



TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
CHEMNITZ

**Konzeption eines reifegradbasierten Integrationsprozesses  
für die Anwendung der  
Geometrischen Produktspezifikation**

von der Fakultät für Maschinenbau der  
Technischen Universität Chemnitz genehmigte

Dissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor-Ingenieur

Dr.-Ing.

vorgelegt von  
Dipl.-Ing. Juliane Schuldt

Gutachterin / Gutachter (akademischer Grad, Vorname, Name):

Prof. Dr.-Ing. habil. Sophie Gröger

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schütte

Tag der Einreichung: 20.12.2022

Tag der Verteidigung: 02.06.2023

Veröffentlichungsjahr: 2023

Zitierlink (bei Onlineausgabe): <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa2-857786>

Das Werk – ausgenommen das Logo der TU Chemnitz und die Abbildungen 2, 6, 9 -  
stehen unter der Creative-Commons-Lizenz

Attribution - 4.0 International (CC BY 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



## **Bibliografische Beschreibung**

Schuldt, Juliane

Konzeption eines reifegradbasierten Integrationsprozesses für die Anwendung der Geometrischen Produktspezifikation

Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz, Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse, Professur Fertigungsmesstechnik,  
Chemnitz, 20.12.2022

121 Seiten

38 Abbildungen

12 Tabellen

110 Literaturzitate

### Referat

Das System der Geometrischen Produktspezifikation und -verifikation als größtes Normensystem der ISO hat das Ziel, nonverbal die Anforderungen an technische Spezifikation sowie deren dazugehörige Messung zur Verfügung zu stellen. Durch die ständig steigende Komplexität in den letzten Jahren, ist dieses System in den Unternehmen kaum bekannt bzw. es wird nur unzureichend angewendet. Ziel dieser Dissertation ist es, Methoden und Vorgehensweisen zu entwickeln, um den Unternehmen die Chance zu geben, ein gelebtes GPS-System einzuführen, aufrechtzuerhalten, zu verbessern und weiterzuentwickeln. Als Ergebnis sind eine GPS-Roadmap, ein GPS-Aus- und Weiterbildungskonzept sowie ein GPS-Reifegradmodell entstanden.

### Schlagworte

Geometrische Produktspezifikation und -verifikation, ISO GPS-System, GPS-Ausbildungskonzept, GPS-Lernzieltaxonomie, GPS-Integrationsvorgehen, GPS-Roadmap, GPS-Reifegradmodell, GPSlife

## Vorwort

Diese Dissertation ist während meiner wissenschaftlichen Tätigkeit an der Professur Fertigungsmesstechnik an der Technischen Universität in Chemnitz entstanden.

An dieser Stelle möchte ich jedem Menschen meinen großen Dank aussprechen, die mich bei der Anfertigung meiner Dissertation unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt Frau Professor Sophie Gröger für die ausgezeichnete Betreuung bei der Umsetzung meiner Forschungsideen. Ich verdanke ihr darüber hinaus jede erdenkliche, hilfreiche Unterstützung und viele anregende Diskussionen. Jede Phase dieser Arbeit wurde von ihr intensiv, professionell und warmherzig begleitet. Besonders bedanken will ich mich auch für die Freiheit, die sie mir während des gesamten Forschungsprojektes gewährte, was maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beitrug. Ihr kompetenter Rat und ihre Hilfe kam mir in zahlreichen Angelegenheiten sehr zugute.

Ich bedanke mich bei Herrn Professor Wolfgang Schütte, der mich im Rahmen meiner Forschungstätigkeiten mit Anregungen und produktiven Gesprächen begleitet hat. Seine Art Menschen zu motivieren und sich für Lernende einzusetzen ist ein Vorbild für mich.

Ich danke allen meinen Kollegen und wissenschaftlichen Hilfskräften an der Professur Fertigungsmesstechnik für die Anregungen und Denkanstöße, die meine Arbeit geprägt haben.

Meinem Christian und meinen drei Kindern danke ich für ihre seelische und moralische Unterstützung, Geduld, Ermutigungen, Zusprüche während der Arbeit an dieser Dissertationsschrift.

Die verwendeten Fachbegriffe und Erläuterungen im ISO GPS-System entsprechen der Normung zum Stand September 2022. Spätere Änderungen wurden nicht berücksichtigt.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Bibliografische Beschreibung</b> .....	<b>III</b>
<b>Vorwort</b> .....	<b>IV</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>IX</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Hinführung zum Thema .....	1
1.2 Motivation .....	2
1.3 Aufbau der Arbeit .....	4
<b>2 Stand der Technik</b> .....	<b>6</b>
2.1 System der Geometrischen Produktspezifikation und Verifikation .....	6
2.1.1 Normung.....	6
2.1.2 Aufbau des ISO GPS-Systems.....	7
2.1.3 Inhalte des ISO GPS-Systems .....	8
2.1.4 Ziel und Nutzen der Anwendung des ISO GPS-Systems .....	11
2.1.5 Aktueller Stand der Anwendung des ISO GPS-Systems.....	13
2.2 Aktueller Stand der GPS-Aus- und Weiterbildung .....	15
2.2.1 Allgemeines .....	15
2.2.2 Ausbildungsunternehmen und Verbreitung der Ausbildung.....	15
2.2.3 Zielgruppen, Lehrformen und Lernumgebung .....	17
2.2.4 Lehrinhalt und Struktur .....	18
2.2.5 Qualifizierungsdauer, -nachweis und -kosten .....	20
2.2.6 GPS&V-Toolbox als internationaler Lehransatz .....	21
2.2.7 Erwerb von Wissen und Kompetenzen.....	23
2.2.8 Lernzieltaxonomie .....	26
2.3 Integration von Systemen.....	28
2.3.1 Arten von Systemen .....	28

---

2.3.2	Einführungsprozess als Veränderungsprozess .....	31
2.3.3	Agilität und die Rolle im Ausbildungs- und Integrationsprozess .....	33
2.3.4	Benchmarking, um den optimalen Integrationsprozess zu finden.....	35
2.3.5	Grafische Darstellung des Integrationsvorgehens .....	37
2.4	Modelle zur Bestimmung der Reife eines Systems .....	37
2.4.1	Einführung .....	37
2.4.2	Begrifflichkeiten .....	38
2.4.3	Existierende Reifegradmodelle.....	40
2.4.4	Modelltypen .....	43
2.4.5	Methodisches Vorgehen zur Entwicklung eines Reifegradmodells.....	44
<b>3</b>	<b>Defizite und Hypothesen .....</b>	<b>46</b>
3.1	Herausforderung bei der Anwendung des GPS-Systems in KMU.....	46
3.2	Forschungsfrage .....	47
3.3	Hypothesen .....	48
<b>4</b>	<b>Lösungsansatz.....</b>	<b>52</b>
4.1	Allgemeines.....	52
4.2	Roadmap.....	53
4.3	Ausbildungskonzept .....	55
4.4	Reifegradmodell .....	56
<b>5</b>	<b>Herangehensweise und Umsetzung .....</b>	<b>61</b>
5.1	Entwicklung der GPS-Roadmap.....	61
5.1.1	Vorarbeiten und Begriffsdefinition.....	61
5.1.2	Entwicklung Benchmarking-Prozess .....	62
5.1.3	Anwendung Benchmarking-Prozess.....	63
5.1.4	Modellierung des ISO GPS-Integrationsvorgehen.....	69
5.1.5	Visualisierung der GPS-Roadmap mit draw.io.....	73

---

5.2	Entwicklung des GPS-Aus- und Weiterbildungskonzeptes .....	81
5.2.1	Vorarbeiten .....	81
5.2.2	Entwicklung Ausbildungslevel und Fachkräftestruktur .....	82
5.2.3	Strukturierung des GPS-Systems .....	84
5.2.4	Clusterung der GPS-Normeninhalte .....	85
5.2.5	Anwendung der Lernzieltaxonomie .....	88
5.2.6	Entwicklung von GPS-Kompetenzen .....	89
5.3	Entwicklung des GPS-Reifegradmodells .....	90
5.3.1	Vorarbeiten und Begriffsdefinition .....	90
5.3.2	Vorgehen für GPS-Reifegradmodellentwicklung .....	93
5.3.3	Definition der Reifegradstufen .....	94
5.3.4	Entwurf und Zuordnung der Reifegraddimensionen und -indikatoren....	96
5.3.5	Bestimmung des Reifegrades.....	96
5.3.6	Erstellung eines Fragebogens .....	98
5.3.7	Auswertung.....	99
<b>6</b>	<b>Verifizierung und Validierung .....</b>	<b>105</b>
6.1	Anwendung der GPS-Roadmap .....	105
6.2	Anwendung des GPS-Ausbildungskonzeptes .....	106
6.3	Anwendung des GPS-Reifegradmodells .....	107
6.4	Kritische Diskussion der Ergebnisse .....	110
6.5	Fazit zur Behebung des Defizites und Auswertung der Hypothesen .....	112
6.5.1	GPS-System agil einführen und den Fortschritt mit einem Reifegradmodell bewerten.....	112
6.5.2	Zerlegung des GPS-Systems in Wissenselemente .....	113
6.5.3	Ausbildungslevel mittels Lernzieltaxonomie beschreiben .....	115
6.5.4	Ausbildungsinhalte und Anwendungsbeispiele in den fünf Levels.....	116
6.5.5	Lernzieltaxonomie zur Reifegradbeschreibung verwenden .....	117

6.5.6	Beantwortung der Forschungsfrage .....	118
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>119</b>
7.1	Zusammenfassung.....	119
7.2	Weiterführende Ansätze und Empfehlungen .....	120
	<b>Anlagen und Verzeichnisse.....</b>	<b>X</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>XI</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>XIX</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>XXI</b>
	<b>Anlagen.....</b>	<b>XXII</b>



## Abkürzungsverzeichnis

3D	dreidimensional
AiF	Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschung
ANP	Ausschuss Normenpraxis
App	Application
ASME	American Society of Mechanical Engineers
BFW	Berufsförderungswerke
BS	British Standard
CAD	Computer Added Design
CAM	Computer Added Manufacturing
CAQ	Computer Added Quality
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CMM	Capability Maturity Model
DGQ	Deutsche Gesellschaft für Qualität
DIN	Deutsches Institut für Normung
DKE	Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik
DT	Digital Twin
EFQM	European Foundation for Quality Management
EN	Europa Norm
E-Learning	Electronic Learning
ERP	Enterprise Ressource Planning
GPS	Geometrische Produktspezifikation und -verifikation
HTML	Hypertext Markup Language
HWK	Handwerkskammer

IATM	Integrated Agile Transformation Model
IHK	Industrie- und Handelskammer
IGF	Industrielle Gemeinschaftsforschung
ISKO	International Society for Knowledge Organization
ISO	International Standard Organisation
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
KPI	Key Performance Indicator
MBD	Model Based Definition
PPS	Produktion - Planung – Steuerung
PMI	Product Manufacturing Information
QM	Qualitätsmanagement
QMMG	Quality Management Maturity Grid
RADAR	Results - Approach - Deployment - Assessment – Refinement
TED	theoretical exact dimension
TU	Technische Universität
UN	Unternehmen
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
WBT	Webbased Training

*„Die reinste Form des Wahnsinns ist es, alles beim Alten zu lassen und zu hoffen,  
dass sich etwas ändert.“*

*-Albert Einstein-*

## **1 Einleitung**

### **1.1 Hinführung zum Thema**

Mit der geometrischen Produktspezifikation und -verifikation (ISO GPS-System) wird seit über 25 Jahren ein System bereitgestellt, welches die eindeutige und nonverbale Spezifikation von Werkstücken sowie deren Verifikation beinhaltet.

Die Anwendung des ISO GPS-Systems in Unternehmen scheint auf den ersten Blick eine schnelle und kurz abzuarbeitende Aufgabe zu sein. Der Stand der Technik ist in zahlreichen Normen beschrieben, es existiert diverse Fachliteratur und in verschiedensten Tabellenbüchern finden sich unterschiedliche Inhalte dazu. Auch das Erstellen von technischen Zeichnungen hat eine lange Geschichte, bereits im 15. Jahrhundert hat Leonardo da Vinci (1452 - 1519) seine Erfindungen auf Zeichnungen festgehalten. In der jüngeren Menschheitsgeschichte wurde Technisches Zeichnen immer häufiger eingesetzt. Erste Belege finden sich unter anderem im 17. Jahrhundert in den Unterlagen des französischen Flugpioniers Jacques de Vaucanson (1709 - 1782). Weitere Hinweise konnten im 19. Jahrhundert in Patentschriften gefunden werden. [Mas 2009] Das Technische Zeichnen hat sich im Laufe der Jahrhunderte immer weiterentwickelt und verfeinert. Es kamen die Bemaßungen, Passungen und Toleranzen dazu. Heute existieren unzählige Normen, Regeln und Empfehlungen für die Bemaßung, Strichart, Schrift, Darstellungsweise usw. Es wurden vielfältige Tools entwickelt, mit welchen genaue Zeichnungen angefertigt werden können. Das Ziel dabei ist es, dass Zeichnungen eindeutig, vollständig und nachvollziehbar sein müssen [Mas 2009; Schütte et al. 2020]. In den letzten Jahren hat sich auch im Maschinenbau das Zeichnen in die virtuelle Welt verlagert. Dank der Digitalisierung lassen sich die Werkstücke dreidimensional darstellen. Durch die Visualisierung lassen sich nicht nur schneller Zeichnungen ableiten, auch die dynamische Berechnung, Simulation von Bewegung sowie die Nutzung der Daten für Nachfolgeprozesse sind weitere Vorteile.

Durch langjährige Forschungs- und Lehrarbeit der Professur Fertigungsmesstechnik an der TU Chemnitz auf dem Gebiet der Verifikation von Werkstücken, welche bereits

in den 60 Jahren seine Anfänge im Austauschbau hatte, wird immer wieder festgestellt, dass die eindeutige Spezifikation von Werkstücken und damit die Anwendung des ISO GPS-Systems die meisten Unternehmen vor eine große Herausforderung stellt. Vor allem kleine und mittlere Unternehmen (KMU lt. Def. nach [Eur 2003]) sowie Kleinstunternehmen, inklusive der Handwerksunternehmen sind mit der Vielzahl an Normen sowie deren Inhalte überfordert und können diese Aufgabe kaum meistern. Es gibt zahlreiche Symbole, Regeln, Standardeinstellungen, Modifikatoren, um diese außer Kraft zu setzen, Operatoren usw., welche ähnlich dem Toolbox-Gedanke, einen riesigen Werkzeugkasten für die Spezifikation und Verifikation von Werkstücken zur Verfügung stellen, aber keinen Leitfaden zum Anwenden beinhalten.

## **1.2 Motivation**

Die Professur Fertigungsmesstechnik an der TU Chemnitz beschäftigt sich bereits seit seiner Gründung im Jahre 1957 mit dem Austauschbau, den Rahmenbedingungen dafür sowie mit der eindeutigen Nachweisbarkeit der funktionalen Anforderungen an Produkte. Das heißt, nicht nur die Messtechnik mit den dazugehörigen Messgeräten, -strategien, -verfahren und der Messunsicherheit sind Kompetenzen der Professur, sondern auch die Beratung zur Erstellung einer eindeutigen Spezifikation gehört zur Kernkompetenz der Professur Fertigungsmesstechnik. In den letzten Jahren wurden ein immer größer werdender Bedarf an genau dieser Beratungsleistung festgestellt. Wenn die internen Diskussionen zu den erstellten Spezifikationen in den Unternehmen zunehmen und aufgrund der Komplexität der Produkte nicht mehr schnell und einfach geklärt werden können, ist die Professur Fertigungsmesstechnik ein wichtiger Ansprechpartner. Dabei stellt sich oft heraus, dass nicht nur Beratungs- sondern auch enormer Schulungsbedarf bei den meisten Fachkräften besteht. Durch viele Beratungen und Schulungen, vor allem von Fachkräften in den Bereichen Konstruktion und Messtechnik, in den letzten Jahren wurde jedoch festgestellt, dass die Herausforderungen in der Anwendung einer eindeutigen funktionsorientierten Spezifikation das ganze Unternehmen betreffen. Das heißt, alle Fachkräfte im Unternehmen müssen dieselbe Sprache sprechen, was die Spezifikation und Verifikation von Bauteilen betrifft. Das System der geometrischen Produktspezifikation und -verifikation (GPS-System) verfolgt genau dieses Ziel. Allerdings kann das System nicht angewendet werden, wenn nur einige ausgewählte und geschulte Fachkräfte diese GPS-Sprache sprechen.

Vielmehr muss der gesamte Produktentstehungsprozess betrachtet werden, inklusive der Lieferanten, und dafür eine umfassende Einführungs- und Anwendungsstrategie erarbeitet werden. Vor allem kleine und mittlere Unternehmen sind mit den

- über 150 Einzelnormen,
- deren fortlaufende Neu- und Weiterentwicklung,
- geringen Personalkapazitäten, die im Tagesgeschäft stark eingebunden sind,
- keine Ausbildungsstandards bzw. keine curriculare Verankerung in den aktuellen Ausbildungsberufen sowie
- kostenintensiven Weiterbildungen

enorm herausgefordert. Um die KMU, gerade in den aktuellen Zeiten, welche durch eine rasant fortschreitende Digitalisierung in allen Unternehmensbereichen geprägt ist, auf die Zukunftsthemen Model Based Definition (MBD), digitale Zwillinge (DT), Predictive Quality usw. vorzubereiten, ist sowohl die Pflicht der Normenausschüsse, als auch der Forschungsinstitute Vorgehen und Werkzeuge zu entwickeln, um das GPS-System in die Unternehmenspraxis zu überführen. Die intensive Auseinandersetzung mit der Praktikabilität und Anwendbarkeit des GPS-Systems innerhalb dieser Dissertationsschrift, vor allem in KMU, ist im Rahmen des Forschungsprojektes „GPSlife“ entstanden. Das IGF-Vorhaben „GPSlife“ (Nr. 21491BR) der Forschungsvereinigung Forschungsgemeinschaft Qualität e.V. (FQS), August-Schanz-Straße 21A, 60433 Frankfurt am Main wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages von Oktober 2020 bis September 2022 gefördert. [Hof 2020]

Ziel dieser Dissertation ist es, Methoden und Vorgehensweisen zu entwickeln, um das komplexe und umfangreiche, aber alternativlose, GPS-System anwenderspezifisch und nachhaltig in die Unternehmenspraxis zu integrieren. Dabei soll auch ein Reporting-System, in Form eines Reifegradmodells, zum Einsatz kommen. Parallel wird ein modulares GPS-Aus- und Weiterbildungskonzept entwickelt. Mit einer umfassenden Einführungsstrategie, gepaart mit einem Ausbildungs- und Bewertungssystem, soll es den Unternehmen ermöglicht werden, u. a. ein GPS-Betriebskonzept zu erstellen und umzusetzen, Mitarbeiter bedarfsgerecht zu qualifizieren sowie neue GPS-Normeninhalte nachhaltig zu integrieren.

### 1.3 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Dissertationsschrift ist wie in Abbildung 1 dargestellt, aufgebaut.

