Woller in Handig/Hofmarcher/Kucsko, urheber.recht3 § 76c UrhG Rz 9 f (Stand 1.8.2023, rdb.at); es handelt sich daher auch um keinen urheberrechtlichen Schutz, sondern um ein eigenes Leistungsschutzrecht.

[17] Vgl Wiebe, Schutz von Maschinendaten durch das sui-generis-Schutzrecht für Datenbanken, GRUR 2017, 338 (340 f); Woller in Handig/Hofmarcher/Kucsko, urheber.recht3 § 76c UrhG Rz 17 (Stand 1.8.2023, rdb.at); die Frage der Abgrenzung zwischen Datengenerierung und Datensammlung bereits behandelnd EuGH 9. 11. 2004, C-203/02, British Horseracing Board/William Hill Organization; 9. 11. 2004, C-338/02, Fixtures Marketing Ltd/Svenska Spel AB.; 9. 11. 2004, C-444/02, Fixtures Marketing Ltd/Organismos prognostikon agonon podosfairou AE (OPAP).

[18] Vgl §§ 26a ff UWG; Thiele in Wiebe/Kodek, UWG2 § 26b Rz 7 (Stand 1.11.2022, rdb.at).

[19] Vgl § 26b Abs 1 UWG.

[20] Vgl Krüger/Wiencke/Koch, Der Datenpool als Geschäftsgeheimnis, GRUR 2020, 578 (580).

[21] Siehe von vielen zB Hessel/Leffer, Rechtlicher Schutz maschinengenerierter Daten. Schutz durch das GeschGehG, MMR 2020, 647 (649); Görg in Görg, UWG § 26b Rz 30.

[22] Vgl Krüger/Wiencke/Koch, Der Datenpool als Geschäftsgeheimnis, GRUR 2020, 578 (580 f).

[23] So etwa in der Stahlindustrie, vgl Hessel/Leffer, Rechtlicher Schutz maschinengenerierter Daten. Schutz durch das GeschGehG, MMR 2020, 647 (650).

[24] Zum Schutz von Produktionsverfahren als Betriebsgeheimnis auch OGH 27. 4. 1995, 8 ObA 225/95.

[25] Vgl OGH 26. 1. 2021, 4 Ob 188/20f mit Hinweis auf ErwGr 14 Geschäftsgeheimnis-RL.

[26] Vgl Hessel/Leffer, Rechtlicher Schutz maschinengenerierter Daten. Schutz durch das GeschGehG, MMR 2020, 647 (649).

[27] Insbesondere zivilrechtliche Schadenersatzansprüche, aber auch Straftatbestände wie etwa § 123 StGB (Auskundschaftung eines Geschäfts- oder Betriebsgeheimnisses) oder § 124 StGB (Auskundschaften eines Geschäfts- oder Betriebsgeheimnisses zugunsten des Auslandes).

[28] Vgl Görg in Görg, UWG § 26b Rz 14; Homar, Schutz vor Geschäftsgeheimnissen, in Wiebe (Hrsg), Wettbewerbs- und Immaterialgüterrecht5 (2022) 451.

[29] Vgl Homar, Schutz vor Geschäftsgeheimnissen, in Wiebe (Hrsg), Wettbewerbs- und Immaterialgüterrecht5 (2022) 448.

[30] Verordnung (EU) 2016/679, https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj?locale=de (zuletzt abgefragt am 18.11.2025).

[31] Vgl https://eur-lex.europa.eu/DE/legal-content/summary/european-union-regulations.html (zuletzt abgefragt am 18.11.2025).

[32] Vgl Art 4 Z 1 DSGVO.

[33] Vgl Art 4 Z 7 DSGVO.

[34] Hödl in Knyrim, DatKomm Art 4 DSGVO Rz 77 f (Stand 1.12.2018, rdb.at).

[35] Hödl in Knyrim, DatKomm Art 4 DSGVO Rz 81 (Stand 1.12.2018, rdb.at).

[36] Hödl in Knyrim, DatKomm Art 4 DSGVO Rz 84 (Stand 1.12.2018, rdb.at).

[37] Martini in Paal/Pauli, DS-GVO3 (2021) Art 26 Rz 4 f (beck-online.de).