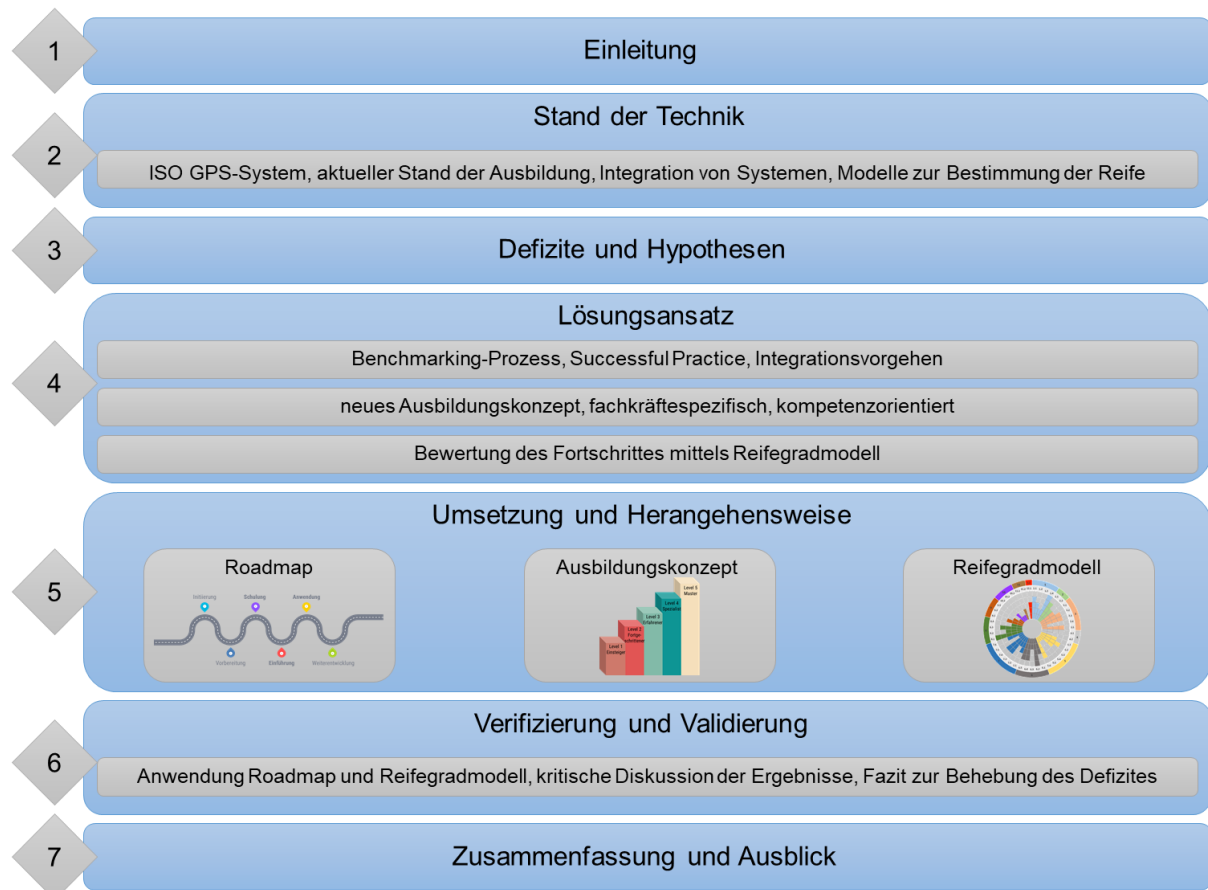


Abbildung 1: Aufbau und Gliederung der Dissertationsschrift

Im Stand der Technik wird der Aufbau des normativen Systems der Geometrischen Produktspezifikation und -verifikation erläutert. Es wird der aktuelle Stand der Aus- und Weiterbildung auf diesem Gebiet beschrieben, aktuelle Lehr-/ Lernformen erläutert und Grundlagen zum Erwerb von Wissen und Kompetenzen beschrieben. Erforschte Ansätze und Vorgehen zur Integration von Systemen, wie z. B. Qualitätsmanagementsystemen oder Produktions-, Planungs- und Steuerungssystemen werden überblicksartig dargestellt. Außerdem werden Möglichkeiten zur Reifegradbewertung von Systemen analysiert.

Im Kapitel 3 werden die Defizite in der aktuellen Anwendung des GPS-Systems herausgearbeitet, eine daraus resultierende Forschungsfrage aufgestellt und mit Hypothesen untersetzt.

Im 4. Kapitel wird der mögliche Lösungsansatz, welches ein GPS-Integrationsvorgehen basierend auf einem fünfstufigen Ausbildungskonzept enthält, vorgestellt und die Bewertung des Integrationsfortschritts mittels Reifegradmodell erläutert.

Die Entwicklung des Integrationsvorgehens, des Ausbildungskonzeptes sowie des Reifegradmodells werden im 5. Kapitel ausführlich beschrieben.

Die Verifizierung und Validierung des Integrationsvorgehens, des Ausbildungskonzeptes sowie des Reifegradmodells erfolgen im Kapitel 6. Es erfolgt eine kritische Diskussion der Ergebnisse, inklusive der ausführlichen Bewertung der aufgestellten Hypothesen. Ein Fazit zur Behebung des Anwendungsdefizites des GPS-Systems schließt dieses Kapitel ab.

Zusammenfassung und Ausblick sowie weiterführende Ansätze und Empfehlungen zur praxisgerechten Anwendung des GPS-Systems werden im letzten Kapitel betrachtet.

*„Die Neugier steht immer an erster Stelle eines Problems, das gelöst werden will.“*

*-Galileo Galilei-*

## **2 Stand der Technik**

### **2.1 System der Geometrischen Produktspezifikation und Verifikation**

#### *2.1.1 Normung*

Das Deutsche Institut für Normung e. V. (DIN e.V.) ist zuständig für die Normung und Standardisierung in Deutschland und seit 1975 als einzige nationale Normungsorganisation von der Bundesrepublik anerkannt. [DIN 2022] Die Normen werden in Normenausschüssen von Fachleuten der interessierten Kreise mit dem Ziel erarbeitet, eine gemeinsame Auffassung des Standes der Technik und damit Konsens herzustellen, was allgemeine Zustimmung findet. Vor ihrer endgültigen Festlegung werden die Normen der Öffentlichkeit zur Stellungnahme vorgelegt, um so eine hohe Legitimation und Wertschätzung zu erreichen. Die Anwendung von Normen ist freiwillig und werden bindend, wenn sie Gegenstand von Verträgen sind oder der Gesetzgeber ihre Einhaltung vorschreibt. [DIN 2022] Als größtes Normenwerk der International Standard Organisation (ISO) und damit auch des DIN bildet das GPS-System mit seinen über 150 Einzelnormen den Stand der Technik bei der Spezifikation und Verifikation von Bauteilen und Baugruppen im Maschinenbau ab. Da die Spezifikation oft Vertragsbestandteil in dieser Branche ist, entsteht daraus auch indirekt eine rechtliche Verbindlichkeit. In den vergangenen 30 Jahren hat sich die Normung im technischen Bereich sehr stark weiterentwickelt.

*„Die heutige Zielsetzung der Normung und die grundsätzliche Philosophie zur Arbeit an den Normen haben sich verändert. Während früher mittels praktischer Beispiele genormt wurde, existiert heute der Anspruch der mathematischen Eindeutigkeit, Vollständigkeit und insbesondere auch der Widerspruchsfreiheit. Vor allem die Widerspruchsfreiheit und die mathematische Eindeutigkeit waren in der Vergangenheit nicht immer gegeben. So wurden unterschiedliche Begriffe in verschiedenen Normen für identische Sachverhalte verwendet. Mathematische eindeutig definierte Algorithmen ... gab es oft nicht. Abweichungen wurden anhand von Bildern erläutert. Mit der zu-*



*nehmenden Digitalisierung erhöhte sich auch der Druck, mathematisch eindeutig beschreibbare Regeln für die Tolerierung und insbesondere für die Verifikation festzulegen. Infolgedessen wurden die Normen aufgrund des Anspruchs der Eindeutigkeit und Vollständigkeit (sog. Toolbox-Gedanke) zwar immer präziser, gleichzeitig aber auch schwieriger und umständlicher in der Beschreibung und Erläuterung der Toleranzproblematik. Eine heutige ISO GPS-Norm ist zum Selbststudium daher kaum noch geeignet. Aber auch der Toolbox-Gedanke, also der Anspruch, alle theoretisch denkbaren Spezifikationsprobleme mit Symbolen oder Modifikatoren abdecken zu wollen, ohne über die praktische Relevanz nachzudenken, führt zu einer stetigen Komplexitätserhöhung, die für den normalen Anwender kaum noch überschaubar ist.“ [Schütte et al. 2020]*

### 2.1.2 Aufbau des ISO GPS-Systems

Im System der Geometrischen Produktspezifikation und Verifikation sind die Festlegungen und Regeln zur Erstellung Technischer Produktspezifikationen und dem Nachweis der Konformität des Bauteils gegenüber dieser Spezifikation definiert.

Laut DIN EN ISO 14638 ist der Begriff der geometrischen Produktspezifikation folgendermaßen definiert:

*„Geometrische Produktspezifikation (ISO GPS) ist das System, das zur Festlegung der geometrischen Anforderungen an Werkstücke in technischen Spezifikationen und den Anforderungen an ihre Verifizierung verwendet wird.“ [ISO 14638]*

Grundlegende Modelle im GPS-System sind die Normenhierarchie und die GPS-Matrix [ISO 14638]. In der obersten Ebene der Normenhierarchie befinden sich die fundamentalen GPS-Normen. Diese beinhaltet die wesentlichen Grundsätze, Regeln und Prinzipien, die für geometrische Merkmale und Kettenglieder der GPS-Matrix gültig sind. Beispiele für die fundamentalen Normen sind die DIN EN ISO 8015 und die DIN EN ISO 14638.

Die Normen der mittleren Ebene, die allgemeinen Normen, beziehen sich auf die geometrischen Eigenschaften, wie z. B. Größenmaße, Passungen, Form- und Lagetoleranzen oder Oberflächenbeschaffenheit und sind insbesondere für die praktische Anwendung relevant. Beispiele dafür sind die DIN EN ISO 14405, DIN EN ISO 286, DIN EN ISO 1101 oder die DIN EN ISO 21920. Diese allgemeinen GPS-Normen werden in eine Matrix eingeordnet.

Die unterste Stufe der Normenhierarchie, die komplementären GPS-Normen, umfassen weitere Definitionen und Regeln, die sich u. a. auf bestimmte Herstellungsprozesse und die geometrische Beschaffenheit von Maschinenelementen beziehen. Vertreter hierzu sind die DIN EN ISO 8062 für Gussstücke oder die DIN EN ISO 1660 für die Profiltolerierung.

Um den Aufbau des GPS-Systems besser zu verstehen, wurde neben dem Matrixmodell in der DIN EN ISO 14638, in einer weiteren fundamentalen Norm, der DIN EN ISO 8015 dreizehn elementare Grundsätze als Basis für die Eintragung, Interpretation und Prüfung von Zeichnungen und zur Verringerung der Mehrdeutigkeit festgelegt. [ISO 8015] Die Veröffentlichung dieser GPS-Grundnorm im Jahr 2011 stellt einen wichtigen Beitrag zur Interpretation von Technischen Produktspezifikationen im Sinne des GPS-Systems dar. Grundlegende Annahmen zu den Funktionsgrenzen, Toleranzgrenzen und dem Funktionsniveau des Werkstückes wurden erstmalig zur Interpretation von Technischen Produktspezifikationen in dieser Norm formuliert. Sie beeinflusst alle anderen GPS-Normen und jede andere Art von Dokumenten innerhalb des GPS-Systems. [Grö 2013]

Im nächsten Abschnitt werden die wichtigsten Inhalte der allgemeinen GPS-Normen kurz zusammengefasst.

### *2.1.3 Inhalte des ISO GPS-Systems*

In den Jahren 2010 und 2011 erfuhr das GPS-System eine starke normative regelbasierte Weiterentwicklung, indem 33 neue oder überarbeitete Normen veröffentlicht wurden. Heute existieren mehr als 150 Einzelstandards, welche ständig aufgrund neuer Forschungs- und Entwicklungsarbeiten überarbeitet werden und somit zunehmend komplexer werden. Unzählige Kurzzeichen, Modifikationssymbole und Regeln sind in relativ kurzer Zeit entstanden, die sich auf den ersten Blick Ungeschulten nicht erschließen und zu Akzeptanzschwierigkeiten führen. Dieser Abschnitt soll einen zusammenfassenden Überblick über die wichtigsten Inhalte der allgemeinen GPS-Normen geben. Zunächst muss ein Verständnis darüber entstehen, dass wenn ein Konstrukteur ein CAD-Modell über ein Bauteil erstellt, er von einer geometrisch idealen Gestalt, auch bezeichnet als Nenngestalt, ausgeht. Eine Idealform besteht jedoch nur im Bereich des Geistes oder als CAD-Modell [Schütte et al. 2020]. Bei der materiellen

Fertigung entstehen immer verschiedene Arten von Gestaltabweichungen. Diese sind Lageabweichungen, Formabweichungen, Welligkeit und Oberflächenrauheiten und haben unterschiedliche Entstehungsursachen durch die Fertigungsmaschinen, Werkzeuge, Materialien usw. Weil diese Abweichungen unvermeidlich sind, müssen für alle Eigenschaften eines Werkstücks Grenzen angegeben werden, innerhalb derer die Abweichungen liegen dürfen. [Schütte et al. 2020] Gemäß dem Grundsatz zum Geometrieelement bestehen alle Bauteile aus Geometrieelementen. Dabei sind integrale (wirkliche) Geometrieelemente, wie z. B. Linie, Fläche, Kreis, Zylinder, Kegel von abgeleiteten Geometrieelementen, wie z. B. Mittelpunkt, Achse, Mittelebene, zu unterscheiden.

In der nachfolgenden Übersicht (Abbildung 2) sind die Toleranzen, welche für geometrische Eigenschaften gelten mit den betreffenden GPS-Normen übersichtlich dargestellt.

Demnach können am einzelnen Geometrieelement z. B. ein Durchmesser, Rundheit, Geradheit, Zylinderform, Welligkeit oder Rauheit spezifiziert werden. Als Beziehung zwischen zwei Geometrieelementen können z. B. der Ort der Achse eines Zylinders, die Parallelität, die Konzentrität oder der Planlauf unter Anwendung eines Bezugselementes oder Bezugssystems spezifiziert werden.

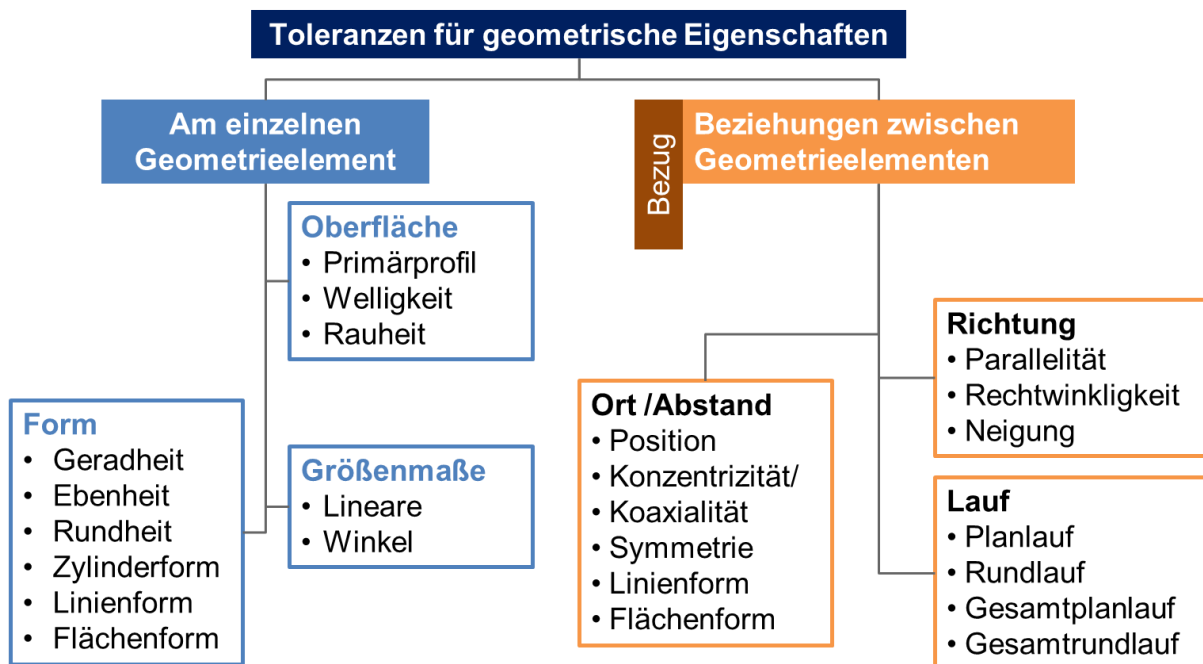


Abbildung 2: Überblick über die Toleranzen für geometrische Eigenschaften [Grö 2013; Pro 2022]

Der Bezug ist die Grundlage für die Tolerierung von Richtung, Ort und Lauf und für deren Verifikation. Bezüge bestehen aus Bezugselementen und bilden den realen Kontakt der Oberfläche mit dem Gegenstück in der Baugruppe und am Einzelteil ab, sie binden die Freiheitsgrade und verknüpfen die Beziehung zwischen Geometrieelementen. Das Bezugselement ist ein wirkliches, am Werkstück vorhandenes Geometrieelement, aus dem der Bezug gebildet wird. Damit die Bezugselemente ihre Funktion erfüllen können, müssen sie untereinander in ihrer Lage toleriert werden.

Alle diese erwähnten Bestandteile einer geometrischen Spezifikationsangabe werden in einen Toleranzindikator eingetragen. Im 1. Feld steht das Symbol des tolerierten geometrischen Merkmals. Im 2. Feld wird der Toleranzwert in mm eingetragen. Im 3. Feld werden bei den Lagetoleranzen die Kennbuchstaben für die Bezüge eingetragen. [Schütte et al. 2020] Der Toleranzindikator wird über eine Referenzlinie mit der Hinweislinie und dem Toleranzpfeil verbunden. [Schütte et al. 2020] Mehrere geometrische Angaben können als gestapelte Toleranzindikatoren angegeben werden. [Brabec et al. 2021]

In Abbildung 3 sind verschiedene Toleranzarten sowie deren Angabe im Toleranzrahmen überblicksartig dargestellt.

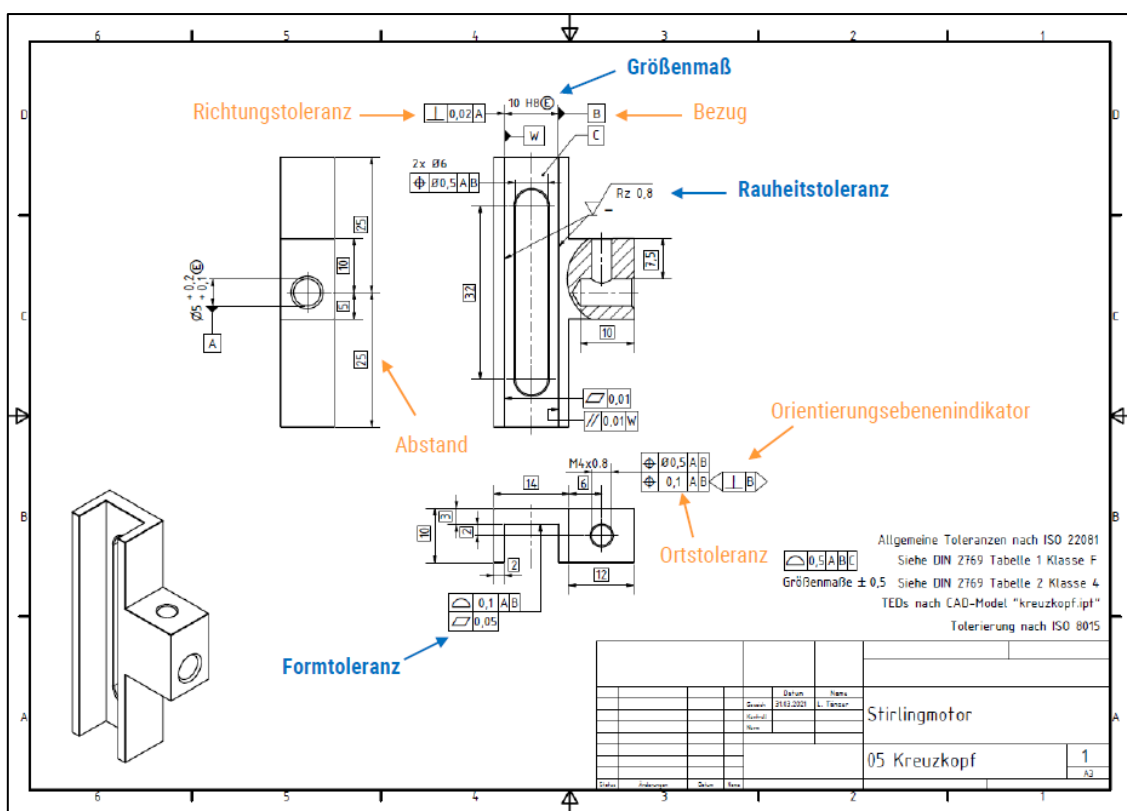


Abbildung 3: Angabe der Toleranzarten in einer technischen Zeichnung

Da es in der industriellen Praxis jede Menge von Werkstücken und deren Spezifikationen gibt, die von den Grundsätzen und Standardfällen abweichen, stehen im GPS-System verschiedene Modifikatoren bereit, die ebenfalls im Toleranzindikator angegeben werden. Diese können z. B. die Kombination von Geometrieelementen, Versatz von Toleranzzonen, Filterung oder Bezüge betreffen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit, wird in dieser Dissertationsschrift auf eine Erläuterung der zahlreichen Modifikatoren verzichtet.

An viele Werkstückoberflächen werden ähnliche oder identische Anforderungen gestellt. Um in der technischen Produktdokumentation die Anzahl individueller Spezifikationsangaben zu verringern, können allgemeine Spezifikationen angewendet werden. Sie gelten ausschließlich für integrale Geometrieelemente. [ISO 22081]

Die Toleranz von allgemeinen Spezifikationen muss mit der Norm über dem Schriftfeld in der Reihenfolge „allgemeine Toleranzen – Nummer der Norm – Spezifikation – Toleranzwert“ angegeben werden.

Des Weiteren existieren zahlreiche GPS-Normen für die Spezifizierung und Prüfung von Oberflächen, welche im Rahmen dieser Dissertationsschrift nicht weiter erläutert werden.

#### *2.1.4 Ziel und Nutzen der Anwendung des ISO GPS-Systems*

Die Notwendigkeit, geometrische Eigenschaften von Werkstücken zu spezifizieren und sicherzustellen, dass diese Eigenschaften hergestellt und nachgewiesen werden können, erfordert ein einheitliches System, um vergleichbare Ergebnisse erzielen zu können. Das internationale System der Geometrischen Produktspezifikation (ISO GPS-System) gilt als umfassender Satz von Normen und interdisziplinären Kommunikationsregeln entlang des Produktentwicklungs- und Verifikationsprozesses im Maschinenbau. Ziel ist es, widerspruchsfreie Regeln und Operatoren bereitzustellen, die eine klare, vollständige und nicht verbale Beschreibung geometrischer Produkteigenschaften wie Form, Richtung, Lage oder Lauf auf der Grundlage von Bezugssystemen in technischen Spezifikationen ermöglichen. Darüber hinaus enthält das ISO GPS-System Regeln zur Überprüfung des hergestellten Produkts auf Übereinstimmung mit den festgelegten Anforderungen unter Verwendung geeigneter Verfahren mit zugehörigen Messsystemen, Kalibrierungsverfahren und der Messunsicherheit für den Konformitätsnachweis. [Grö 2013] Das ISO GPS-System unterliegt seit Jahren einem starken

normativen, regelgebundenen Wandel, wobei zahlreiche Abkürzungen, Symbole, Prinzipien und Regeln in neuen und überarbeiteten Normen veröffentlicht wurden. Die Folge dieser normativen Komplexität ist ein differenzierter Umgang mit dieser Fachsprache, der mit zunehmenden Akzeptanz- und Anwendungsschwierigkeiten einhergeht.

Bis heute ist in den meisten Unternehmen unzureichend bekannt, welche Potentiale die betriebliche Einführung und eine konsequente Anwendung für die langfristige Wettbewerbssicherung mit sich bringt. [Drescher et al. 2019b] Nachfolgend sind die wichtigsten Vorteile und Chancen einer GPS-Implementierung aufgeführt (vgl. [Drescher et al. 2019b; Zwettler et al. 2021]):

- Eindeutige, vollständige und rechtssichere Spezifikationen,
- Kostengünstigere Herstellung,
- Vermeidung von Angsttoleranzen,
- Konformität zu QM-Normen,
- Optimierung von Fertigungs- und Prüfprozessen,
- Simulation funktionaler Verbau,
- Verminderung von Reklamationen,
- Gleiche Ausrichtung für Fertigung, Verifikation und Verbau,
- Verbesserung der internen und externen Kommunikation,
- Implementierung digitaler Zwilling,
- Rückführung relevanter Prüfergebnisse,
- Verminderung Produkthaftungsrisiken,
- Vermeidung von Mehrdeutigkeiten und
- Durchgängige Nutzung der digitalen Informationen.

Aus diesem Grund ist es erforderlich, die Unternehmen bei der Prozessgestaltung für die Umsetzung und Anwendung dieser entwickelten Normen zu unterstützen. Mit der Bereitstellung verschiedener Methoden und Werkzeuge, wie z. B. didaktische Reduktion, digitale Lernformate, agile Roadmaps, Reifegradmodelle, Feedbackregeln usw. werden die Unternehmen befähigt das GPS-System in den Produktentstehungsprozess zu integrieren und sich zu selbst lernenden Organisationen weiterzuentwickeln. Nach [Senge, 2017] ist eine (selbst)lernende Organisation fähig, sich an externe und interne Einflüsse anzupassen und mit Veränderungen erfolgreich umzugehen. Sie

zeichnet sich durch Flexibilität und eine hohe Lernbereitschaft aus. Eine gemeinsame Vision, Teamarbeit sowie systemisches Denken stehen dabei im Vordergrund. Im Kapitel 2.2, 2.3 und 2.4 werden aktuell verfügbare Ideen, Ansätze, Methoden und Vorgehensweise recherchiert, bevor sie dann im Kapitel 5 auf das GPS-System adaptiert, weiterentwickelt und für eine praxisnahe Umsetzung erläutert werden.

### *2.1.5 Aktueller Stand der Anwendung des ISO GPS-Systems*

Schon die Verwendung eines Symbols, wie z. B. die Form- und Lagetoleranzen in der technischen Spezifikation bedeutet, dass das gesamte ISO GPS-System aufgerufen wird. Als Begriff ist das ISO GPS-System schon in den Entwicklungsabteilungen, der Produktion und vor allem in der Qualitätssicherung angekommen, die ausreichende Kenntnis oder gar die flächendeckende Umsetzung ist jedoch auch nach über einem Jahrzehnt nach Einführung der ersten nutzbaren GPS-Standards bisher nicht erfolgt. [IHK 2022]

Durch die Bergische Universität Wuppertal wurden in den letzten Jahren mehrere wissenschaftliche Untersuchungen zur Kenntnis des ISO GPS-Systems in der Industrie und Ausbildung durchgeführt. 2017 wurde durch [Sersch et al. 2017] die Anwendung und Verbreitung des GPS-Systems untersucht, wobei lediglich 30% der befragten KMU angaben, das GPS-System zu kennen, der prozentuale Anwender-Anteil liegt sogar deutlich darunter. Zurückzuführen ist dieses Ergebnis auf fehlendes Know-how und Fähigkeiten, einem verminderten Verständnis und unzureichender Beherrschung der komplexen Norminhalte, Kommunikationsprobleme sowie personeller, zeitlicher als auch finanzieller Engpässe. Dennoch erkennt ein Großteil der befragten KMU die Potentiale und plant ein zukünftiges Bestreben hinsichtlich GPS-Ausbildung und -Integration. [Sersch et al. 2017] Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt auch eine weitere Studie der Bergischen Universität Wuppertal aus dem Jahr 2018, bei der Befragung von 29 Maschinenbauunternehmen zur Anwendung des GPS-Systems und den damit verbundenen Herausforderungen. [Gust et al. 2019] Demnach wird in den befragten Unternehmen das GPS-Normensystem nicht angewendet, da die Fachkräfte nicht über das notwendige Wissen verfügen, der Umfang bzw. die Komplexität des GPS-Systems als zu hoch eingeschätzt wird sowie der zeitliche Aufwand als zu groß erachtet wird. Ähnlich fallen die Ergebnisse aus, als die Unternehmen zu den konkreten Problemen bei der Anwendung des GPS-Systems befragt werden. Auch hier werden fehlendes

Wissen, Probleme in der Kommunikation und Schwierigkeiten bei der Zeichnungsableitung genannt. Als potenzielle Lösungsmöglichkeiten für die genannten Probleme nennen die befragten Unternehmen verbesserte Schulungs- und Ausbildungskonzepte, eine Unterstützung durch Tolerierungsexperten sowie eine Verbesserung und Überarbeitung der Normen [Gust et al. 2019]. Eine 2022 durchgeführte Online-Befragung in der Lehre an 115 Berufsschulen in Nordrhein-Westfalen deckt erhebliche Lücken im Kenntnisstand zum GPS-System bei den Lehrenden auf. [Gust et al. 2022] Fast die Hälfte der Lehrenden gab an, dass sie nicht wissen, ob das GPS-Normensystem eine relevante Bedeutung für ihren Ausbildungsberuf hat. Es fehle grundsätzlich an inhaltlich reduzierter und anschaulicher Fachliteratur, praktischen Beispielen, Unterrichtszeit, Weiterbildung und Austausch der Lehrenden. [Gust et al. 2022] Da die Aus- und Weiterbildung auf dem Gebiet der geometrischen Produktspezifikation und -verifikation im unternehmerischen Integrationsprozess und somit im Rahmen dieser Arbeit eine zentrale Rolle spielt, wird darauf im Abschnitt 2.2 nochmal ausführlich eingegangen.

Eine Befragung von Handwerksunternehmen über den Metallverband zeigt vergleichbare Ergebnisse. Ca. 2/3 der Unternehmen haben sich noch nicht mit dem GPS-System auseinandergesetzt, die Hälfte davon hat sogar noch nie was von dem System der Geometrischen Produktspezifikation gehört. Auch in Bezug auf Schulungen bei Veröffentlichung neuer Normen (wie z. B. ISO 22081 – Allgemeintoleranzen oder ISO 21920 - Oberflächenangaben), haben derzeit weniger als 10% der Handwerksbetriebe Aktivitäten geplant oder durchgeführt. [Röp 2021]

Ebenfalls werden in verschiedenen Veröffentlichungen internationale Herausforderungen bei der Anwendung des komplexen GPS-Systems diskutiert, da hier die American Society of Mechanical Engineers (ASME) parallele Standards veröffentlicht. [Morse et al. 2018; Nie 2013]

Die wirkliche Durchdringung der Unternehmen mit dem GPS-System lässt sich jedoch aufgrund fehlender Veröffentlichungen nicht eindeutig feststellen. Aus wenigen wissenschaftlichen Arbeiten und Zeitschriftenartikeln ist ersichtlich, dass sich Großunternehmen schon seit einiger Zeit mit dem System beschäftigen. Durch Entscheidungen des Top Managements und mit Hilfe von Projektleitungs- oder KeyUser-Strukturen versuchen sie, Schulungskonzepte und Know-how aufzubauen. [Drescher et al. 2019a; Sta 2020; Amm 2021] Einige haben mittlerweile ein gemeinsames Verständnis



zwischen Konstruktion, Produktion und Messtechnik aufbauen können. Die Erkenntnis, dass die Früchte von GPS unter Umständen erst mittel- oder langfristig geerntet werden können, hat sich bisher leider kaum durchgesetzt. [Drescher et al. 2019a] Das heißt, es liegt großes Potenzial in der Aufklärungs- und Vermittlungsarbeit beginnend bei der Ausbildung, Sensibilisierung der Unternehmen bis hin zur Forschung und Normungsarbeit. [Amm 2021; IHK 2022; Gust et al. 2022]

## **2.2 Aktueller Stand der GPS-Aus- und Weiterbildung**

### *2.2.1 Allgemeines*

Die Kapitel 2.2.2 bis 2.2.6 geben einen umfassenden Überblick über die aktuelle Ausbildungssituation in Bezug auf das GPS-System in Deutschland. Es wurden die beschriebenen Ausbildungsunternehmen, Zielgruppen, Lehrinhalte, Lehrformen, Qualifizierungsnachweise, Ausbildungsdauer und -kosten deutschlandweit recherchiert und analysiert.

In den Abschnitten 2.2.7 und 2.2.8 wird näher auf den Erwerb von Wissen und Kompetenzen, der didaktischen Reduktion sowie die Lernzieltaxonomie eingegangen. Es werden verschiedene Ansätze aus der Literatur recherchiert, vorgestellt und zusammengefasst, welche in dem zu entwickelnden GPS-Ausbildungs- und Integrationskonzept zur Anwendung kommen.

### *2.2.2 Ausbildungsunternehmen und Verbreitung der Ausbildung*

Ausbildungsangebote, die sich auf das Thema der geometrischen Produktspezifikation beziehen, sind in der gesamten Bildungslandschaft zu finden. So bieten sowohl Hochschulen und Universitäten, als auch Berufsschulen Lehrveranstaltungen für Studierende und Auszubildende an, auch für die Industrie und deren Fachkräfte gibt es zahlreiche kommerzielle Weiterbildungsmöglichkeiten. Wie in Abbildung 4 dargestellt, sind Seminarangebote der Industrie- und Handelskammern (IHKn), private Weiterbildungseinrichtungen, Berufsförderungswerke (BFW) und Handwerkskammern (HWK) zu unterscheiden. Private Weiterbildungseinrichtungen, wie z. B. Steinbeis-Beratungszentren, Hexagon, DIN Akademie, DGQ Weiterbildung GmbH, VDI Wissensforum GmbH bieten derzeit das umfangreichste Seminarangebot an.

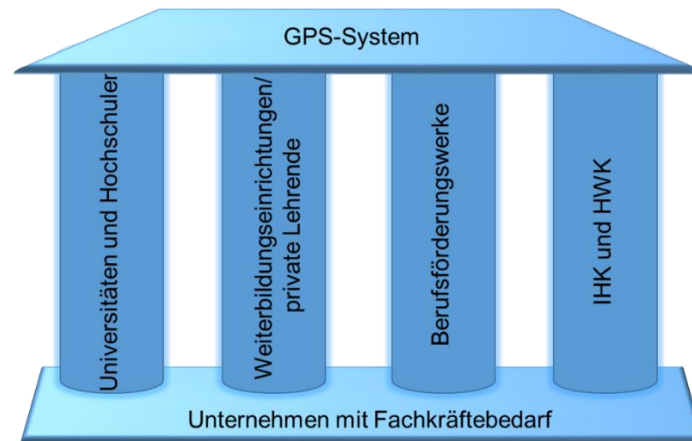


Abbildung 4: Ausbildungsträger für das GPS-System in Deutschland

Bei einer Analyse der Verbreitung der GPS-Ausbildung in Deutschland, lässt sich feststellen, dass das aktuelle Ausbildungsangebot sehr stark abhängig ist von einzelnen Trainern, Akteuren in den Normenausschüssen sowie der Motivation und Initiative der Lehrenden an Universitäten, Hochschulen, Berufsschulen und privaten Weiterbildungsinstitutionen. In Abbildung 5 ist die Verbreitung der aktuellen GPS-Aus- und Weiterbildung in Deutschland grafisch dargestellt.

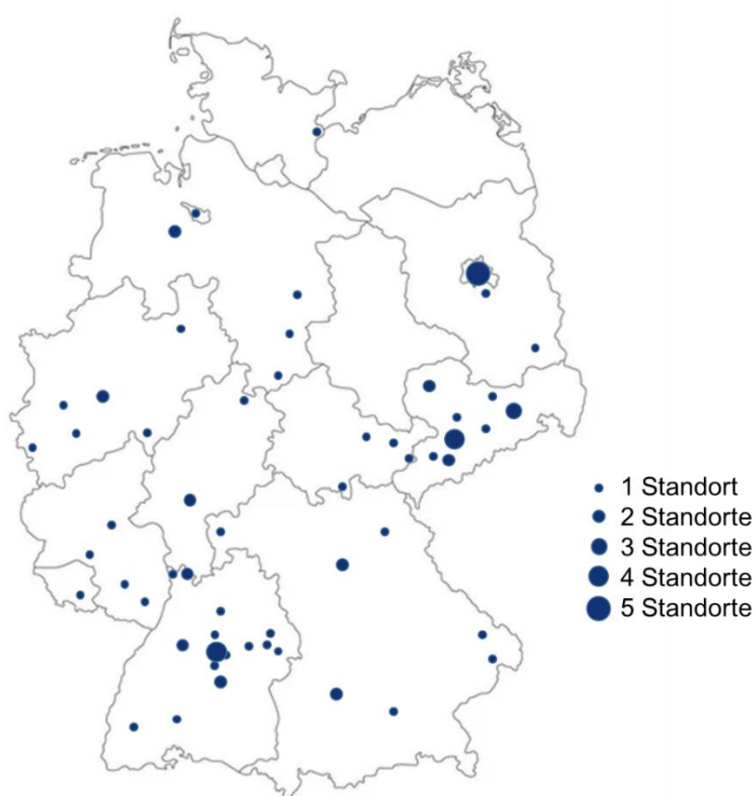


Abbildung 5: aktuelle Ausbildungsorte für das GPS-System in Deutschland

### 2.2.3 Zielgruppen, Lehrformen und Lernumgebung

In Abhängigkeit des Ausbildungsträger unterscheiden sich die Zielgruppen, Lehrformen sowie die Lernumgebung. In der Hochschullehre sind das vor allem Studierende vorwiegend aus dem Bereich des Maschinenbaus. Diese werden sowohl in grundständigen als auch weiterführenden Studiengängen an das GPS-System herangeführt. Die Wissensvermittlung findet in Vorlesungen, welche aktuell wieder zunehmend in Hörsälen stattfinden, unterstützt durch Übungen und Praktika, statt. Einige Lehrende an Hochschulen bieten zusätzlich individuelle Beratungen und Schulungen an.

Zielgruppen der Berufsschulen sind Auszubildende mit technischem Hintergrund, hauptsächlich Technische Produktdesigner. An den Berufsschulen erhalten die Auszubildenden eine grundlegende theoretische Ausbildung in Form von Unterricht. Das theoretische Wissen wird im Ausbildungsbetrieb vertieft und praktisch angewendet werden.

Die IHKn richten sich mit Ihren Seminarangeboten überwiegend an Fach- und Führungskräfte aus der Industrie und bieten Weiterbildungen für Lehrende und Prüfende an.

Die Weiterbildungseinrichtungen bieten ihre Schulungen und Seminare zumeist für Fach- und Führungskräfte aus technischen Bereichen der Industrie an. Die Zielgruppen, die am häufigsten genannt werden, sind Fachkräfte aus den Bereichen der Entwicklung, Konstruktion und Qualitätssicherung. Die Lehrformen in den Weiterbildungseinrichtungen sind sehr breit gefächert. Oft handelt es sich bei den Präsenz-Seminaren um einen Theorieteil, Übungen, Praxisübungen, Diskussionen, Gruppenarbeiten und einen Erfahrungsaustausch zwischen den Seminarteilnehmenden selbst bzw. zwischen den Seminarteilnehmenden und den Lehrenden. Seit einigen Jahren nehmen auch digitale Lehrformen wie E-Learning, Virtuell Classrooms, Blended-Learning, Apps oder individuelle Beratung in Webmeetings von einzelnen Seminarteilnehmenden zu. Die Präsenz-Seminare finden häufig in den Schulungsräumen der Seminar anbietenden, Inhouse in den Unternehmen und zunehmend auch als Online-Seminare statt.

Die BFW sprechen mit ihren Seminaren vorwiegend Fach- und Führungskräfte aus den Bereichen Entwicklung, Konstruktion und Qualitätssicherung an. Zudem bieten die BFW Umschulungen an, etwa zum Technischen Produktdesigner oder zur geprüften Qualitätsfachkraft und zum Industriemechaniker. Die BFW bieten ihre Schulungen und

Umschulungen hauptsächlich in Präsenz in Form von klassischem Unterricht und Seminaren in den Räumlichkeiten der BFW an. Bei Umschulungen wird das theoretische Wissen zudem in betrieblichen Phasen vertieft.

Des Weiteren bieten Softwarehersteller, sowohl von CAD-/CAM-Software, als auch von Messsoftware, ihren Nutzenden aus der betrieblichen Praxis Weiterbildungen an. Hier steht die Anwendung der Software im Vordergrund, da aber die Inhalte des GPS-Systems eng mit der Softwareanwendung verbunden sind, werden diese bedarfsorientiert mit geschult.

#### *2.2.4 Lehrinhalt und Struktur*

In Abhängigkeit vom Ausbildungsträger nimmt das ISO GPS-System in der Lehre einen unterschiedlich hohen Stellenwert ein. Je nach Studiengang und Hochschule werden GPS-Inhalte differenziert gelehrt, wie in Abbildung 5 ersichtlich ist, sind GPS-Inhalte nur in wenigen Studienordnungen in Deutschland zu finden. An Berufsschulen, IHKn und HWKn spielt das GPS-System in der Lehre nur eine untergeordnete Rolle und ist derzeit nicht curricular verankert. Im Vergleich zu den drei letztgenannten wird das GPS-System an den BFW dagegen vergleichsweise ausführlich behandelt und ist im Curriculum verankert.

Detaillierte Gliederungen, Aufbau und konkrete Inhalte sind bei den meisten Seminar anbietenden nicht freizugänglich und oft von dem Lehrenden abhängig bzw. vorgegeben.