[38] Frank-Woda/Steiner, Datenschutz in der Unternehmenspraxis (2022) 133 (lindedigital.at);

[39] Wyrobek in Knyrim, DatKomm Art 26 Rz 3 (Stand 1.6.2021, rdb.at).

[40] Wyrobek in Knyrim, DatKomm Art 26 Rz 3 (Stand 1.6.2021, rdb.at); vgl EuGH 10. 7. 2018, C-25/17, Zeugen Jehovas, ECLI:EU:C:2018:551 Rz 69; EuGH 5. 6. 2018, Wirtschaftsakademie Schleswig-Holstein, C-210/16, ECLI:EU:C:2018:388 Rz 38; EuGH 29. 7. 2019, C-40/17, Fashion ID, ECLI:EU:C:2019:629 Rz 69; EuGH 5. 12. 2023, C-683/21, Covid-App Litauen, ECLI:EU:C:2023:949 Rz 42.

[41] Frank-Woda/Steiner, Datenschutz in der Unternehmenspraxis (2022) 133 (lindedigital.at).

[42] Wird eine solche Vereinbarung nicht geschlossen, drohen Geldbußen, vgl Martini in Paal/Pauli, DS-GVO3 (2021) Art 26 Rz 22 (beck-online.de).

[43] Es muss nicht zwingend die gesamte Vereinbarung einsehbar sein, doch soll die gemeinsame Verantwortung offengelegt, die Verarbeitungssituation dargestellt sowie die Verteilung der Verantwortlichkeiten beschrieben werden, vgl Wyrobek in Knyrim, DatKomm Art 26 Rz 38 f (Stand 1.6.2021, rdb.at).

[44] Daneben lösen auch sogenannte „Controller to Controller"-Verarbeitungsketten keine gemeinsame Verantwortlichkeit aus, denn hier handelt es sich um die Datenübermittlung an voneinander unabhängige Dritte, die die Daten für ihre jeweils eigenen Zwecke verarbeiten, vgl Wyrobek in Knyrim, DatKomm Art 26 Rz 3 (Stand 1.6.2021, rdb.at).

[45] Vgl dazu EuGH 29. 7. 2019, C-40/17, Fashion ID, ECLI:EU:C:2019:629 Rz 74 und 85, wonach keine Verantwortlichkeit für eine nachgelagerte Datenverarbeitung besteht, wenn keine Mitentscheidung mehr

hinsichtlich der Zwecke und Mittel der Datenverarbeitung vorliegend ist.

[46] Verordnung (EU) 2023/2854, https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/2854/oj/eng (zuletzt abgefragt am 18.11.2025).

[47] Art 8 ff Data Act.

[48] Beachte, dass personenbezogene Daten aus vernetzten Produkten und verbundenen Diensten weiterhin der DSGVO unterliegen, vgl Art 1 Abs 5 Data Act.

[49] Vgl Art 1 Abs 2 lit a Data Act: "Kapitel II gilt für Daten, mit Ausnahme von Inhalten, die die Leistung, Nutzung und Umgebung von vernetzten Produkten und verbundenen Diensten betreffen".

[50] Vgl ErwGr 14 Data Act.

[51] Vgl Art 2 Z 13 Data Act; nach hA soll die Kontrolle über die Datengenerierung weiterhin als ungeschriebenes Merkmal hinzugelesen werden, vgl Heinzke/Herbers/Kraus, Datenzugangsansprüche nach dem Data Act, BB 2024, 649 (649 f).

[52] Vgl Art 2 Z 12 Data Act.

[53] Vgl Art 2 Z 14 Data Act.

[54] Vgl 7 Abs 1 Data Act; beachte jedoch die Gegenausnahme für den Fall, dass das Kleinst- oder Kleinunternehmen ein Partnerunternehmen, ein verbundenes Unternehmen oder ein Unterauftragnehmer ist!

[55] Vgl Art 50 Data Act.

[56] Diensteanbieter werden für den Zweck dieser Analyse nicht genannt, die Bestimmungen gelten jedoch inhaltsgleich für verbundene Dienste.

[57] Vgl Art 3 Abs 1 Data Act.

[58] Vgl Heinzke/Herbers/Kraus, Datenzugangsansprüche nach dem Data Act, BB 2024, 649 (651).

[59] Vgl Art 3 Abs 1 Data Act.