Um eine Transparenz und Vergleichbarkeit der zukünftig zu lehrenden GPS-Inhalte herzustellen, wurde eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt. Dabei wurden die folgenden Bücher und Lehrunterlagen analysiert:

- 1) Schütte, W. (2020): Handbuch „Form- und Lagetoleranzen“ [Schütte et al. 2020]
- 2) Henzold, G. (2011): DIN Kommentar „Form und Lage“ [Hen 2011]
- 3) Brabec, D. (2021): „Einführung in die Geometrische Produktspezifikation“ [Brabec et al. 2021]
- 4) Nielsen, H. (2012): „The ISO geometrical product specifications handbook. Find your way in GPS“ [Nie 2012]
- 5) Gröger, S. (2022): Lehrunterlagen „Tolerierung von Geometrieabweichungen I und II“ [Pro 2022]

Diese ausgewählten Literaturquellen eignen sich, im Gegensatz zu den Normen, auch als Selbststudienmaterial und werden nachfolgend kurz beschrieben. Eine übersichtliche und vergleichende Darstellung der inhaltlichen Struktur ist in Anlage 1 zu finden.

Das Handbuch von Schütte für Studium und Praxis bietet Ingenieuren, Technikern und Zeichnern, Auszubildenden, Studierenden und Lehrenden eine systematische Einführung und fundierte Hilfen im Bereich der Form-, Lage- und Maßtolerierung. Henzold veröffentlicht sein Buch als „Beuth Kommentar“ mit praxisbezogenen Erläuterungen zu den relevanten Normen des ISO GPS-Systems. Es ist ein Leitfaden, in dem Form- und Lagetoleranzeigenschaften nebst dazugehörigen Begriffen definiert werden, es enthält Grundlagen für das prüfgerechte Tolerieren, Prüfgrundsätze und Beispiele für Lösungen in besonderen Funktionsfällen. Brabec/Stenzel hat das Buch im Europa Lehrmittelverlag veröffentlicht, in dem auch alle für technische Aus- und Weiterbildung relevanten Tabellenbücher erhältlich sind. Als Ergänzung zu den Tabellenbüchern soll dieses Buch einen umfassenden Einstieg in das ISO GPS-System bieten und alle, die technische Zeichnungen erstellen oder lesen müssen, eine Hilfestellung geben.

Nielsen hat in seinem Buch die Danish Standards (DS) des GPS-Systems veröffentlicht. Die Lehrveranstaltung Tolerierung von Geometrieabweichungen erstreckt sich an der TU Chemnitz über zwei Semester und sind sowohl im Master Maschinenbau als auch im Diplom Maschinenbau Wahlfächer.

Bei der vergleichenden Betrachtung in Anlage 1 ist ersichtlich, dass alle Quellen mit einem Einstieg und Überblick zu dem GPS-System beginnen. Bei [Nie 2012] steht dabei die Matrix im Vordergrund. [Schütte et al. 2020] und [Hen 2011] erläutern die Grundlagen der Tolerierung mit Problemen und Herausforderungen. Ähnlich ist die Herangehensweise in den Vorlesungsunterlagen. In [Schütte et al. 2020] und [Hen 2011] wird auch die statistische Tolerierung oder Toleranzstatistik erläutert.

Bei Brabec sind in der 2. Auflage bereits die Oberflächenangaben nach der neuen Norm DIN EN ISO 21920 (2022-10). Bei den Allgemeintoleranzen wird auf die neuen Normen DIN EN ISO 22081 (2022-10) und DIN 2769 (2021-12) Bezug genommen.

Die Reihenfolge der Erläuterung aller Aspekte des GPS-Systems variiert sehr stark. Des Weiteren sind in allen Quellen umfangreiche praktische Anwendungsbeispiele zu finden. [Pro 2022; Hen 2011; Brabec et al. 2021] gehen auch auf einzelne Verifikationsaspekte mit ein, wie z. B. Filterung oder Prüfen von Form- und Lageabweichungen. [Schütte et al. 2020] und [Brabec et al. 2021] haben zudem ein Vorgehen beschrieben

bzw. bieten eine Checkliste zur Umsetzung an. [Pro 2022; Schütte et al. 2020; Hen 2011] stellen am Schluss außerdem noch den Vergleich zur amerikanischen ASME-Normung her.

Nachfolgende Schwerpunkte sind in allen Quellen zu finden und können somit als Schlüsselmerkmale angesehen werden, welche eine gute Basis für eine standardisierte Aus- und Weiterbildung sein können:

- Zeichnungseintragung,
- Größenmaße,
- Formtoleranzen,
- Profiltoleranzen,
- Richtungstoleranzen,
- Ortstoleranzen,
- Lauftoleranzen,
- Bezüge und Bezugssysteme,
- Toleranzzonen,
- Hüllbedingung,
- Maximum-Material-Bedingung,
- Minimum-Material-Bedingung,
- Allgemeintoleranzen und
- Oberflächenkennwerte.

#### *2.2.5 Qualifizierungsdauer, -nachweis und -kosten*

Als Nachweis für eine bestandene Klausur an Hochschulen erhalten die Studierenden eine Note bzw. eine Gesamtnote für den erfolgreichen Abschluss eines Moduls bzw. der Studienrichtung. Das entsprechende Fach ist auf dem Abschlusszeugnis ersichtlich.

Einige Weiterbildungseinrichtungen bieten Seminare an, in denen sich die Teilnehmer in mehreren aufeinander abgestimmten Qualifikationsstufen weiterbilden können. Dazu zählen z. B. die Schulungen der Deutschen Gesellschaft für Qualität. Dabei handelt es sich aber in der Regel um Ausnahmen. Die meisten Seminare, die von den Weiterbildungseinrichtungen angeboten werden, umfassen lediglich eine einzige Qualifikationsstufe. In Abhängigkeit von der Weiterbildungseinrichtung erhalten die Teil-

nehmer nach erfolgreich bestandener Prüfung ein Zertifikat. Bieten die Weiterbildungseinrichtungen keine Abschlussprüfung an, werden Teilnahmebescheinigung mit einer groben Inhaltsangabe ausgegeben.

Als Nachweis für die erworbene Qualifikation am BFW steht am Ende der Umschulung eine Abschlussprüfung mit einem IHK-Abschluss.

In Abhängigkeit vom Ausbildungsträger unterscheidet sich die Ausbildungsdauer erheblich. Eine Lehrveranstaltung an Hochschulen umfasst mindestens ein Semester.

Die Ausbildungsdauer zum Technischen Produktdesigner umfasst dreieinhalb Jahre.

An IHKn beträgt die Seminardauer zwischen einem Tag (ca. 8h) und 50h. Die Kosten betragen je nach Seminar zwischen 310,00 € und 1290,00 €.

Die Ausbildungsdauer der meisten GPS-Seminare der Weiterbildungseinrichtungen beträgt zwei Tage. Die Seminarkosten der Weiterbildungseinrichtungen unterscheiden sich erheblich. In Abhängigkeit vom Seminaranbieter, Seminarinhalt, Seminarform, Seminardauer und der jeweiligen Qualifikationsstufe betragen die Kosten zwischen 320,00 € und 2190,00 € für die entsprechende Qualifizierung.

Die Umschulungen an den BFW dauern in der Regel 24 Monate. Ausbildungskosten fallen für die Lernenden nicht an.

Schulungen der HWKn umfassen teilweise 60 Unterrichtseinheiten. Je nach Seminar betragen die Kosten bis zu 930,00 €.

### *2.2.6 GPS&V-Toolbox als internationaler Lehransatz*

Im Rahmen eines EU-Programms wurden von 2015 bis 2018 im Projekt „GPS&V-Toolbox“ innovative Lehrplaninhalte und -strukturen entwickelt. Das Curriculum wurde von einem Konsortium unter der Leitung der Universität von Bielsko-Biala (Polen) entwickelt. [EU 2018]

Das Hauptprodukt des Projekts, das Schulungsangebot "Geometrische Produktspezifikation und -verifizierung als Werkzeugkasten zur Erfüllung aktueller Anforderungen", wurde mit Hilfe einer Blended-Learning-Methodik entwickelt.

Die Inhalte werden durch eLearning-Module vermittelt, die grundsätzlich für den webbasierten Zugriff gedacht sind. Die eLearning-Inhalte bestehen aus erklärenden Texten, die (gegebenenfalls) mit Grafiken, Videos, Animationen, Simulationen, praktischen Beispielen und Aufgaben zur Selbstüberprüfung der Lernenden angereichert

sind. Jedes Lernmodul wurde von Autoren aus zwei verschiedenen Universitäten entwickelt und der Inhalt wurde von einem dritten Mitglied des Konsortiums überarbeitet. [EU 2018] Die Inhalte beinhalten auch Quizfragen in Form von Verständnisfragen, um den Lernstand des Nutzens zu überprüfen. Aufgrund der umfangreichen Verwendung von Fachbegriffen, wurde die englische Sprachrevision von einem muttersprachlichen GPS-Experten durchgeführt. [EU 2018]

Der vorgeschlagene Lehrplan umfasst 30 Kapitel, wobei jedes Kapitel wie folgt gegliedert ist [GPS 2015]:

- 1) Lernziele
- 2) Einleitung
- 3) Inhalt je nach Thema
- 4) Beispiele
- 5) Verständnistest
- 6) Referenzen
- 7) Glossar
- 8) Literaturverzeichnis

Die Lernplattform Moodle für die GPS&V-Toolbox-Kursinhalte wurde an der Universität Bielsko-Biala eingerichtet und gepflegt, alle entwickelten Lernmodule (oben genannten Kapitel) sind dort implementiert. [GPS 2015] In Abbildung 6 ist beispielhaft das Lernmodul 3: Lineare Größenmaße dargestellt. Auf der linken Seite ist die genannte Gliederung jedes Lernmoduls dargestellt. Je nach Inhalt befinden sich auf dem restlichen Bildschirm Texte, Tabellen, Bilder und vereinzelt Videos, welche vorwiegend als Bildschirmmitschnitt mit Erläuterungen dargestellt sind. Interaktive Inhalte, welche zum Lernen motivieren und das Verständnis fördern sind nicht zu finden.



GPS&V T

GEOMETRICAL PRODUCT SPECIFICATION AND VERIFICATION  
 AS TOOLBOX TO MEET UP-TO-DATE TECHNICAL REQUIREMENTS  
 2015-1-PL01-KA202-016875

3. Linear sizes
3.1 Learning aims
3.2. Introduction
3.3. Types of linear sizes
3.4. Size specification modifiers
3.5 Envelope requirement
3.6. Size specifications – general and individual indications
3.7. ISO default specification operator for size
3.8. Comprehension test
Glossary
Bibliography

### 3.3. Types of linear sizes

In specifications different types of size characteristics are applied (in short just: "different sizes"). Their simplified overview is presented in Figure 3.2

*Local linear size*, represented by local characteristic, has non-unique value along and/or around the feature of size. It changes when is evaluated in different places on the toleranced feature. The concept of local size may be applied to a cylinder or two opposite parallel planes as well.

```

graph TD
    SC[Size characteristic] --> LS[Local size]
    SC --> CS[Calculated size]
    SC --> GS[Global size]
    LS --> TPS[Two-point size]
    LS --> SS[Section size]
    CS --> CD[Circumference diameter]
    GS --> LSS[Least-squares size]
    GS --> MCS[Min. circumscribed size]
          
```

Abbildung 6: Screenshot der Toolbox Kapitel 3 [GPS 2015]

Während der Projektlaufzeit testeten Industriearbeiter und Ingenieure sowie Studierende der Fakultäten für Maschinenbau bei Multiplikatorenveranstaltungen, die von allen Projektpartnern durchgeführt wurden, in den verschiedenen Ländern die Lernmaterialien und Funktionalitäten der GPS&V-Toolbox.

Die entwickelte Toolbox kann ein Schritt zum Aufbau eines standardisierten und europaweit harmonisierten Bildungsangebots für die Berufsausbildung und das lebenslange Lernen von Maschinenbauingenieuren sein [EU 2018; GPS 2015; Uni 2022], allerdings sind seit Projektende 2018 keine Aktivitäten sichtbar bzw. recherchierbar. Die Inhalte in der GPS&V-Toolbox wurden seitdem ebenfalls nicht überarbeitet.

### 2.2.7 Erwerb von Wissen und Kompetenzen

Die Umwandlung komplexer Sachverhalte in verständliche Lerninhalte stellt eine Kernanforderung an Lehrende in der Vorbereitung und Durchführung von Lernangeboten dar. In vielen Bereichen nimmt – zum Beispiel durch Globalisierung oder technologischen Fortschritt – die Komplexität der zu vermittelnden Themen zu. Die didaktische Reduktion ist ein möglicher Ansatz, um relevante Inhalte auszuwählen, sie zu vereinfachen und auf das Wesentliche zu reduzieren. [San 2017]

Bevor eine didaktische Reduktion vorgenommen werden kann, wird in der Literatur [Wei 2002; San 2017; Erp 2017; Ler 2010] empfohlen, sich zunächst mit dem „Learning Outcome“ zu beschäftigen, um der gegenwärtigen Herausforderung, der kompetenzorientierten Neugestaltung der Lehre zu begegnen. Das bedeutet, dass von den Qualifikationszielen aus, eine Lehr-Lernzielentwicklung erfolgen muss und so Kompetenzen beschrieben werden können.

Eine Grundvoraussetzung besteht allerdings zunächst darin zu klären, was genau der Kompetenzbegriff umfasst. Eine sehr häufig zitierte Definition stammt von Franz E. Weinert, die er erstmals in einer Expertise für die OECD im Jahre 1999 formuliert hat: *„Kompetenzen sind die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen (willentlich und bewusst angestrebt) und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“*. [Wei 2002] Demnach spielen hier nicht nur kognitive Wissensinhalte eine Rolle, sondern Kompetenz zeigt sich gerade darin, dass man mit seinem Wissen auch etwas anfangen kann (z. B. Aufgaben oder Probleme lösen). Weiterhin sind Kompetenzen noch verknüpft mit Einstellungen, Werten und Motiven. [Wei 2002] Vor allem aber: Sie sind – im Unterschied etwa zu Intelligenz – erlernbar! [Ler 2010]

Die nach [Erpenbeck et al. 2003] definierte Kompetenz als „Selbstorganisationsdisposition“ besteht dabei aus Schlüsselkompetenzen-Set wie personeller, sozial- und kommunikativer, aktivitäts- und umsetzungsorientierter, fachlichmethodischer Kompetenzen. Sie ist kontextspezifisch, dynamisch, evaluierbar und spiegelt als Folge der Vernetzung individueller (Fachkräfte-)Kompetenzen, die Unternehmenskompetenz wider. [Erp 2017]

Vor dem Hintergrund die Inhalte der Normen des ISO GPS-Systems verständlich aufzubereiten, kompetenzorientiert zu betrachten und damit praktisch anwendbar zu machen, kommt eine Literaturverwaltungssoftware zum Einsatz. Die Literaturverwaltungssoftware Citavi bietet eine umfassende Wissensorganisation sämtlicher Literaturquellen an. Angefangen vom Recherchieren, über das Verschlagworten und Kategorisieren bis hin zum Publizieren bietet das Programm zahlreiche Funktionalitäten. [Meu 2017; Cit 2021] Eine wichtige Funktionalität, um komplexe Wissensgebiete in kleine „Häppchen“ zu unterteilen, ist das Anlegen und Organisieren von Wissenssele-

menten. [Cit 2021] Der Begriff „Wissenselement“ ist durch Citavi nicht eindeutig definiert, es können Zitate, Bilder, Tabellen und sonst. Textpassagen sein. In Anlehnung an die International Society for Knowledge Organization (ISKO) ist das Wissenselement definiert als Bestandteil einer Wissenseinheit, welche Wissen (subjektiv und objektiv) zu einem Bezugsgegenstand aussagt. [Soc 2022]

Um vorhandene und benötigte Kompetenzen zu ermitteln setzen Unternehmen als Arbeitsmittel Kompetenzmodelle ein.

Mansfield definiert das Kompetenzmodell, als eine für Kommunikation in der Organisation geeignet aufbereitete und gestaltete Sammlung und Beschreibung von Kompetenzen, die derzeit und in Zukunft als relevant erachtet werden. (Mansfield 1996) Das Kompetenzmodell wird dabei oft mit den vier Dimensionen

- Personale Kompetenz (z. B. Loyalität, Eigenverantwortung, Einsatzbereitschaft, Ganzheitliches Denken, Zuverlässigkeit)
- Sozial-kommunikative Kompetenz (z. B. Konfliktlösungsfähigkeit, Teamfähigkeit, Sprachgewandtheit, Gewissenhaftigkeit, Experimentierfreude)
- Fach- und Methodenkompetenz (z. B. Fleiß, Konzentrationsstärke, analytische Fähigkeiten, Sachlichkeit, Projektmanagement, Fachwissen) und
- Aktivitäts- und Handlungskompetenz (z. B. Initiative, Belastbarkeit, ergebnisorientiertes Handeln, soziales Engagement, Konsequenz)

aufgebaut [Heyse et al. 2004].

Kompetenzmodelle sind in der Praxis häufig ein Instrument des Personalmanagements und somit enthalten sie eine Auflistung oder Sammlung von übergeordneten Kompetenzen, welche vorwiegend psychologische Merkmale oder Anforderungen darstellen. Sie sind die Grundlage für Personalgespräche, Zielvereinbarungen, Personalauswahlverfahren usw. [Krumm et al. 2012] Einzelne fachliche Kompetenzen, wie z. B. GPS-Kompetenzen, in der Praxis häufig als Fertigkeiten bezeichnet, werden in Kompetenzmodellen nicht detailliert dargestellt. Aus diesem Grund werden im Abschnitt 2.4 alternative Modelle zur Bewertung von Systemen und/oder Kompetenzen recherchiert und untersucht.

Ausgehend vom Learning Outcome und dem o. g. Kompetenzverständnis, ist es für das übergeordnete Ziel - die komplexen GPS-Normeninhalte erlernbar zu machen -,

notwendig, eine didaktische Reduktion vorzunehmen. Sie kann auf drei verschiedene Arten erfolgen:

1) Quantitative Reduktion

Es werden die Lerninhalte auf eine Minderung der Quantität hin selektiert.

2) Vertikale qualitative Reduktion

Es erfolgt eine Steigerung des qualitativen Umfangs von Kompetenzstufe zu Kompetenzstufe, in dem Lerninhalte ausschnittsweise einbezogen werden.

3) Horizontale qualitative Reduktion

Das Niveau der Lerninhalte bleibt gleich, allerdings wird dem Lernenden mittels verschiedener Medien und geeigneter Methoden der Zugang erleichtert.

[San 2017]

Für die Beschreibung des Learning Outcomes der GPS-Kompetenzen und als Voraussetzung für die Anwendung der didaktischen Reduktion wird eine Lernzieltaxonomie benötigt.

### *2.2.8 Lernzieltaxonomie*

Um in der Lehre vom Einfachen zum Schwierigen, vom Überschaubaren zum Komplexen voranzuschreiten, ist eine Ordnung von Lernzielen hilfreich. Das bekannteste Klassifikationsschema für Lernziele sind die von Bloom 1979 entwickelten Taxonomie-stufen. Sie helfen, die Verschiedenartigkeit von Lernzielen nach logischen Kriterien hierarchisch zu gliedern. Sie sind für die Lernzielkontrolle sehr nützlich. Nachfolgende Tabelle (siehe Tabelle 1) erläutert die einzelnen Stufen und ordnet ihnen eine Auswahl von Verben zu, welche die Lernzielbeschreibungen erleichtern. Jede Stufe baut auf der vorangehenden Stufe auf und beinhaltet sie. [Bloom et al. 2013]

Tabelle 1: Taxonomiestufen (nach [Bloom et al. 2013])

Taxonomiestufe	Beschreibung	Verben
<b>Wissen:</b> <b>Faktenwissen,</b> <b>Überblick</b>	Die Lernenden geben wieder, was sie vorher gelernt haben. Der Prüfungsstoff musste auswendig gelernt oder geübt werden.	angeben, aufschreiben, aufzählen, aufzeichnen, benennen, bezeichnen, darstellen, vervollständigen, zeichnen, zeigen
<b>Verständnis:</b> <b>Verstehen, mit eigenen Worten begründen</b>	Die Lernenden erklären z. B. einen Begriff, eine Formel, einen Sachverhalt oder ein Gerät. Ihr Verständnis zeigt sich darin, dass sie das Gelernte auch in einem Kontext präsent haben, der sich vom Kontext unterscheidet, in dem gelernt worden ist. So können die Lernenden z. B. einen Sachverhalt auch umgangssprachlich erläutern oder den Zusammenhang grafisch darstellen.	beschreiben, deuten, einordnen, erklären, erläutern, interpretieren, ordnen, präzisieren, schildern, übersetzen, übertragen, umschreiben, unterscheiden, verdeutlichen, vergleichen, wiedergeben
<b>Anwendung:</b> <b>Anwenden eindimensionaler Lerninhalte, Übungen</b>	Die Lernenden wenden etwas Gelerntes in einer neuen Situation an. Diese Anwendungssituation ist bisher nicht vorgekommen.	abschätzen, anknüpfen, anwenden, aufstellen, ausführen, begründen, berechnen, bestimmen, beweisen, durchführen, einordnen, erstellen
<b>Umsetzung:</b> <b>Zerlegen in Einzelteile, Fallstudien</b>	Die Lernenden erkennen Zusammenhänge. Können dies in eigenen Projekten, auch unbekannte/neue Werkstücke anzuwenden.	ableiten, analysieren, beschreiben, darlegen, gegenüberstellen, gliedern, identifizieren, klassifizieren, nachweisen, untersuchen
<b>Synthese und Beurteilung:</b> <b>Vernetzen und Optimieren, fachübergreifend darstellen, Projektaufgaben</b>	Die Lernenden zeigen eine konstruktive Leistung. Die Lernenden beurteilen ein Modell, eine Lösung, einen Ansatz, ein Verfahren oder etwas Ähnliches insgesamt in Hinsicht auf dessen Zweckmäßigkeit oder innere Struktur. Sie kennen z. B. das Modell, dessen Bestandteile und darüber hinaus noch die Qualitätsangemessenheit, die innere Stimmigkeit oder Funktionstüchtigkeit. Darüber müssen sie sich ein Urteil bilden, um die Aufgabe richtig zu lösen	Abfassen, aufbauen, aufstellen, ausarbeiten, definieren, entwerfen, entwickeln, erläutern, gestalten, kombinieren, konstruieren, lösen, optimieren, organisieren, planen, verfassen, zusammenstellen, äußern, auswählen, auswerten, beurteilen, bewerten, differenzieren, entscheiden, folgern, gewichten, messen, prüfen, qualifizieren, urteilen, vereinfachen, vergleichen, widerlegen

## 2.3 Integration von Systemen

### 2.3.1 Arten von Systemen

Ein System, allgemein betrachtet, ist eine geordnete Gesamtheit mit gewissen Eigenschaften und Merkmalen, die aus mehreren Teilsystemen, Elementen und Verknüpfungen besteht. [Wir 2017] Je nach Fachgebiet wird der Begriff weiter detailliert. In dem vorliegenden Kapitel werden verschiedene IT- und Managementsysteme vorgestellt, welche KMU unterstützen, innovative und wirtschaftliche Produkte herzustellen, mit dem Ziel, die langfristige Wettbewerbsfähigkeit sicherzustellen. Ziel dieser Literaturrecherche ist es, den Einführungs- und Anwendungsprozess dieser verschiedenen Systeme zu betrachten und Strategien für eine erfolgreiche und nachhaltige GPS-Einführung daraus abzuleiten. Nachfolgend ist eine mögliche Systemlandschaft entlang des Produktentstehungsprozesses schematisch dargestellt.

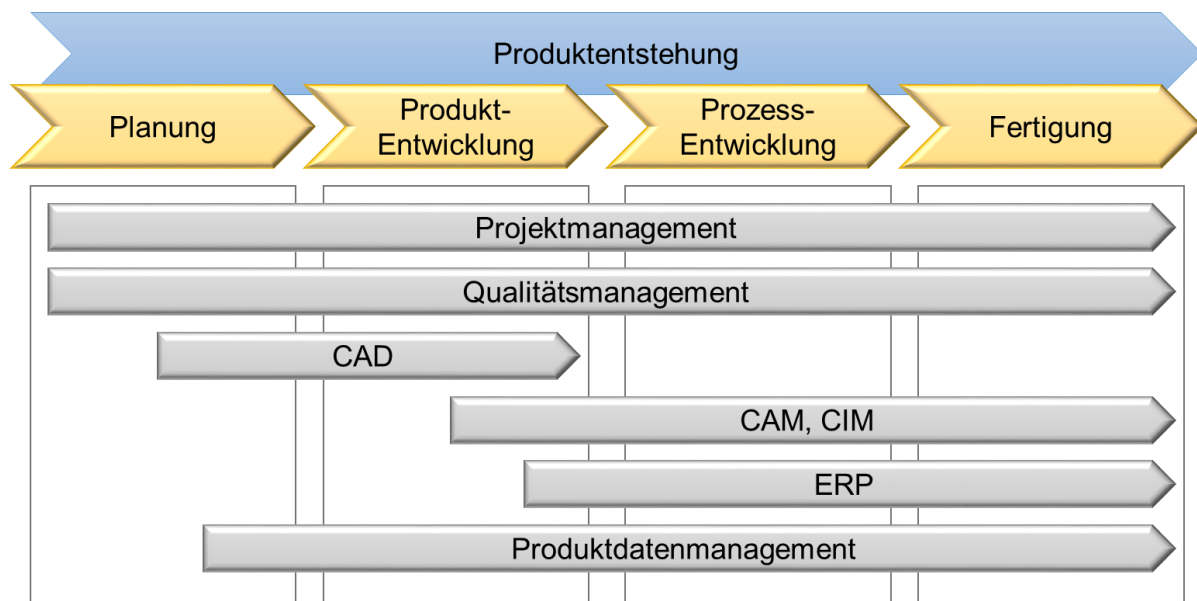


Abbildung 7: Systemlandschaft entlang des Produktentstehungsprozesses (in Anlehnung an [Vajna et al. 2009; Stark et al. 2009])

Bei einer Umfrage im Jahr 2009 zum Nutzen des Einsatzes von IT-Systemen wurde die Steigerung der Kosten- und Zeiteffizienz als auch eine Verbesserung des Innovationsgrades genannt. Auffällig dabei war die Tendenz einer wachsenden Zeitersparnis durch den Einsatz geeigneter CAx-Systeme, je geringer die Fachkräftezahl eines Unternehmens ist. [Stark et al. 2009] Außerdem wurde beobachtet, dass die Zufriedenheit

im Unternehmen am höchsten ist, wenn die Systeme an die bereits vorhandenen Prozesse angepasst werden. [Stark et al. 2009] In der Literatur wird zwischen Einführung und Migration von Systemen unterschieden. Einführung bezeichnet die komplette Neueinführung eines Systems, Migration ist der Wechsel auf ein anderes, ähnliches System. [Vajna et al. 2009] Zusammenfassend betrachtet, folgt die Einführung oder Migration eines Systems immer den in Abbildung 8 dargestellten schematischen acht Phasen, welche sich über 12 bis 18 Monate erstrecken können. [Kem 2018; Vajna et al. 2009; Reh 2004; N+P 2019; Rei 2017; Pfeifer et al. 2014; Rup 2021]

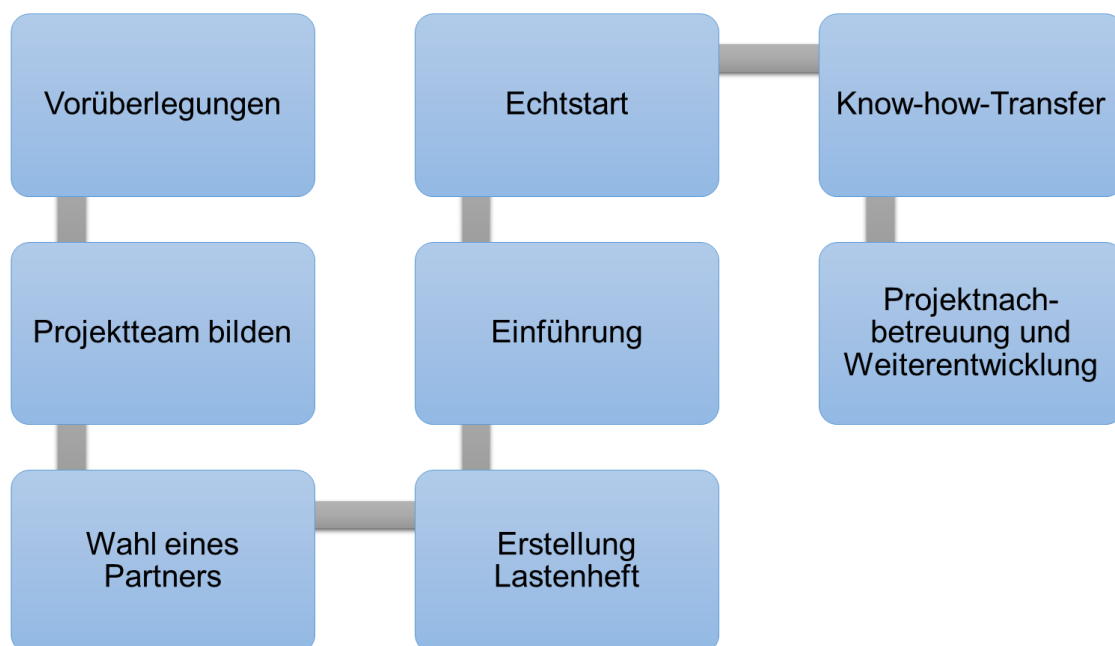


Abbildung 8: schematische Zusammenfassung der Phasen einer Systemeinführung

Die Einführung oder Migration eines Systems ist mit hohem Aufwand verbunden und Bedarf einiger Vorüberlegungen, wie z. B.

- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Kostenminimierung, Erhöhung des Nutzens, Dezentralisierung, Verringerung der Vielfalt der eingesetzten Systeme, Verringerung der Abhängigkeit von einem einzigen Anbieter),
- Stärken- und Schwächenanalyse,
- Prozesse und Dokumentation ordnen,
- Strukturen optimieren oder harmonisieren und
- Meilensteine festlegen.

Das Projektteam leitet und begleitet das Projekt vom Anfang bis zum Ende. Seine Mitglieder kommen aus allen an der Einführung bzw. Migration beteiligten Bereichen, damit sichergestellt wird, dass alle Anforderungen rechtzeitig berücksichtigt werden können. [Vajna et al. 2009] Ein Gesamtprojektleiter sollte immer aus dem Hauptanwendungsbereich des Systems kommen, bei Managementsystemen ist eine entsprechende Ressource auf Managementebene dafür vorzusehen. Außerdem ist es erforderlich alle Mitarbeitenden des Unternehmens über die Einführung oder Migration eines Systems zu informieren.

Im Sinne einer effizienten Unterstützung bei der Einführung oder der Migration sollte das Projektteam prüfen, ob es sich bei den einzelnen Aktivitäten durch einen Partner unterstützen lassen möchte. Ein solcher Partner kann aus einer Stabsstelle des Unternehmens stammen oder ein externer Berater sein, der entweder aus einem entsprechend darauf spezialisierten Beratungsunternehmen oder aus einem Universitätsinstitut stammen kann. [Vajna et al. 2009]

Ein nicht zu unterschätzendes Problem ist die Beschaffung von einigermaßen objektiven Informationen über das jeweilige System. Die Lektüre verschiedener Fachzeitschriften, Vergleichstest, Messebesuche, Benchmark oder Präsentationen von Anbieter von Systemen sind einige Möglichkeiten, bei Managementsystemen ist eine Zertifizierungsgesellschaft auszuwählen. Des Weiteren muss eine Istanalyse durchgeführt werden, bisherige und zukünftige Einsatzgebiete sind zu untersuchen, um daraus ein Sollkonzept mit allen technischen Anforderungen zu erstellen. Die Ergebnisse werden in einem Lastenheft zusammengefasst.

In der Einführungsphase ist ein Fachkonzept zu erstellen. Je nach System werden Testkomponenten ausgewählt, Prozesse beschrieben, Audits durchgeführt, Fachkräfte geschult, Daten eingepflegt, Abstimmungworkshops durchgeführt sowie eine Konfiguration und Anpassung des Systems erfolgen. Die Teammitglieder können experimentieren und ausprobieren, erhalten ggf. ein Coaching und stellen erste Ergebnisse im Unternehmen vor. [N+P 2019; Rup 2021; Rupp et al. 2021]

Mit Einbindung des Feedbacks (Review) besteht die Chance, eventuell vorhandenes Inseldenken aufzulösen, die Arbeitsweisen optimal abzustimmen und Synergien zu erzeugen. [Rupp et al. 2021] Waren alle Tests und Audits erfolgreich, kann mit einer Übergangszeit das neue System unter Volllast eingesetzt werden bzw. das Managementsystem ist zertifizierungsreif. Handelt es sich um eine Einführung neuer Methoden, so ist abzuwägen, ob die neue Methode nur in neu beginnenden Vorhaben oder



auch in bereits laufenden Entwicklungsvorhaben Anwendung findet. Wichtig dabei ist, Migrationsstufen zu definieren, damit eine schrittweise Umstellung erfolgen kann. [Rupp et al. 2021]

Nach den ersten kritischen Wochen müssen nun noch alle übrigen Fachkräfte, die mit dem System arbeiten, geschult werden. Die Schulungen innerhalb der Abteilungen übernehmen idealerweise die Projektteammitglieder (KeyUser). [Reh 2004] Detaillierte Schulungsunterlagen und Handbücher werden erstellt. Auch für wechselnde Arbeitsplätze sollte das erworbene Projekt- und Systemwissen gesichert werden. [Reh 2004] Es erfolgt eine Retrospektive zu dem Prozess und zu den Ergebnissen sowie noch notwendige Maßnahmen müssen definiert werden. [Rupp et al. 2021]

Nach erfolgreicher Einführung ist eine konsequente Weiterentwicklung und kontinuierliche Verbesserung unabdingbar. [Rei 2017; Kem 2018]

### *2.3.2 Einführungsprozess als Veränderungsprozess*

Die Implementierung eines Systems stellt immer ein komplexes und zeitintensives Projekt dar. Es bietet Unternehmen große Möglichkeiten, stellt aber gleichzeitig auch ein großes Risiko dar, denn jede Veränderung bedeutet Aufgabe von etwas Gewohntem und der Sicherheit, die Bekanntes bietet. [Rupp et al. 2021] Aus diesem Grund ist es wichtig, jeden Einführungsprozess auch als Veränderungsprozess zu betrachten. Veränderungsprozesse werden in den Unternehmen häufig als Change Management bezeichnet. Change Management umfasst die Planung, Durchführung und Kontrolle von Änderungsprozessen. Vorhandene Strukturen und Abläufe müssen geändert, damit das Unternehmen neuen Anforderungen gerecht werden kann. In der Literatur werden folgende Erfolgsfaktoren für das Change Management genannt [Gro 2015; Rup 2021]:

- Abgestimmtes Veränderungskonzept,
- Ziele allen Beteiligten bekannt geben,
- Etablierung einer Kerngruppe (mit Rückhalt im Top Management, Expertise, Sachverstand, Autorität),
- Wirkungsvolle Beratungs-Architektur,
- Schnelle Erfolge schaffen,
- Kritiker einbeziehen,
- Bereitstellung notwendiger Ressourcen,
- Widerstand berücksichtigen,

- Unerwünschte Effekte betrachten inkl. Ursachenanalyse und einen
- Fairen Ausgleich für „Verlierer“ des Prozesses vorsehen.

Werden diese Erfolgsfaktoren auf einen Prozess übertragen, lässt sich der Ablauf eines Veränderungsprozesses wie folgt zusammenfassend darstellen [Rup 2021; Reh 2004; Kem 2018; Die 2019; Häu 2020; Gro 2015; Str 2016]:

- 1) Dringlichkeit erzeugen
- 2) Projektvision und –ziele definieren
- 3) Wandel kommunizieren
- 4) Befähigung der Ressourcen und Veränderungen umsetzen
- 5) Kommunikation kurzfristig erzielter Erfolge
- 6) Erfolge sichern, Veränderungen verankern

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei Veränderungsprozessen ist die emotionale Sicht. Hierzu gibt es in der Literatur verschiedene Modelle, welche auch davor ausgehen, dass das bei Individuen beobachtete Verhalten auf Organisationen übertragbar ist. Folgende emotionale Reaktionen auf Veränderungen lassen sich nach [Str 2016] beobachten:



Abbildung 9: emotionaler Verlauf des Veränderungsprozesses (vgl. [Str 2016])

Nachdem die Beschäftigten mit der bevorstehenden Veränderung konfrontiert wurden, tritt in den meisten Fällen zunächst ein Zustand der Überraschung und des Schocks ein. Die Produktivität und das emotionale Befinden der Beschäftigten sinken. Nach dem Schockzustand folgt häufig der Zusammenschluss mehrerer Beschäftigter als Ausdruck der Ablehnung gegenüber der Veränderung. Mit Aussagen wie „Das haben wir doch schon immer so gemacht“ wird unter anderem auch die Angst gegenüber neuen Strukturen ausgedrückt. Sobald die Beschäftigten erkennen, dass die ablehnende Haltung keine Wirkung zeigt, stellt sich Einsicht ein. Es wird erkannt, dass die Veränderung unvermeidbar und vielleicht sogar notwendig ist. Einsicht bedeutet an dieser Stelle jedoch nicht, dass die Beschäftigten bereit sind, eigene Verhaltensweisen zu ändern. Vielmehr geht es um die Einsicht, dass grundsätzlich akzeptiert wird, dass eine Veränderung stattfinden muss. Der Tiefpunkt der Grafik zeigt den Wendepunkt im Verlauf des Veränderungsmanagements. Beschäftigte akzeptieren die Veränderung nun und verstehen nicht mehr nur ihre Notwendigkeit. Der Veränderungsprozess kann beginnen. In der fünften Phase werden Beschäftigte neugierig und ein Lernprozess beginnt. Es wird ausprobiert, welche Verhaltensweisen funktionieren und welche nicht. In einem vorletzten Schritt tritt Erkenntnis ein. Es wird erkannt, dass die durchgeführte Veränderung etwas Gutes hat. Es werden erste Erfolge erzielt und Beschäftigte erweitern ihre Fähigkeiten. Abschließend werden die neuen Handlungsweisen vollständig in den Alltag der Organisation integriert. [Str 2016]

### *2.3.3 Agilität und die Rolle im Ausbildungs- und Integrationsprozess*

Agilität allgemein ist die Gewandtheit, Wendigkeit oder Beweglichkeit von Organisationen und Personen bzw. in Strukturen und Prozessen. Es ist im Rahmen der Softwareentwicklung entstanden, um das adaptive Planen und schnelle Abstimmen im Team zu unterstützen. [DGQ 2018; Beedle et al. 2020] Folgende einzelne agile Aspekte und Methoden können für eine innovative GPS-Ausbildung und -Integration angepasst und genutzt werden:

#### 1) Improvement Community

Ist eine Ansammlung von erfahrenen Fachkräften, die die Aufgabe haben, etwas Neues im Unternehmen einzuführen, indem sie Hindernisse und Probleme, die die Einführung stören oder verhindern könnten, aufdeckt und beseitigt und das Neue einführt. Sie sollten aus allen betroffenen Unternehmensbereichen vertreten sein

und die Leidenschaft in sich tragen, Veränderungen zu initiieren und weitere Personen zu motivieren. [Rupp et al. 2021; Kus 2018]

## 2) Review

Jeder Schritt wird durch ein Review-Meeting abgeschlossen. Das Team stellt die Ergebnisse und die Teil-Produkte (Inkrement) vor. Mit den Ergebnissen aus dem Review kann der Schritt starten. Es folgen so viele Schritte, bis das Projekt abgeschlossen ist. [Jak 2021]

## 3) Retrospective

In gesonderten Treffen zwischen einem Review und dem nächsten Schritt können die Teammitglieder besprechen, wie der Schritt in Bezug auf die Zusammenarbeit der beteiligten Personen, Abläufe, Kommunikation und Werkzeuge verlief. Sie halten fest, was für den nächsten Schritt verbessert werden sollte. Die Erkenntnisse sollten für zukünftige Projekte genutzt werden; so wird ein Lernprozess unterstützt. [Jak 2021]

Aber auch die virtuelle Zusammenarbeit und Weiterbildung lässt sich agil sehr effektiv gestalten. [Drack et al. 2021] Virtuelle Kanban-Boards, regelmäßige niederschwellige Kommunikation, z. B. online im Daily-Stand-up, oder Online-Retrospektive mit virtuellen Whiteboards und strukturierte Online-Diskussionsformate, wie z. B. das Lean Coffee Format [Pet 2019] sind einige Methoden die dies unterstützen. [Sän 2021] Zu beachten ist, dass gerade in agilen Teams, in den co-kreativ innovative Lösungen erarbeitet werden, eine solide Vertrauensbasis der Teammitglieder eine große Rolle spielt. Mit Offenheit und Mut, soll Neues erprobt werden, ggf. gehört auch scheitern dazu und für die nächsten Schritte soll daraus gelernt werden. Mit der virtuellen Kollaboration ändert sich nichts an dieser Beziehungskomponente, allerdings steht die Metakommunikation, insbesondere die Körpersprache, Mimik und Gestik, nur eingeschränkt zur Verfügung. [Drack et al. 2021] Aus diesem Grund müssen in Online-Meetings die Metaebene gezielt mit einbezogen werden, z. B. in Blitzlichtrunden am Anfang, gezielten Feedbackrunden, aktive Pausen, Nutzung von Emojis oder anderen Symbolen oder vereinbarte Handzeichen. [Drack et al. 2021]

Ein weiterer international durch Arie van Bennekum (Co-Autor des Agilen Manifest [Beedle et al. 2020]) bekannter Ansatz ist das „Integrated Agile Transformation Model“

(IATM). [Ben 2018] Das Modell ist in eine Reihe von Wellen gegliedert. Jede Welle ist ein einfacher und funktioneller Prozess:

- Bewertung und Fundamente (Identifizierung der agilen Basislinie der Organisation, Erstellung des Transformations-Backlogs, unserer Arbeitsvereinbarung),
- Synchronisierung (Schulung der Fachkräfte für eine gemeinsame Sprache, Geeignete(n) Teamräum(e) schaffen),
- Verfolgen (Fokus auf Team-Rituale, Team-Feedback, Interne Communities für Nachhaltigkeit gründen),
- Leiten (Fokus auf individuelle Verfeinerung und Feedback, Werkzeuge für integrierte Prozesse einführen) und
- Übergabe (Übergabe an die gecoachten und geschulten Teams, Weiterführung).