[60] Vgl Art 4 Abs 1 Data Act.

[61] Vgl Art 2 Z 17 Data Act.

[62] Zusätzlich sorgt auch Art 43 Data Act für Verwirrung, welcher scheinbar den sui-generis-Datenbankschutz ausschließt, vgl von vielen zB Antoine in Hoeren/Sieber/Holznagel (Hrsg.), Handbuch Multimedia-Recht62 (2024), Teil 7.6 Datenbankherstellerrecht Rz 22.

[63] Art 4 Abs 2 Data Act rechtfertigt in diesem Fall zu vertraglichen Beschränkungen.

[64] Gemeint sind das Konkurrenzverbot für den Datenempfänger gemäß Art 4 Abs 10 Data Act sowie ein verbotener Informationsaustausch im Sinne des Art 101 AEUV.

[65] Siehe auch ErwGr 31 Data Act.

[66] TOS = technische und organisatorische Maßnahmen.

[67] Vgl Art 4 Abs 6 Data Act mit Beispielen angemessener TOS.

[68] Vgl Art 4 Abs 7 Data Act; beachte jedoch die Mitteilungspflicht an Nutzer und zuständige Behörde.

[69] Beachte jedoch den Prozess für die Geltendmachung dieses ausnahmsweisen Verweigerungsfalls in Art 4 Abs 8 Data Act.

[70] Vgl etwa sehr kritisch Grützmacher, Data Act: Datenzugang und Geschäftsgeheimnisschutz, CR 2024, 281.

[71] Beachte jedoch die Ausnahme, wonach Torwächter im Sinne des Digital Markets Act nicht als Datenempfänger zugelassen sind, vgl Art 5 Abs 3 Data Act.

[72] Vgl Art 5 Abs 1 Data Act.

[73] Vgl Art 5 Abs 6, 9, 10, 11 und 12 Data Act.

[74] Vgl Art 8 und 9 Data Act.

[75] Verordnung (EU) 2024/1689, https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj/eng (zuletzt abgefragt am 18.11.2025).
[76] Vgl Art 99 AI Act.
[77] Vgl Art 2 Abs 1 AI Act.
[78] Vgl Art 3 Abs 1 AI Act.
[79] Vgl Wendehorst/Nessler/Aufreiter/Aichinger, Der Begriff des „KI-Systems" unter der neuen KI-VO, MMR 2024, 605; die Autoren schlagen ein abgestuftes Punktesystem anhand mehrerer Beurteilungskriterien vor, anhand welcher ermittelt wird, ob (eher) ein KI-System vorliegt oder (eher) nicht.
[80] https://digital-strategy.ec.europa.eu/de/library/commission-publishes-guidelines-ai-system-definition-facilitate-first-ai-acts-rules-application (zuletzt abgefragt am 18.11.2025); vgl Rz 6 der Leitlinien: „Considering the wide variety of AI systems, it is not possible to provide an exhaustive list of all potential AI systems in these Guidelines. This is in line with recital 12 AI Act, which clarifies that the notion of an 'AI system' should be clearly defined while providing 'the flexibility to accommodate the rapid technological developments in this field'. The definition of an AI system should not be applied mechanically; each system must be assessed based on its specific characteristics."
[81] Vgl Art 3 Z 8 AI Act.
[82] Vgl Art 8 ff AI Act.
[83] Vgl Art 3 Z 3 AI Act.
[84] Vgl Art 2 Abs 1 lit a AI Act: „Diese Verordnung gilt für Anbieter, die in der Union KI-Systeme in Verkehr bringen oder in Betrieb nehmen oder KI-Modelle mit allgemeinem Verwendungszweck in Verkehr bringen, unabhängig davon, ob diese Anbieter in der Union oder in einem Drittland niedergelassen sind".
[85] Vgl Art 2 Abs 1 lit c AI Act: „Diese Verordnung gilt für Anbieter und Betreiber von KI-Systemen, die ihren Sitz in einem Drittland haben oder sich in einem Drittland befinden, wenn die vom KI-System hervorgebrachte Ausgabe in der Union verwendet wird".
[86] Vgl Art 25 Abs 1 AI Act.
[87] Vgl Art 25 Abs 2 AI Act.
[88] Vgl Art 113 AI Act.
[89] Vgl Art 5 AI Act.
[90] Vgl Art 6 – 49 AI Act.
[91] Vgl Art 50 AI Act.
[92] Vgl Art 6 Abs 1 AI Act.
[93] Siehe zu der umfangreichen Liste an Pflichten Art 8 ff AI Act.
[94] Vgl Art 6 Abs 2 AI Act.
[95] Gemeint sind weitere Bestandteile von Maschinen wie zB Sicherheitsbauteile, welche unter der Maschinen-Richtlinie noch als „Maschine" gewertet werden, vgl Europäische Kommission, Leitfaden für die Anwendung der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG, Ausgabe 2.3 (April 2024), § 33 Die Verwendung des Begriffs „Maschine" im weiteren Sinne, URL: https://www.wko.at/oe/gewerbe-handwerk/mechatroniker/leitfaden-maschinenrichtlinie (zuletzt abgefragt am 18.11.2025).
[96] Vgl Art 3 Z 3 Maschinen-VO.
[97] Vgl ErwGr 12 zur Maschinen-Verordnung: „[...] In dem Bericht der Kommission vom 19. Februar 2020 über die Auswirkungen von künstlicher Intelligenz, des Internets der Dinge und der Robotik auf die Sicherheit und Haftung wird festgestellt, dass die Entstehung neuer digitale Technologien, wie künstliche Intelligenz, das Internet der Dinge und die Robotik, neue Herausforderungen in Bezug auf die Produktsicherheit mit sich bringt. [...]"

[98] Die Maschinen-Verordnung stellt offensichtlich nur auf „Ansätze des maschinellen Lernens“ ab. Auch wenn viele KI-Systeme auf maschinellem Lernen basieren, gibt es KI-Systeme, die auf anderen Ansätzen als maschinellem Lernen aufbauen, zB Expertensysteme.

[99] Vgl Art 3 Z 3 Maschinen-VO.

[100] Vgl Art 3 Z 4 Maschinen-VO.

[101] Da auch das Sicherheitsbauteil gemäß Art 3 Z 3 Maschinen-Verordnung auf die Gefährdung von Personen durch Ausfall oder Fehlfunktion des Sicherheitsbauteils abstellt.

[102] Mit „Konformitätsbewertung durch Dritte“ verlangt der AI Act die Einbindung einer notifizierten Stelle, vgl ErwGr 125 zum AI Act.

[103] Vgl Art 25 Abs 2 Maschinen-VO.

[104] Da es sich um eingebettete Systeme handelt, sind diese dem Grunde nach Sicherheitsbauteile, welche aber nicht gesondert in Verkehr gebracht werden.

[105] Vgl Z 5 und Z 6 des Anhang I Teil A Maschinen-VO.

[106] Vgl Art 43 Abs 3 AI Act.

[107] Nicht zuletzt suggeriert der AI Act in Art 3 Z 14 diese Möglichkeit, ist doch ein Sicherheitsbauteil ein „Bestandteil eines Produkts oder KI-Systems […]“.

[108] Vgl Art 3 Z 14 AI Act.

[109] Vgl Kirschke-Biller/Füllsack in Schefzig/Kilian (Hrsg.), BeckOK KI-Recht2 Art 3 Rz 259 KI-VO (Stand 01.05.2025, beck-online.de).

[110] Vgl Kirschke-Biller/Füllsack in Schefzig/Kilian (Hrsg.), BeckOK KI-Recht2 Art 3 Rz 261 KI-VO (Stand 01.05.2025, beck-online.de).

[111] Vgl Art 6 Abs 1 AI Act und Art 3 Z 14 AI Act.

[112] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022PC0496 (zuletzt abgefragt am 18.11.2025).

[113] Zu den möglichen Szenarien vgl etwa Wendt, KI-Strategie der EU ohne KI-Haftungs-RL? ZfPC 2025, 45.

[114] Vgl Art 22 Abs 1 PHRL 2024.

[115] Koziol/Apathy/Koch, Haftpflichtrecht III3 B/ Rz 17 f (Stand 1.9.2014, rdb.at).

[116] Wendehorst, Die neue Produkthaftungsrichtlinie – ein Beispiel gelungener Modernisierung, GPR 2024, 148 Rz 11.