[Ben 2018]

In den vorgestellten agilen Konzepten und Vorgehensweisen steht neben dem Produkt vor allem die Teamentwicklung im Mittelpunkt. Teamgeist eine der wichtigsten Faktoren, wenn sich Organisationen weiterentwickeln wollen. Es bedarf an einer Unternehmenskultur, welche die Mitarbeitenden durch Lernen und Verstehen sensibilisiert, durch Handeln und Verändern entwickelt sowie durch Erkennen und verbessern reflektiert. [CAP 2022; Loyal et al. 2022]

#### 2.3.4 *Benchmarking, um den optimalen Integrationsprozess zu finden*

In der Literatur existiert keine eindeutig festgelegte Definition des Begriffs Benchmarking. Camp definiert Benchmarking folgendermaßen: *Benchmarking is the search for industry best practice that lead to superior performance.* [Cam 2007] Laut Ulrich ist Benchmarking ein Prozess, in dem Benchmarking-Objekte wie z. B. Prozesse, Produkte oder Dienstleistungen miteinander verglichen werden. Dies liefert dem Anwender die Möglichkeit, Rückschlüsse auf die eigene Leistungsfähigkeit im direkten Vergleich mit anderen zu ziehen [Schröder et al. 2003; Spe 1992]. Im Rahmen dieser Arbeit ist das Benchmarking als eine Art Vergleichsprozess der Benchmarking-Partner anzusehen, in dem die Leistungen der Benchmarking-Partner in Bezug auf ein festgelegtes Benchmarking-Objekt miteinander verglichen werden, um die erfolgversprechendsten Vorgehensweisen abzuleiten. [Schröder et al. 2003] fasst in seiner Dissertation zusammen, dass im Umgang mit Benchmarking häufig die Begriffe Best-in-Class bzw. Best-Practice fallen. Da der Anteil der Benchmarking-Partner im Rahmen

dieser Dissertationsschrift individuell ausgewählt werden, ist es das Ziel anstelle von Best-in-Class und Best-Practice Successful Practice zu identifizieren. In der Literatur existiert eine Vielzahl unterschiedlichster Modelle und Vorgehensweisen zum Ablauf eines Benchmarking-Prozesses, welche im Laufe der Zeit entstanden sind. Diese unterscheiden sich insbesondere in der Bezeichnung der einzelnen Phasen sowie dem Detaillierungsgrad. Insgesamt kann festgestellt werden, dass sich die Modelle zwar in der Anzahl und der Benennung der einzelnen Phasen unterscheiden, der Inhalt aber weitestgehend identisch bleibt. [Ulr 1998] Stellvertretend für die zahlreichen Benchmarking-Modelle wird nachfolgend das Benchmarking-Modell nach Camp, einem Begründer des Benchmarkings, ausgewählt und in Tabelle 2 beschrieben. Dieses Modell besteht aus vier Phasen, welche wiederum in insgesamt zehn Prozessschritte untergliedert sind. An diesem Vorgehensmodell orientieren sich zahlreiche weitere Benchmarking-Modelle.

*Tabelle 2: Phasen des Benchmarking-Prozesses nach [Cam 2007]*

Phase	Inhalt	Schritte
<b>Planung</b>	In dieser Phase wird das Benchmarking-Projekt geplant.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Benchmarking-Objekt festlegen</li> <li>2) Benchmarking-Partner auswählen</li> <li>3) Methode festlegen, bzw. die Art und Weise, wie die notwendigen Daten erhoben werden</li> </ol>
<b>Analyse</b>	In dieser Phase erfolgt eine Bewertung der ermittelten Daten.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Differenz der eigenen Leistung zu der Leistung der Benchmarking-Partner steht im Fokus</li> <li>2) Leistungen aus der Vergangenheit mit den zu erwartenden Leistungen der Zukunft vergleichen</li> </ol>
<b>Integration</b>	In dieser Phase werden Ziele festgelegt, um die analysierten Schwächen zu beseitigen.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Ergebnisse des Benchmarkings intern kommunizieren</li> <li>2) Anpassung der langfristigen Unternehmensplanung</li> </ol>
<b>Action</b>	In der letzten Phase werden Möglichkeiten aufgezeigt, die geeignet sind, um die aufgezeigten Schwächen mit Hilfe von Maßnahmen zu reduzieren.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Konzepte mit Verbesserungsmaßnahmen entwerfen</li> <li>2) Umsetzung der Maßnahmen</li> <li>3) Sicherung der Ergebnisse und eine Neujustierung des Benchmarkings</li> </ol>

### 2.3.5 Grafische Darstellung des Integrationsvorgehens

Damit ein neues Vorgehen den KMU bekannt gemacht wird und eine breite Nutzung erfährt, ist es erforderlich unter Anwendung aktueller Tools das Integrationsvorgehen grafisch und frei zugänglich darzustellen.

Folgende Kriterien wurden für die Auswahl eines Darstellungstools aufgestellt [Cap 2022; tru 2022]:

Frei zugänglich: Eine wichtige Anforderung, welche an das Tool gestellt wird, ist, dass es keine zusätzlichen finanziellen Kosten verursacht, was insbesondere im Interesse des Autors dieser Arbeit liegt.

Benutzerfreundlichkeit: Darüber hinaus sollte sich das Tool durch eine benutzer- und einsteigerfreundliche bzw. intuitive Bedienung auszeichnen. Dazu gehört u. a., dass das Tool auch von Anwendern ohne Vorkenntnisse und Erfahrung im Umgang mit grafischen Modellierungssprachen verwendet werden kann.

Kompatibilität: Des Weiteren muss das Tool für eine zügige und unkomplizierte Anwendung mit den gängigen Betriebssystemen kompatibel sein.

Plattform: Wichtig ist zudem die Plattform, über die das Tool verwendet wird. Browserbasierte Tools bieten den Vorteil, dass kein Download erforderlich ist, Speicherplatz eingespart wird und ortsunabhängig gearbeitet werden kann.

Vorlagen: Eine weitere wichtige Anforderung an das Tool ist, dass es eine gewisse Anzahl an Diagrammvorlagen für den Anwender bereithält, welche u. a. zur Inspiration als auch als Ausgangslage für die Anwendung dienen. Im konkreten Fall sind das u. a. Ablaufdiagramme, Flussdiagramme, Grafiken oder BPMN-Vorlagen.

## 2.4 Modelle zur Bestimmung der Reife eines Systems

### 2.4.1 Einführung

Um einen „antizipierenden, typischen, logischen oder gar erwünschten Evolutionspfad hin zu einer möglichst vollkommenen Reife zu beschreiben“ kommen Reifegradmodell zum Einsatz [Becker et al. 2009]. Die Modelle werden in der Wissenschaft und Praxis vorwiegend eingesetzt, um Fähigkeiten oder Entwicklungsstände von Technologien, Produkten, Prozessen oder Organisationen zu analysieren und deren gegenwärtige Fähigkeitsniveaus durch „Reifestufen“ oder sogenannte „Reifegrade“ zu beschreiben. [Rum 2014] Reifegradmodelle gibt es bereits seit den 70er Jahren. 1973 wurden durch

Gibson und Nolan ein vierstufiges Modell für das Management der elektronischen Datenverarbeitung beschrieben. [Gibson et al. 1974] 1979 definierten die amerikanischen Qualitätspioniere Juran und Crosby das „Quality Management Maturity Grid“ (QMMG) mit dem Ziel, die Qualität im Unternehmen zu entwickeln und zu verbessern. [Cro 1979]

Aktuelle Schätzungen gehen von mehr als 200 Reifegradmodellen aus. [Küh 2020; Com 2022; Wessing et al. 2022] Sie werden aktuell vorwiegend in der Softwareentwicklung, im agilen Projekt- und Prozessmanagement, in der digitalen Transformation und Industrie 4.0-Entwicklungen und als Führungsinstrument im Managementsystem eingesetzt.

Für die Zielsetzung dieser Arbeit werden in den nächsten Abschnitten ausschließlich Reifegradmodelle untersucht, welche sich mit der Bewertung von Einführungsprozessen und dafür notwendigen Kompetenzen beschäftigen. Im Abschnitt 2.4.2 werden dazu Begriffe erläutert, im 2.4.3 und 2.4.4 werden verschiedene existierende Reifegradmodelle sowie verschiedene Modelltypen für die die Anwendung im GPS-Integrationsprozess untersucht. Im Abschnitt 2.4.5 werden methodische Vorgehensweisen zur Modellentwicklung gegenübergestellt und beschrieben.

#### *2.4.2 Begrifflichkeiten*

Trotz der 50jährigen Geschichte und der beträchtlichen Anzahl verfügbarer Reifegradmodelle findet erst in den letzten 15 Jahren eine intensive wissenschaftliche Auseinandersetzung zur Reifegradmodellentwicklung statt. [Akk 2013; Ben 2013; Rum 2014; Jün 2016]

Für den Begriff "Reifegradmodell" finden sich in der einschlägigen Literatur seither unterschiedliche Definitionen. Nach [Ege 2016] wird unter Reifegrad der Übergang von einem Ausgangszustand zu einem fortgeschrittenen Zustand verstanden. Der Begriff des Reifegradmodells drückt also eine schrittweise Entwicklung über Zwischenzustände aus, bis schließlich die am weitesten fortgeschrittene Stufe des Prozesses erreicht ist. [Ahlemann et al. 2005] definiert unterschiedliche Reifegrade, um beurteilen zu können, inwieweit ein Objekt qualitative Anforderungen erfüllt. Nach [Becker et al. 2009] beziehen sich Reifegradmodelle auf die Beurteilung von Prozessen mit dem Ziel, einheitliche und überprüfbare Aussagen zu ihrem Status und zur Qualität ihrer Durch-



führung zu erhalten. Ausgehend von der ermittelten Ist-Situation lassen sich Verbesserungsvorschläge und Handlungsempfehlungen ableiten. [Akk 2013] definiert ein Reifegradmodell als eine ordinalskalierte Abbildung der Merkmalsausprägungen definierter Indikatoren als Anforderungen zu den Reifegradstufen. Nach der Definition des Vereins Deutscher Ingenieure zeigt ein Reifegradmodell einen erwarteten, logischen und erwünschten Entwicklungspfad zur Reife auf und definiert es als ein Stufenmodell, das dazu dient, die Reife eines Betrachtungsgegenstandes gemessen an der Übereinstimmung zwischen definierten Kriterien und ihrem jeweiligen Erfüllungsgrad zu beschreiben. [VDI 4000-1]

Trotz der Verschiedenartigkeit der Definitionen ist es allgemein das Ziel von Reifegradmodellen, die aktuelle Leistungsfähigkeit, Kompetenz und Effektivität in einem bestimmten Anwendungsbereich zu überprüfen. Ein Reifegradmodell kann Unternehmen in die Lage versetzen, sich selbst zu bewerten, individuelles sowie organisatorisches Lernen zu fördern, Verbesserungspotenziale zu identifizieren und Handlungsmaßnahmen aufzuzeigen, die Erfüllung interner und externer Standards zu unterstützen und als Benchmark-Instrument und Trendradar zu dienen. [Küh 2020; Mat 2020] In [VDI 4000-1] werden diese Ziele als Leistungsbewertung, Leistungsverbesserung und Benchmarking zusammengefasst. Zu beachten ist, dass Reifegradmodelle eine Momentaufnahme zum Verständnis des aktuellen Reifegrads in einem bestimmten Wissensbereich liefern. [Wagire et al. 2021]

Alle Modelle zeichnen sich dadurch aus, dass sie (vgl. [Bruin et al. 2005; Rum 2014]):

- in strukturierter Weise die Ist-Situation von Bewertungsobjekten ermitteln,
- auf Basis von Ist-Daten Optimierungspotenzial ermitteln und daraus Maßnahmen ableiten und priorisieren und
- den Erfolg von Verbesserungsmaßnahmen durch erneute Assessments überwachen.

Der stufenweise Aufbau der Reifegradmodelle unterstützt das Unternehmen darin, die Leistung des Unternehmens strukturiert auszubauen und eine Strategie bzw. eine Roadmap abzuleiten. [Ben 2013]

Neben den genannten Stärken der Reifegradmodelle, sind diese auch der Kritik unterworfen. Die Einteilung in Reifegrade ist eine starke Vereinfachung der Realität. Für die Entwicklung zu einem höheren Reifegrad werden fest definierte Ziele und Zustände vorgegeben. Durch die strikten Vorgaben sinkt die Flexibilität des Unternehmens auf individuelle Anforderungen zu reagieren. Alternative, aber durchaus sinnvolle Pfade

werden i. d. R. nicht betrachtet. Reifegradmodelle streben meist einen vordefinierten Zielzustand höchster Reife an. Hierbei werden unternehmensindividuelle Einflüsse nicht umfänglich berücksichtigt. [Becker et al. 2009; Bruin et al. 2005; Ben 2013; Große-Schwiep et al. 2020]

### *2.4.3 Existierende Reifegradmodelle*

Aufgrund der Vielzahl an verfügbaren Modellen wurde in verschiedenen wissenschaftlichen Arbeiten versucht, die Modelle zu strukturieren und zu klassifizieren. [Akk 2013; Ben 2013; Rum 2014; Jün 2016; Küh 2020; Mat 2020; Christiansen et al. 2010] Aktuelle Reifegradmodelle zur digitalen Transformation wurden durch den VDI untersucht und klassifiziert. Diese Ergebnisse wurden in der VDI-Richtlinie 4000, Blatt 1 bis 3 genormt. Alle Reifegradmodelle dienen der Leistungsbewertung und verfolgen zusätzlich das Ziel der Leistungssteigerung oder des Leistungsvergleichs. Bei der Leistungsbewertung wird der Ist-Zustand des Unternehmens objektiv beschrieben. Reifegradmodelle für die Leistungssteigerung bieten die Möglichkeit Entwicklungspotenziale zu erkennen. Es werden Ziele und Zustände empfohlen, die das Unternehmen erreichen sollte. Reifegradmodelle für den Leistungsvergleich zielen auf ein internes oder externes Benchmarking ab. [Ben 2013] Im Rahmen dieser Dissertationsschrift werden Reifegradmodelle ausschließlich mit dem Ziel der Leistungsbewertung und Leistungssteigerung analysiert.

Die zu analysierenden Reifegradmodelle bestehen aus einer allgemeingültigen Grundstruktur, dessen Bezugspunkt das zu untersuchende Bewertungsobjekt ist. Folgende vier typische Bestandteile (vgl. [Ege 2016]):

- Dimensionen,
- Reifegradstufen,
- Reifeprinzip und
- Beurteilungsinstrument.

Dabei setzt sich ein Reifegradmodell aus einer Anzahl strukturierender Dimensionen und mehrerer Reifegrade zusammen. Dimensionen umfassen dabei spezifische Fähigkeitsbereiche, welche das Themenfeld gruppieren und ordnen. Der Reifegrad setzt sich aus einer detaillierten Beschreibung der entsprechenden Charakteristika zusammen und kann durch festgelegte Merkmale des zu untersuchenden Objekts und durch

die jeweils zur Erreichung des Reifegrads erforderlichen Merkmalsausprägungen definiert werden. [Becker et al. 2009] Nach [Akk 2013] spiegelt der Reifegrad somit einen „...indikatorabhängigen Entwicklungsstand eines Betrachtungsobjektes zu einem bestimmten Zeitpunkt“ wider. Dabei kann das Reifeprinzip entweder kontinuierlich oder gestuft sein. Bei gestuften Modellen kann ein höherer Reifegrad nur erzielt werden, wenn die Anforderungen der vorherigen als auch der angestrebten Reifegradstufe erfüllt sind. Bei kontinuierlichen Modellen hingegen wird eine Punktzahl aus dem Erfüllen einzelner Aktivitäten auf unterschiedlichen Stufen ermittelt, woraus ein Reifegrad abgeleitet werden kann. Reifegradstufen stellen demnach einen archetypischen Reifegrad einer Dimension dar, die eine klare Beschreibung der Zielsetzung und Eigenschaften enthalten. [Ahlemann et al. 2005] Als Beurteilungsinstrumente können qualitative (z. B. Workshops, Interviews, Fokusgruppen) oder quantitative Methoden (z. B. Fragebögen) eingesetzt werden. [Lahrman et al. 2011] Die Ausgestaltung der genannten Bestandteile kann dabei für jedes Reifegradmodell in unterschiedlicher Art und Weise erfolgen und bezieht sich auf die theoretische Fundierung sowie die praktische Relevanz und Anwendbarkeit. [Ege 2016]

Die VDI-Richtlinie 4000, Blatt 3 definiert folgende objektive primäre und sekundäre Entscheidungskriterien für die Auswahl eines Reifegradmodells.

*Tabelle 3: primäre und sekundäre Entscheidungskriterien für die Auswahl eines Reifegradmodells nach [VDI 4000-3]*

Primäre Entscheidungskriterien	Sekundäre Entscheidungskriterien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umfang der Reifegraduntersuchung: Ressourceneinsatz (Kosten, Zeit, Personalaufwand)</li> <li>• Detaillierung von Handlungsempfehlungen (v. Themenvorschläge bis hin zu anwendungsspezifischen Maßnahmen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorwissen</li> <li>• Istanalyse</li> <li>• Unterstützung (externe Unterstützung)</li> <li>• Unternehmensbereiche (Konstruktion, Fertigung)</li> <li>• Inhaltliche Aspekte (technologische Betrachtung v. Hard- &amp; Software o. Strategie, Kultur)</li> <li>• Darstellung der Ergebnisse (prozentuale Aussagen, rel. Unternehmensvergleiche, Reifegradstufen mit definierten Merkmalen/ Eigenschaften)</li> </ul>

Eine alternative Methode, um bestehende Stärken zu erkennen, Verbesserungspotenziale einer Organisation zu identifizieren und Handlungsbedarf abzuleiten, ist die RADAR-Logik. Geprägt durch das EFQM-Modell wird dargelegt, wie die Organisation

- die angestrebten Ergebnisse definiert, die sie durch ihre Strategie erreichen möchte (Results - Ergebnisse),
- eine Reihe von Vorgehensweisen festgelegt hat, durch die die angestrebten Ergebnisse jetzt und in Zukunft erzielt werden sollen (Approaches - Vorgehensweisen),
- diese Vorgehensweisen angemessen umsetzt (Deployment - Umsetzung) und
- die umgesetzten Vorgehensweisen bewertet und verbessert, um zu lernen, sich weiterzuentwickeln (Assess and Refine - Bewerten und Verbessern).