[117] Verordnung (EU) 2024/2847, https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/2847/oj/deu?locale=de (zuletzt abgefragt am 18.11.2025).

[118] Vgl ErwGr 2 CRA.

[119] Eine Datenfernverarbeitung ist eine „entfernt stattfindende Datenverarbeitung, für die eine Software vom Hersteller selbst oder unter dessen Verantwortung konzipiert und entwickelt wird und ohne dies das Produkt mit digitalen Elementen eine seiner Funktionen nicht erfüllen könnte,“ vgl Art 3 Z 2 CRA.

[120] Vgl Art 3 Z 1 CRA.

[121] Škorjanc/Winkelmeier, Cyber Resilience Act – produktbezogene Cybersicherheit, ecolex 2025/212.

[122] Schöttle, Der Cyber Resilience Act: Hintergrund, Produktkategorien und Sicherheitsanforderungen, MMR 2024, 741 (742) bezugnehmend auf ErwGr 11 und 12 CRA.

[123] Siehe dazu https://www.itk-engineering.de/stories/industrial-cyber-security/?keyword=cyber%20resilience%20act%20maschinenbau&device=c&network=g&gad_source=1&gad_campaignid=22661447756&gbraid=0AAAAAqYxUJTsi9hKAsmYi8g8ZsOUaOOOx&gclid=EAIaIQob-

ChMI962u0-KCjwMVEY2DBx1obBfwEAAYASAAEglyNfD_BwE (zuletzt abgefragt am 18.11.2025).

[124] Vgl Art 2 Abs 1 iVm Art 3 Z 22 CRA.

[125] Mit dem CRA konforme Produkte erhalten künftig eine CE-Kennzeichnung, vgl Škorjanc/Winkelmeier, Cyber Resilience Act – produktbezogene Cybersicherheit, ecolex 2025/212.

[126] Gemeint ist damit etwa eine Änderung der Zweckbestimmung, eine Erweiterung der Funktionen oder eine Erhöhung der Sicherheitsrisiken des Produktes mit digitalen Elementen, vgl Škorjanc/Winkelmeier, Cyber Resilience Act – produktbezogene Cybersicherheit, ecolex 2025/212; vgl Art 71 Abs 2 und Art 69 Abs 2 CRA.

[127] Richtlinie (EU) 2022/2555 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Dezember 2022 über Maßnahmen für ein hohes gemeinsames Cybersicherheitsniveau in der Union, zur Änderung er Verordnung (EU) Nr. 910/2014 und der Richtlinie (EU) 2018/1972 sowie zur Aufhebung der Richtlinie (EU) 2016/1148 (NIS-2-Richtlinie), L 333/80.

[128] Vgl https://eur-lex.europa.eu/DE/legal-content/summary/european-union-directives.html (zuletzt abgefragt am 18.11.2025).

[129] Vgl Anhang I zur NIS2-RL.

[130] Vgl Anhang II zur NIS2-RL.

[131] Vgl Art 21 NIS2-RL.

[132] Die relevanten Maßstäbe sind in der Empfehlung 2003/361/EG festgelegt, vgl https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003H0361 (zuletzt abgefragt am 18.11.2025).

[133] Vgl Anhang II Z 5 zur NIS2-RL.

[134] https://showvoc.op.europa.eu/#/datasets/ESTAT_Statistical_Classification_of_Economic_Activities_in_the_European_Community_Rev._2.1._%28NACE_2.1%29/data?resId=http:%2F%2Fdata.europa.eu%2Fux2%2Fnace2.1%2F28 (zuletzt abgefragt am 18.11.2025).

[135] Vertiefend zur NACE Rev. 2 vgl etwa https://www.bundesbank.de/resource/blob/612610/05aee14424424ae5788ff02087aabf7c/mL/nace-rev-2-data.pdf (zuletzt abgefragt am 18.11.2025).

[136] Durchführungsverordnung (EU) 2024/2690, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202402690 (zuletzt abgefragt am 18.11.2025).