[Mol 2019; Lon 2021; EFQ 2021]

Ergänzend dazu gibt es seit der Überarbeitung des EFQM-Modells im Jahre 2019 eine Bewertungsplattform, die EFQM Assess Base. [EFQ 2022] Die Assess Base bietet drei Stufen bewährter Diagnoseinstrumente, die für Organisationen jeder Größe und jedes Reifegrades geeignet sind. Ein einfacher Fragebogen, um "neugierigen/weniger reifen" Organisationen zu helfen, ihre aktuelle Position zu bestimmen und mögliche Verbesserungspotenziale zu ermitteln. Es werden 29 Fragen zu den 3 Hauptkategorien Ausrichtung, Realisierung und Ergebnisse gestellt. Jede Frage ist mit 0-100% zu bewerten. Wobei 0% „nicht erreicht“, 10/20/30% „teilweise erreicht“, 40/50/60% „erreicht“, 70/80% „umfassend erreicht“ und 90/100% „herausragend erreicht“ bedeutet. [EFQ 2022] Der einfache Fragebogen gibt auch eine Auswertung als Säulendiagramm zu den Kategorien aus und wichtet die Punktzahl im Einklang mit der Bewertungsmatrix des EFQM-Modells. [EFQ 2022]

Eine umfangreichere Befragung ist die Business Matrix, die sich auf alle Kriterien des EFQM Modells bezieht und eine Bepunktung für die RADAR-Elemente zur Verfügung stellt. Mit diesem Instrument können Organisationen ein detaillierteres Verständnis für ihre Leistung entwickeln. Und die Business Matrix Advanced, welche eine vollständige Bewertung auf Ebene aller Teilkriterien bietet.

Außerdem existieren in der Praxis in den Unternehmen Kompetenzmodelle, die die vorhandenen und benötigten Kompetenzen beschreiben und somit die Grundlage zur Personalauswahl bilden. Hier spielen die Aspekte personelle, fachliche, methodische, soziale, kommunikative sowie aktivitätsorientierte Kompetenzen eine zentrale Rolle. [Kör 2021] Da dieses Instrumente des Human Resources/der Personalentwicklung

und damit auch der Organisationspsychologie sind, wird im Rahmen dieser Dissertationsschrift nicht näher darauf eingegangen.

#### 2.4.4 Modelltypen

Die Ausgestaltung der genannten Kriterien (vgl. Abschnitt 2.4.3) kann dabei für jedes Reifegradmodell in unterschiedlicher Art und Weise erfolgen und bezieht sich auf die theoretische Fundierung sowie die praktische Relevanz und Anwendbarkeit. [Ege 2016] Basierend auf ihrer grundlegenden Struktur, lassen sich drei Reifegradmodelltypen differenzieren. Diese Modelle können laut VDI in Modelltyp 1 „Schnelltest“, Modelltyp 2 „Themengenerator“ und Modelltyp 3 „Individuelle Transformation“ untergliedert werden und unterscheiden sich hinsichtlich ihres Aufwands in der Reifegradermittlung. [VDI 4000-1]

Tabelle 4: Vor- und Nachteile der Modelltypen (in Anlehnung an [VDI 4000-1])

Modelle	Quick Checks		Individuelle Maßnahmen
Modelltyp	Modelltyp 1: Schnelltest	Modelltyp 2: Themengenerator	Modelltyp 3: Individuelle Transformation
<b>Reifegradermittlung</b>	einfacher Fragenkatalog	allgemeiner Fragenkatalog	allgemeiner Fragenkatalog; Einbindung interner & externer Experten
<b>Vorteile</b>	schnell; einfache Handhabung	allgemeine Handlungsempfehlungen; Vertiefung von Themen	individuelle Maßnahmen, detaillierte Ergebnisse; Berücksichtigung Unternehmens-Individualität/ -Zielgrößen; Einbezug versch. Unternehmensbereiche, organisatorische, personelle und kulturelle Aspekte
<b>Nachteile</b>	Oberflächlich, keine differenzierte Reifegradabbildung, keine Handlungsempfehlungen	hoher Umfang, Handlungsempfehlungen, aber keine spezifischen Maßnahmen	hoher Umfang, hoher Ressourceneinsatz

### 2.4.5 Methodisches Vorgehen zur Entwicklung eines Reifegradmodells

Die Literatur hält verschiedenartige Gestaltungsprozesse für die Entwicklung eines Reifegradmodells bereit. [Bruin et al. 2005; Becker et al. 2009; Solli-Sæther et al. 2010; Lahrmann et al. 2011; Ege 2016] stellen die Entwicklung von Reifegradmodellen als Abfolge unterschiedlicher Prozessschritte dar. Dabei weisen die beschriebenen Vorgehensweisen eine gewisse Ähnlichkeit im grundlegenden Aufbau auf, die für einige Autoren in der nachfolgenden Abbildung 10 gegenübergestellt werden.

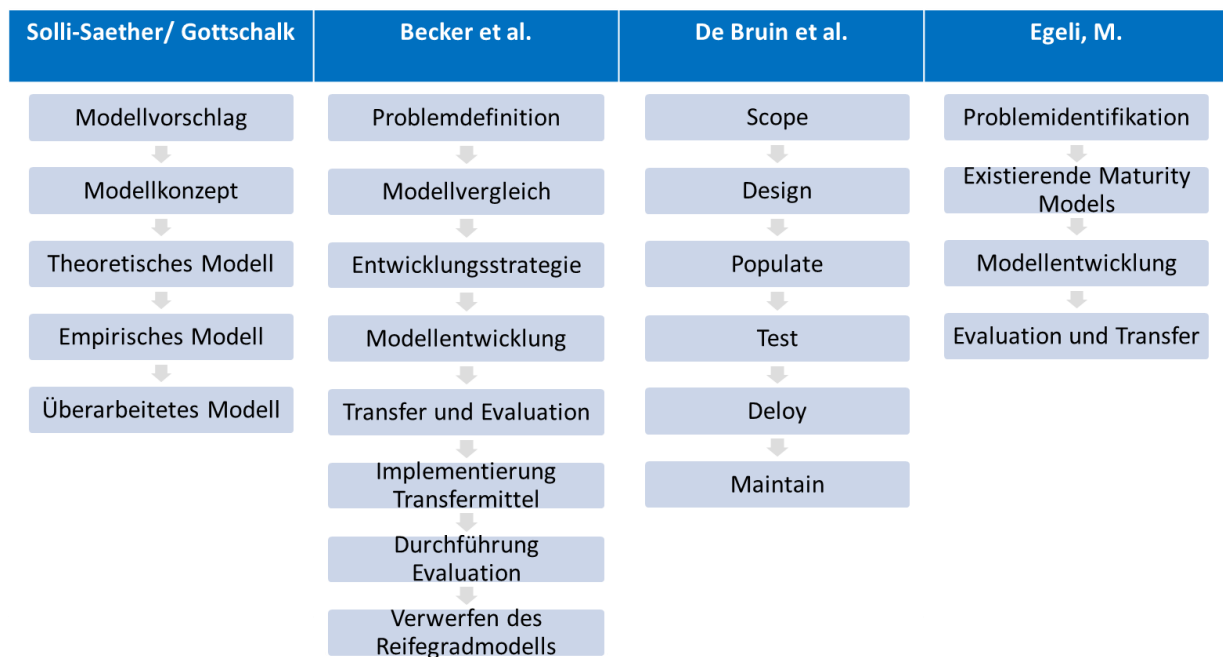


Abbildung 10: Vergleich der Vorgehensweisen [Solli-Sæther et al. 2010; Becker et al. 2009; Bruin et al. 2005; Ege 2016]

Trotz unterschiedlicher Benennungen und Schrittzahlen umfassen alle ausgewählten Vorgehensweisen folgende Gestaltungsschritte: Problemidentifikation, Ziele, Modellgestaltung, Evaluation und Nutzung. Zur Reduzierung der Komplexität und einer verbesserten Nachvollziehbarkeit, greift das GPS-Reifegradmodell auf das Vorgehensmodell von [Ege 2016] zurück, welches auf Grundlage von [Becker et al. 2009], die Modellentwicklung in vier komprimierten, generischen Phasen beschreibt. In der Abbildung 11 ist das Vorgehensmodell mit einzelnen Aktivitäten und Techniken überblicksartig dargestellt.

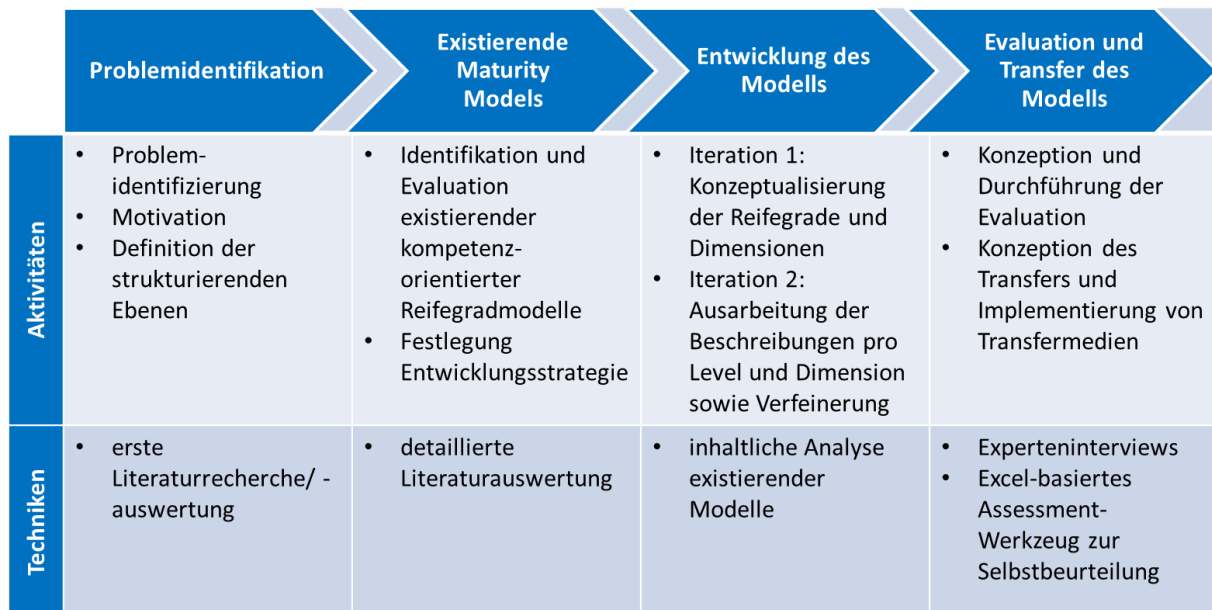


Abbildung 11: vier generische Phasen der Modellentwicklung (in Anlehnung an [Ege 2016])

Dabei erfolgt nach der Problemidentifikation (vgl. Abbildung 11) ein Vergleich existierender Reifegradmodelle für die entsprechende Anwendungsdomäne. Kern des Vorgehens ist die iterative Modellentwicklung, die im späteren Schritt evaluiert wird. Die Modellkonstruktion erfordert eine Entwicklungsstrategie, die für die Erarbeitung eines eigenen Modells abgeleitet werden muss. [Becker et al. 2009] Die Reifegradmodellentwicklung kann entweder Bottom-Up oder Top-Down erfolgen. [Lahrmann et al. 2011] Nach [Becker et al. 2009] wird dies in einem iterativen Ansatz empfohlen. Für die Iteration 1, der Konzeptualisierung der Reifegrade, werden neben den Kriterien aus Tabelle 3 auch die Gewichtung der einzelnen Schwerpunkte in den Indikatoren sowie die Berechnung der Indikatoren selbst nach [Hellge et al. 2019; Küh 2020; Akkasoglu et al. 2013; Ege 2016; IW 2022] analysiert. Für die Iteration 2, Ausarbeitung der Beschreibungen pro Level, werden neben den umfassenden analysierten Reifegradmodellen in Abschnitt 2.4.3 die Fragebögen aus [Len 2012; Bit 2018; zeb 2022] in Recherche und Analyse einbezogen.

*„Hindernisse und Schwierigkeiten sind Stufen,  
auf denen wir in die Höhe steigen.“*

*-Friedrich Nietzsche-*

### **3 Defizite und Hypothesen**

#### **3.1 Herausforderung bei der Anwendung des GPS-Systems in KMU**

Die Komplexität und der Umfang des GPS-Systems bzw. die daraus resultierenden Anforderungen an die Anwender ist die eigentliche Herausforderung bei der betrieblichen Integration und damit der praktischen Anwendung. [Grö 2013]

Die gegenwärtig angebotenen Schulungen und Ausbildungsangebote in Deutschland sind einer der wesentlichen Gründe für die nur schleppend vorangehende Integration des GPS-Systems in Unternehmen. Was wiederum auf die Komplexität des Regelwerkes und damit hohen Anforderungen an die Lernenden zurückzuführen ist. Zwar sind generelle Bildungsangebote rund um das GPS-System in der ganzen Bildungslandschaft vorhanden. Nur genügen diese aus unterschiedlichsten Gründen nicht den Anforderungen. So richten sich diese Schulungen meist an eine sehr breite Zielgruppe oder umfassen nur Teilgebiete. Darüber hinaus ist die Ausbildungsdauer mit durchschnittlich zwei Tagen pro Schulung oft nicht ausreichend, um ein vertieftes und anwendungsbereites Wissen zu erwerben.

Durch fehlende Ausbildungsstandards ist die Ausbildung somit abhängig von dem Wissen und der Motivation der Lehrenden. Die derzeit bestehenden Schulungs- und Ausbildungsangebote vermitteln den Teilnehmern ein Grundlagen- bzw. Überblickswissen zu den umfangreichen Einzelnormen, Symbolen und Regeln. Insbesondere unerfahrene Teilnehmer sind dadurch schnell überfordert, was sich u. a. in einer mangelnden Motivation für die Anwendung bemerkbar macht. Praktisch anwenden lässt sich das Erlernte meist nur begrenzt, da die Anwendung weitreichende Auswirkungen auf den gesamten Produktentstehungsprozess hat. Deshalb ist es zudem erforderlich, auch die Mitarbeitenden in den vor- bzw. nachgelagerten Prozesse zu schulen, um mit dem GPS-Normensystem vertraut zu werden. Aus diesem Grund ist es auch nicht verwunderlich, dass eine flächendeckende Einführung des GPS-Systems in die Unternehmen bis heute nicht erfolgt ist. [Gust et al. 2020; Gust et al. 2022]



Die Integration des GPS-Systems im Unternehmen ist mit der Einführung eines Qualitätsmanagementsystems, ERP-Systems oder CAx-Systems vergleichbar und setzt das systemische Denken, welches das Unternehmen als Ganzes betrachtet voraus. Des Weiteren ist die Einführung ein Veränderungsprozess und erfordert heutzutage agile Strukturen. Nur mit klaren Visionen, gemeinsamen Zielen, Orientierung an den interessierten Parteien, Vertrauen, Teamgeist und Prozessorientierung kann die konsequente Anwendung des GPS-Systems langfristig erfolgreich sein. Das heißt, es bedarf einer gründlichen Planung, konsequenten Umsetzung, regelmäßigen Prüfung und Bewertung sowie fortlaufenden Verbesserung.

Auf Basis von umfangreichen Recherchen zur aktuellen GPS-Ausbildung (vgl. Abschnitt 2.2), zur Integration von Systemen in KMU (vgl. Abschnitt 2.3) und zu Modellen zur Bestimmung der Reife eines Systems (vgl. Abschnitt 2.4) werden die folgenden Voraussetzungen für eine effiziente betriebliche GPS-Integration in KMU formuliert:

- Ausbildungsmodell, welches in mehrere Erfahrungsstufen untergliedert ist,
- Inhalte und Anforderungen des GPS-Systems müssen fachgruppenspezifisch geclustert sein,
- Selbstbewertungsmodell auf Reifegradbasis, welches die Key-Performance-Indikatoren (KPIs) mit einer Bewertungsskala beinhaltet.

### **3.2 Forschungsfrage**

Die Arbeit setzt sich zum Ziel, die aktuellen Herausforderungen bei der Einführung und Anwendung des ISO GPS-Systems in Unternehmen aufzugreifen und niederschwellige praktikable Lösungsansätze hierzu zu entwickeln. Zur Erreichung des formulierten Ziels wird nachfolgende Forschungsfrage adressiert.

Forschungsfrage:

Was ist erforderlich, um das ISO GPS-System in ein Unternehmen zu integrieren?

Einher mit der Forschungsfrage, sollen nachfolgende fünf Hypothesen zur wissenschaftlichen Überprüfung abgeleitet werden.

### 3.3 Hypothesen

#### Hypothese 1:

Wenn das GPS-System als „training on the job“ eingeführt wird, dann muss ein agiles Vorgehen angewendet werden sowie mit einem Reifegradmodell in regelmäßigen Abständen der Fortschritt bewertet werden.

KMU sind geprägt von flachen Hierarchien und spezialisierten Fachkräften und arbeiten überwiegend Auftrags- bzw. Kundengenrieben. Um ein neues System, trotz der zusätzlichen aktuellen Herausforderungen, zu integrieren, müssen inkrementelle und iterative Methoden entwickelt werden, die sich innerbetrieblich an alle betroffenen Bereiche anpassen lassen. Die Fachkräfte wollen zukünftig keine langen Reisezeiten und auch keine mehrtägigen Schulungen außer Hause in Anspruch nehmen. Aktuell werden Präsenzs Schulungen durch Selbststudieneinheiten verbunden und Diskussionsrunden in Webmeetings abgelöst. Hierfür muss ein GPS-Integrationsprozess entwickelt werden, welche auch die veränderten Weiterbildungsanforderungen berücksichtigt. Für eine einfache und schnelle Bewertung des Schulungs- und Integrationsfortschrittes soll ein Reifegradmodell angewendet werden.

#### Hypothese 2:

Wenn die GPS-Normeninhalte in Wissens-elemente zerlegt und neu strukturiert werden, dann können Sie den Fachkräften zugeordnet werden.

Das umfangreiche Normenwerk eignet sich nicht, die Inhalte im Selbststudium anzueignen, da das Wissen in den Normen nicht strukturiert aufgebaut wird und keine einheitliche Struktur ersichtlich ist. Zudem werden in den Normen zunehmend mathematische Beschreibungen genutzt, damit zukünftig Smart Standards daraus generiert werden können. Außerdem benötigen nicht alle Fachkräfte in den Unternehmen das gleiche Wissen. Aus diesem Grund muss das normative Wissen aussortiert und neu

strukturiert werden. Damit kann es den Fachkräften anschließend spezifisch zugeordnet werden. Für die Anwendung der Wissens Elemente muss eine Weiterentwicklung hin zu GPS-Kompetenzen erfolgen.

**Hypothese 3:**

Wenn eine Lernzieltaxonomie angewendet wird, dann können Ausbildungslevel aufgebaut werden.

Das umfangreiche GPS-System muss in Ausbildungslevel zerlegt werden, damit die Fachkräfte in den KMU beim Lernen motiviert werden, das neue Wissen zeitnah in den Arbeitsalltag integrieren können und auch alle Folgeprozesse schrittweise optimiert werden können. Die Lernzieltaxonomie ist ein bewährtes Instrument zur eindeutigen Formulierung von Learning Outcomes. Durch die Lernzieltaxonomie wird auch die Beschreibung von Kompetenzen erleichtert.

Um Ausbildungsziele eindeutig zu formulieren und unterschiedliche Niveaustufen von Lernergebnissen zu beschreiben, muss die Lernzieltaxonomie angewendet werden.

**Hypothese 4:**

Je höher Fachkräfte in den Ausbildungslevel steigen, desto mehr unternehmensspezifische GPS-Inhalte und -Anwendungsbeispiele müssen vorhanden sein.

Damit die Wissens Elemente aus den Normen in dem betrieblichen Alltag Anwendung finden, müssen in den begleitenden Übungen und Workshops unternehmensspezifische Spezifikationen genutzt werden. Spätestens ab Level 4 müssen die Lernenden ausschließlich die erlernten GPS-Inhalte an realen Werkstücken anwenden.

**Hypothese 5:**

Wenn ein Reifegradmodell zur Bewertung des GPS-Einführungsfortschrittes genutzt wird, dann muss die Lernzieltaxonomie in den Reifegradstufen angewendet werden.

Für eine enge Verzahnung des Ausbildungskonzeptes, Integrationsprozesses und die Reifegradbewertung müssen die fünf unterschiedlichen Niveaustufen einheitlich und durchgängig beschrieben werden. Da bei dem Ausbildungskonzept die Lernzieltaxonomie angewendet wird, muss sie auch bei der Bewertung der Reife Anwendung finden.