Fazit

Die Ergebnisse des Projekts verdeutlichen, dass der Maschinen- und Anlagenbau an einem strukturellen Wendepunkt steht. Die Komplexität moderner Systeme, die steigende Dynamik internationaler Liefernetzwerke, der regulatorische Druck und die Erwartung digitaler Transparenz erfordern ein neues Verständnis von Produktentwicklung, Datenmanagement und interdisziplinärer Zusammenarbeit. Der Digital Thread erweist sich dabei als zentraler Ordnungsrahmen, der diese Herausforderungen adressiert, indem er Daten, Modelle und Prozesse über alle Phasen des Lebenszyklus von Produkten bzw. Systemen hinweg integriert. Er schafft eine verbindliche, interpretierbare und erweiterbare Infrastruktur für digitale Daten und Datenflüsse,, die die Grundlage für zukunftsfähige digitale Geschäftsmodelle und einen konsistenten Umgang mit technischen Informationen bildet.

Die Analyse der bestehenden Prozesslandschaften zeigt, dass heterogene Systeme, manuelle Abstimmungen und fragmentierte Datenhaltung nicht länger tragbar sind, wenn Unternehmen flexibel, präzise und effizient agieren wollen. Durchgängige, vernetzte Daten und Datenstränge (Datennetzwerke) ermöglichen nicht nur eine verbesserte Wiederverwendung und automatisierte Ableitung von Varianten, sondern auch eine signifikant höhere Produktqualität bei gleichzeitig reduzierten Entwicklungs- und Änderungsaufwänden. Besonders die Traceability, sowohl rückwärts in Richtung Entscheidungs- und Datenherkunft als auch vorwärts in Richtung Auswirkungen und Abhängigkeiten, ist ein wesentlicher Baustein für Robustheit und Transparenz. Sie bildet die Grundlage für Auditierbarkeit, Risikobewertung und sichere Anpassbarkeit komplexer Systeme.

Ein wesentliches Ergebnis des Projekts ist, dass Methodenkompetenz der Schlüssel zur Beherrschung von Komplexität ist. Modellbasierte Ansätze, insbesondere MBSE, ermöglichen eine gemeinsame Sprache über Disziplinen hinweg und reduzieren damit Schnittstellenverluste, Interpretationsfehler und redundante Modellbildung. Gleichzeitig zeigt sich, dass die Einführung solcher Methoden eine tiefgreifende Veränderung von Denkweisen und Organisationsstrukturen erfordert. Die Umstellung von komponentenorientierten auf funktions- und systemorientierte Vorgehensmodelle verlangt ein höheres Abstraktionsvermögen und eine stärkere interdisziplinäre Zusammenarbeit. Die technologische Entwicklung allein kann diese Transformation nicht leisten; sie muss durch qualifizierte und methodisch geschulte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter getragen werden.

Der Einsatz von KI stellt einen weiteren Enabler für die Realisierung der Durchgängigkeit dar, kann jedoch nur dann produktiv genutzt werden, wenn Datenqualität, Datenmodelle und Prozesse strukturiert, konsistent und maschinenlesbar vorliegen. KI entfaltet ihren Nutzen nicht im unstrukturierten Datenraum, sondern in klar modellierten, semantisch verknüpften Informationssystemen. Das Projekt zeigt, dass KI gestützte Verfahren in der Anforderungsanalyse, Zeichnungsprüfung, Qualitätskontrolle oder Prognose bereits heute klare Effizienzsteigerungen erzielen

können, sofern eine robuste Datenbasis existiert. Damit wird der Digital Thread auch zur Voraussetzung für den verantwortungsvollen und wirtschaftlich sinnvollen Einsatz von KI.

Die Betrachtung rechtlicher Aspekte macht deutlich, dass die durchgängige Digitalisierung nur dann nachhaltig funktioniert, wenn sie von Beginn an rechtskonform gestaltet wird. Datenschutz, Data Act, AI Act, Cyber Resilience Act und die NIS2 Richtlinie definieren neue Anforderungen, die direkt in die Systemarchitektur, in Datenmodelle und in organisatorische Prozesse einfließen müssen. Rechtssicherheit entsteht nicht durch nachträgliche Prüfung, sondern durch technische und organisatorische Co-Konzeption. Die Verbindung von IT-Architektur, Engineering, Modellierung und juristischen Gestaltungskonzepten ist daher ein unverzichtbarer Bestandteil des Digital Thread. Ebenso zeigt sich, dass Data Governance eine Grundvoraussetzung für jede Form digitaler Durchgängigkeit ist. Ohne klare Verantwortlichkeiten, definierte Rollen, einheitliche Begrifflichkeiten, gepflegte Stammdaten und dokumentierte Datenmodelle ist jede Digitalisierungsanstrengung langfristig instabil. Daten müssen als strategisches Asset verstanden werden, das gepflegt, versioniert, qualitätsgesichert und organisationsweit nutzbar gemacht werden muss. Unternehmen, die Data Governance vernachlässigen, verlieren nicht nur Effizienz, sondern riskieren Fehlentscheidungen, Compliance Verstöße und operative Risiken.

Die prototypischen Implementierungen haben gezeigt, dass digitale Durchgängigkeit keine theoretische Vision, sondern in der Praxis vielfach bereits unverzichtbare Realität ist, jedoch ständig weiterentwickelt werden muss. Die KI-basierte Anforderungsanalyse, die mechatronische Stückliste, der Einsatz von ECLASS und der interdisziplinäre Prozessplaner beweisen, dass durchgängige Datenmodelle und modellbasierte Methoden unmittelbar messbare Vorteile erzeugen. Sie reduzieren Fehler, beschleunigen Abläufe, steigern Transparenz und schaffen die Grundlage für Wiederverwendung, Automatisierung und intelligente Assistenzsysteme. Gleichzeitig wird deutlich, dass die Skalierung dieser Ansätze Zeit, Struktur, Methodenkompetenz, Disziplin und kontinuierliche Weiterentwicklung erfordert.

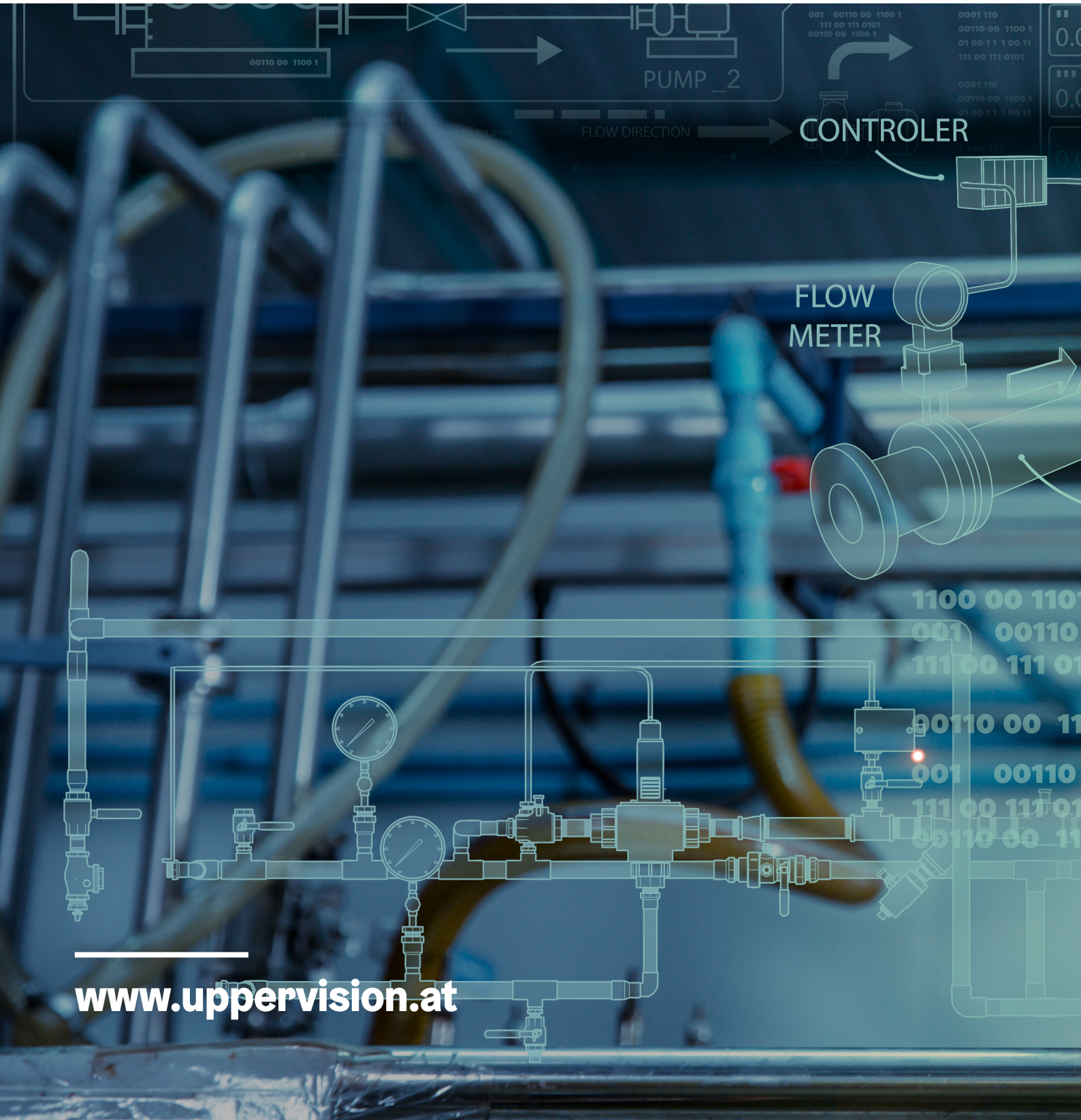
Das Fazit verdeutlicht, dass die Einführung des Digital Thread nicht nur ein technologisches Projekt ist, sondern eine tiefgreifende organisatorische und kulturelle Transformation verlangt. Sie erfordert langfristige Planung, angemessenes Change Management, unternehmensweite Schulung und eine klare strategische Ausrichtung. Die Unternehmen, die es schaffen, Methodenkompetenz, Datenqualität, technologische Infrastruktur und rechtliche Anforderungen in einem konsistenten Gesamtmodell zu vereinen, werden langfristig in der Lage sein, überlegene Produkte und Serviceleistungen zu entwickeln und zu realisieren. Der Digital Thread wird damit zu einem zentralen Wettbewerbsfaktor im Maschinen- und Anlagenbau, der die Grundlage für Innovation, Effizienzsteigerung und nachhaltige Wertschöpfung bildet.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Typische Grundstrukturen im V-Modell (VDI 2206) für die Verwendung in der Produktentwicklung und Produktionssystementwicklung
Abbildung 2: Neugestaltungsgrenze zwischen bestehenden („vorrätigen“) und neu zu gestaltenden Lösungen
Abbildung 3: Neugestaltungsgrenze zwischen bestehenden („vorrätigen“) und neu zu gestaltenden Lösungen
Abbildung 4: Zusammenhang zwischen Kostenbeeinflussbarkeit und Kostenentwicklung. Quelle: https://www.transformatik.ch/blog/projektinitialisierung-eine-wertvolle-investition
Abbildung 5: Hauptfunktionen einer KI-gestützten Anforderungsanalyse
Abbildung 6: Artikel Klassifizierung auf Zeichnung
Abbildung 7: Zielleitbild der Firma BRAUN
Abbildung 8: Klassifizierung der Artikel
Abbildung 9: Specification of Asset Administration Sell: Part 1: Metamodel IDTA; Number: 01001, Version 3.1.2, Oktober 2025, S. 14
Abbildung 10: Datendurchgängigkeit im und außerhalb des Unternehmens: (1) Kunde stellt Anforderungen an Produkte (z.B. Einzelkomponenten), daraus entstehen Anforderungen, die an Lieferanten weitergegeben (2) bzw. in der Eigenfertigung (3) z.B. bei der Wahl der Produktionssysteme berücksichtigt werden müssen.
Abbildung 11: Date Governance and Data Management, DAMA-DMBOK, Deborah Henderson et al. (editors), 2024 DAMA International, p. 74]

IMPRESSUM: Der Mechatronik-Cluster ist eine Initiative der Länder Oberösterreich und Niederösterreich. Träger sind die regionalen Standortagenturen Business Upper Austria und ecoplus. Medieninhaber (Verleger) und Herausgeber: Business Upper Austria – OÖ Wirtschaftsagentur GmbH, Hafenstraße 47-51, 4020 Linz, Telefon: +43 732 79810, E-Mail: mechatronik-cluster@biz-up.at, www.mechatronik-cluster.at. Für den Inhalt verantwortlich: Werner Pamminger

Notizen



www.uppervision.at