Die Arbeit soll einen Beitrag für die Wissenschaft und Praxis darstellen und richtet sich entsprechend an Personen aus beiden Bereichen, die sich mit der Weiterentwicklung der Geometrischen Produktspezifikation und -verifikation beschäftigen. Folgenden Beitrag für die Wissenschaft sollen die Ergebnisse der Arbeit leisten:

- Es sind Publikationen vorhanden, die einzelne Herausforderungen der Anwendbarkeit des GPS-Systems thematisieren. Es fehlt hierzu ein zusammenfassender Überblick, vor allem auf KMU und Kleinstbetriebe bezogen.
- In vielen Branchen sind transparente Ausbildungsmodell- und vorgaben vorhanden, dies fehlt bei dem GPS-System. Dafür soll diese Arbeit einen ersten Ansatz leisten.
- Zusammenstellung von Lehr- und Lernformen für die zukünftige digitale Vermittlung von Normeninhalten.
- Es existiert kein standardisiertes Vorgehen, das komplexe GPS-System in Unternehmen zu integrieren. Dafür soll diese Arbeit Lösungsansätze liefern.
- Der aktuelle Stand der Einführung und Anwendung des GPS-Systems kann nicht objektiv bewertet werden. Dazu wird in dieser Arbeit ein Reifegradmodell entwickelt.

Folgenden Beitrag für die Praxis bietet die vorliegende Arbeit:

- Gliederung des GPS-Systems und die Ausbildungslevel als Grundlage für die Curriculumsentwicklung

- Erkenntnisse aus den Recherchen zur Lehr- und Lernformen können bei der Realisierung von digitalen Lernangeboten genutzt werden.
- Nutzung der Roadmap als Leitfaden, um das GPS-System in KMU zu integrieren.
- Nutzung der GPS-Kompetenzen für z. B. Stellenausschreibungen, Lieferantenbewertung, Aufbau modularer Schulungsangebote
- Anwendung des Reifegradmodells mit Ausgabe von Handlungsempfehlungen, um gezielt Schulungsbedarf abzuleiten
- Erkenntnisse aus der Verifizierung und Validierung des Ausbildungskonzeptes, der Roadmap sowie des Reifegradmodells können für die Weiterentwicklung genutzt werden.

*„Ich habe gelernt, dass der Weg des Fortschritts weder kurz  
noch unbeschwerlich ist.“*

*-Marie Curie-*

## **4 Lösungsansatz**

### **4.1 Allgemeines**

Grundsätzlich existieren in jedem Unternehmen etablierte Vorgehensweisen, Prozesse und dokumentierte Informationen, die durch die Anwendung des ISO GPS-Systems maßgebend verändert werden. Da die Geometrische Produktspezifikation ein interdisziplinäres System ist, das als eine komplexe, hoch entwickelte geometrische Sprache zwischen Experten aus allen Unternehmensbereichen agiert, müssen auch alle diese Unternehmensbereiche, inklusive der externen interessierten Parteien, bei der Integration und Anwendung des GPS-Systems aktiv beteiligt werden.

Insbesondere in Zeiten der Digitalisierung kann eine konsequente Anwendung des GPS-Systems, welche unter anderem mit einer verbesserten Produktqualität einhergeht, helfen, unnötige Kosten zu vermeiden. Darüber hinaus verbessert sich die Kommunikation durch vereinheitlichte und standardisierte Symbole, Definitionen, Werte und Regeln erheblich. [Morse et al. 2018]

Zur Behebung der genannten Defizite (vgl. Abschnitt 3.1) sowie zur Beantwortung der Forschungsfrage (vgl. Abschnitt 3.2), müssen Konzepte, Vorgehensweisen und Methoden entwickelt werden, mit welchen es ermöglicht wird, das GPS-System nachhaltig in die Unternehmen zu integrieren und so ein gelebtes GPS-System zu erreichen. Es wird davon ausgegangen, dass nur durch eine Verbindung von Handeln und Verändern, Lernen und Verstehen sowie Erkennen und Verbessern das komplexe GPS-System anwendbar gemacht werden kann. Die einzelnen Schritte des Handelns und Veränderns können durch die Entwicklung einer Vorgehensweise abgebildet werden. Lernen und Verstehen sind durch ein kompetenzorientiertes Aus- und Weiterbildungskonzept möglich. Für das Erkennen und Verbessern bedarf es eines Bewertungssystems, aus welchem Maßnahmen ableitbar sind. In Abbildung 12 sind diese wesentlichen Aspekte zur Beantwortung der Forschungsfrage grafisch in einem Zyklus dargestellt.

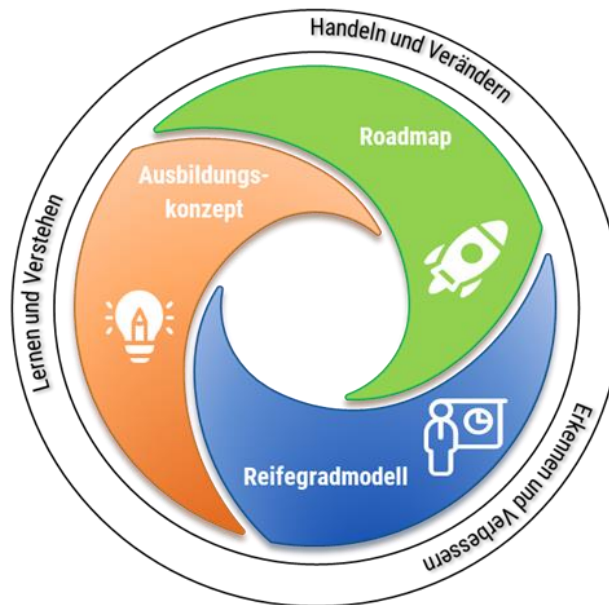


Abbildung 12: Verknüpfung wesentlicher Aspekte für die Anwendung des ISO GPS-Systems

Mit Hilfe einer Roadmap, eines dazugehörigen Ausbildungskonzepts und Reifegradmodells soll eine flächendeckende Verbreitung, Einführung und Anwendung des GPS-Systems sichergestellt werden. Die drei Aspekte werden als Lösungsansatz in den nächsten Abschnitten 4.2, 4.3 und 4.4 kurz beschrieben, im Kapitel 5 wird die Umsetzung dazu erläutert und im Kapitel 6 wird die durchgeführte Verifizierung und Validierung ausführlich beschrieben.

## 4.2 Roadmap

Zur Sicherstellung einer funktions-, fertigungs-, prüf- und kostengerechten Produktspezifikation muss die interdisziplinäre geometrische Ingenieursprache des GPS-Systems in allen Unternehmensbereichen „gesprochen“ werden. Damit das GPS-System in allen Unternehmen angewendet werden kann, ist es erforderlich, ein niederschwelliges Schritt-für-Schritt-Vorgehen zur Komplexitätsreduzierung und zur Aufwandsreduzierung zu entwickeln. Dabei sind die Tätigkeiten, Ressourcen, dokumentierten Informationen, Methoden und ggf. noch weitere Inhalte detailliert zu beschreiben. Auf Basis der Literaturrecherche zur Systemeinführung (Abschnitt 2.3) sowie eines Benchmarkings bei Unternehmen, welche sich schon länger mit der Einführung des GPS-Systems beschäftigen, wird Successful Practice identifiziert und daraus ein allgemeingültiges generisches Vorgehen abgeleitet. Ziel dabei ist es, für alle Integrations-schritte Methoden und Werkzeuge zu kreieren, um das GPS-Integrationsvorgehen

inkrementell und iterativ zu gestalten. Durch die Anwendung agiler Methoden erfolgt nicht nur eine initiale Entwicklung, sondern auch eine konstante Weiterentwicklung mit regelmäßigen Reviews, was für die praxisbezogene Integration des GPS-Systems eine ideale Grundlage bildet. Das abgeleitete allgemeingültige Vorgehen wird in einer Roadmap beschrieben. Für eine schnelle praktische Anwendung und Verbreitung der Roadmap wird diese html-basiert grafisch dargestellt. Die Roadmap stellt als Kommunikationsmedium den Plan für die Abfolge der verschiedenen Prozessschritte mit Meilensteinen und Maßnahmen dar. (vgl. [VDI 4000-1])

Auf Basis der Kriterien in Abschnitt 2.3.5 wurden verschiedene Darstellungstools recherchiert, erprobt und die wesentlichen Erkenntnisse in Tabelle 5 gegenübergestellt. Die komplette Auswertung ist in der Anlage 2 angefügt.

Tabelle 5 Vergleich von Darstellungstools

Tool	Kriterien				
	Frei zugänglich	Benutzerfreundlichkeit	Kompatibilität	Plattform	Vorlagen
Microsoft Visio	○	●	●	○	●
Dia	●	○	○	○	○
yED Graph Editor	●	○	○	○	●
Diagramm Designer	●	○	○	○	○
Apache OpenOffice Draw	●	○	○	○	●
Lucidchart	○	●	○	●	●
Creately	○	○	○	○	○
BPMN   Free	●	○	○	○	●
GitMind	●	●	○	●	○
XMind	●	●	○	○	○
Aris Express	○	●	○	○	○
Draw.io	●	●	●	●	●

● größtenteils erfüllt

○ teilweise erfüllt

○ größtenteils nicht erfüllt



Die im Vorfeld definierten Anforderungen erfüllt das Online-Flowchart-Tool draw.io komplett. Draw.io ist in einer umfassenden Version frei zugänglich und zudem für Einsteiger geeignet, da die Bedienung nachvollziehbar, intuitiv und benutzerfreundlich gestaltet ist. Darüber hinaus, ist es mit allen gängigen Betriebssystemen kompatibel, über jeden beliebigen Browser abrufbar und stellt dem Anwender zahlreiche Vorlagen zur Verfügung, die verwendet werden können oder zur Inspiration dienen. Die restlichen Tools erfüllen jeweils mindestens eine Anforderung nicht. GitMind ist vorwiegend für den Entwurf von Mindmaps konzipiert. Flussdiagramme lassen sich mit diesem Tool nur bedingt abbilden. Lucidchart ist dagegen in der kostenlosen Version nur stark eingeschränkt nutzbar und erfüllt damit eine definierte Anforderung nicht. Einen ähnlichen Leistungsumfang, wie draw.io, bietet yED. yED kann ebenfalls über jeden Browser aufgerufen werden, ist jedoch nicht benutzerfreundlich gestaltet und erfordert somit einen erheblichen Einarbeitungsaufwand.

### **4.3 Ausbildungskonzept**

Seit Jahren erlebt das GPS-System einen starken normativen regelbasierten Wandel, wodurch zahlreiche Kurzzeichen, Symbole, Grundsätze und Regeln in neuen und überarbeiteten Normen und Standards, veröffentlicht wurden. Resultat dieser Normenkomplexität ist eine differenziert angewendete Normensprache, die mit zunehmenden Akzeptanz- und Anwendungsschwierigkeiten einhergeht.

Damit die GPS-Integration erfolgreich ist, muss ein Ausbildungskonzept entwickelt werden, welches sich den Fachkräften und dem inkrementellen Integrationsvorgehen anpasst. Das heißt, es muss eine Synergie zwischen diesem Ausbildungskonzept und schrittweisem Integrationsvorgehen entstehen.

Auf Basis der Literaturrecherche in Abschnitt 2.2 wird ein gestuftes Ausbildungskonzept aufgebaut, welches den Fachkräften ermöglicht, das GPS-System ressourceneffizient zu erlernen. Mit Hilfe der didaktischen Reduktion, der Lernzieltaxonomie, zukunftsfähigen Lernformen und weiteren Konzepten, wird die zunehmende Akademisierung des Systems aufgebrochen und Ansätze zur niederschweligen Vermittlung geschaffen. Dazu ist es notwendig, das vielschichtige Normensystem hinsichtlich zu unterscheidender Ausbildungsschwerpunkte neu zu strukturieren, Fachkräftegruppen zu identifizieren und verschiedene Schwierigkeitsgrade zu definieren. Damit werden

die Grundlagen erarbeitet, zu welchem Umfang welche GPS-Inhalte in einem Unternehmen für welche Fachbereiche/Personen und in welcher Tiefe relevant sind. Als Unterstützung können zudem Workshop-Szenarien und KeyUser-Systeme zur Anwendung kommen. Somit wird unterstrichen, dass nicht die vollständigen Normeninhalte und für den Anwendenden irrelevante Inhalte gelehrt werden, sondern eine starke Verknüpfung zu den jeweiligen Arbeitsaufgaben der Fachkräfte aufgenommen wird. Ein innovatives Ausbildungskonzept mit didaktischer Reduktion der Inhalte, lexikalischer Erarbeitung des Wissens und umfangreichen Übungsszenarien, welche ebenfalls im Schwierigkeitsgrad zunehmen, sollen die Praxisnähe wahren.

#### **4.4 Reifegradmodell**

Die Auswahl geeigneter Leistungsindikatoren und Überwachungsverfahren unter Berücksichtigung von Risiken und Chancen ist entscheidend für die wirksame Messung und Analyse des Standes der Umsetzung des GPS-Systems in den Unternehmen. Es muss sowohl der Aspekt der Spezifikation als auch der Aspekt der Verifikation bei einem GPS-Assessment berücksichtigt werden. Auf Basis der Literaturrecherche im Abschnitt 2.4 wird ein Analysetool zur Selbstbestimmung des Reifegrads der aktuellen GPS-Integration entwickelt. Ziel in diesem Kontext ist es, das Reifegradmodell eng mit dem Ausbildungskonzept zu verzahnen und in die Roadmap zu integrieren. Durch die Analyse des aktuellen Standes können die ausstehenden zu bewältigenden Integrationschritte und Ausbildungsinhalte mit Hilfe von Kompetenzen in einem Reifegrad ausgedrückt werden. Ziel dessen ist es, in jeder Phase der GPS-Integration, beginnend von der Initiierung über die Schulung bis zur vollständigen Integration selbst, den Erfolg des Wandlungsprozesses zu bewerten und entsprechende individuelle Folgemaßnahmen abzuleiten. Das befähigt Unternehmen als lernende Organisation, eigene Überwachungs- und Steuerungswerkzeuge anzuwenden und erhöht somit die Erfolgsaussichten des Wandlungsprozesses. Des Weiteren kann die Reifegradanalyse auch in der Lieferantenbewertung und/oder -qualifizierung Anwendung finden. Auf Basis der Recherche im Abschnitt 2.4.3, werden folgende Modelle analysiert und hinsichtlich der Übertragbarkeit einzelner Elemente auf das GPS-Reifegradmodell untersucht:

- Reifegradmodell für agile Unternehmensentwicklung [Kri 2016; Pin 2020; Häu 2020; ela 2022]

- Reifegradmodell nach ISO 9004:2018
- VDMA Industrie 4.0-Readiness Online-Selbst-Check für Unternehmen [Lichtblau et al. 2015]
- Reifegrad-Theorie von Hersey und Blanchard zum situativen Führen [Gra 2015]

Der agile Reifegrad beschreibt, wie agil die Arbeitsweisen im Unternehmen sind und wie lernwillig und lernfähig die Fachkräfte und Teams darin sind. Die meisten agilen Reifegradmodelle zielen dabei auf eine agile Transformation ab. In der hier vorliegenden Analyse wurde sich hauptsächlich an dem Pioneers Trafo-Model<sup>TM</sup> orientiert, da dies auch online verfügbar und anwendbar ist. [HR 2019]

Die DIN EN ISO 9004:2018 ist ein Leitfaden, der die DIN EN ISO 9001:2015 ergänzt und dabei intensiv auf die Qualitätsmanagementgrundsätze eingeht. Bereits seit dem Jahre 2000 enthält sie einen Ansatz zur Selbstbewertung, welcher kontinuierlich weiterentwickelt wurde und seit 2018 auch Aspekte des nachhaltigen Erfolgs mit beinhaltet, die Förderung des Engagements der Fachkräfte und Mission, Vision, Politik und Strategie vertieft betrachtet. [ISO 9004]

Stellvertretend für zahlreiche Industrie 4.0-Reifegradmodell, welche in den letzten Jahren zahlreich entstanden sind, wird der VDMA Industrie 4.0-Readinesscheck in die Analyse einbezogen. Er betrachtet die in Echtzeit digitale Vernetzung von Lieferanten, Produzenten und Kunden entlang der Wertschöpfungskette. Der Fragebogen enthält die Themenschwerpunkte Strategie und Organisation, Smart Factory, Smart Operations, Smart Product, Data driven Services sowie Mitarbeitende. [Lichtblau et al. 2015]

Die Reifegrad-Theorie von den beiden amerikanischen Unternehmern Hersey und Blanchard aus dem Jahr 1977 ermöglicht es, einen passenden Führungsstil auf Grundlage des persönlichen Reifegrades der Fachkräfte zu finden. Das bedeutet, den Führungsstil der Situation angepasst zu variieren, vor allem bei den Aspekten Ausmaß der Aufgabenanleitung und motivierende Erläuterungen sowie Feedback. Die Führungskraft muss die Fachkräfte gut einschätzen können, um sich je nach Situation auf den Betreffenden einzustellen. Dabei ist der Reifegrad aufgabenbezogen und muss in Abhängigkeit des delegierten Auftrages neu bestimmt werden. [Nig 2020]

Nachfolgend werden die vier ausgewählten Reifegradmodelle anhand der primären und sekundären Entscheidungskriterien (vgl. Tabelle 3) für eine Adaption auf den

GPS-Reifegrad untersucht und gegenübergestellt. Für eine bessere Übersichtlichkeit werden die Kriterien wie folgt zusammengefasst und in der Tabelle 6 benannt:

- Bewertungsobjekt,
- Dimensionen und Indikatoren,
- Reifegradstufen,
- Reifeprinzip,
- Beurteilungsinstrument,
- Vorwissen bzw. notwendige Unterstützung,
- Ist-Analyse,
- Darstellung der Ergebnisse bzw. Detaillierung von Handlungsempfehlungen sowie
- bewertete Unternehmensbereiche.

Tabelle 6: Gegenüberstellung ausgewählter Reifegradmodelle

	Agile Unternehmensentwicklung: Trafo-Modell™ [Häu 2020]	ISO 9004 [ISO 9004]	Industrie 4.0 [Lichtblau et al. 2015]	Reifegrad-Theorie zum situativen Führungsstil [Gra 2015]
<b>Bewertungsobjekt</b>	Agiles Potenzial (Inhalte des agilen Manifestes)	Qualitätsmanagementsystem	Industrie 4.0-Aktivitäten	Mitarbeitende
<b>Dimensionen und Indikatoren</b>	6 Dimensionen	8 Dimensionen	6 Dimensionen mit insgesamt 18 Indikatoren	4 Dimensionen: 4 Führungsstile
<b>Reifegradstufen</b>	4 Ebenen: Transparenz Kollaboration Evolution Ganzheitlich	5 Stufen: 5 – Best Practice	6 Stufen: 0-5 0 - Außenstehender 1 – Anfänger 2 – Fortgeschrittener 3 - Erfahrener 4 - Experte 5 - Exzellenz	4 Reifegrade: 1 – es fehlen Wissen, Fähigkeiten und Motivation 2 – Motivation ist vorhanden, es fehlen Wissen und Können

				<p>3 – Fachliche und Methodische Voraussetzungen sind vorhanden, es fehlt aber die Motivation</p> <p>4 – hohe Reife, fachliche Voraussetzungen und Motivation vorhanden</p>
<b>Reifeprinzip</b>	Definierte Praktiken und Konzepte (gar nicht vorhanden, in Teilen, durchschnittlich, überwiegend, vollständig)	Eigene Stärken und Schwächen identifizieren	Mit anderen Unternehmen der Branche und Unternehmensgröße vergleichen (Daten der Vergleichsunternehmen sind aus 2015)	<p>Vier Führungsansätze:</p> <p>Dirigieren</p> <p>Anleiten</p> <p>Partizipieren</p> <p>Delegieren</p>
<b>Beurteilungsinstrument</b>	Assessment durch Expertenbefragung oder Selbsteinschätzung möglich	Fragebogen (idealerweise im Team durchführen)	Fragebogen	Checkliste, Mitarbeitergespräche
<b>Vorwissen und Unterstützung</b>	Selbsteinschätzung durch die oberste Leitung	QM-System nach ISO 9001, Selbsttest	Industrie 4.0; Selbsttest, als Online-Selbst-Check	Für Führungskräfte
<b>Ist-Analyse</b>	ja	Ja, Grundlage für die Leistungsverbesserung	ja	Grad der Selbstständigkeit des Mitarbeiters
<b>Darstellung der Ergebnisse, Handlungsempfehlung</b>	Erfüllungsgrad in Prozent	Maßnahmenkatalog selbst erstellen auf Basis einer Checkliste zu den einzelnen Stufen	Angabe der erreichten Stufe, sowie detaillierte Auswertung nach Handlungsfeldern	„Reifegrad sucht Führungsstil“

<b>Bewertete Unternehmensbereiche</b>	Alle Bereiche einer Organisation und Unternehmenskultur	Auf gesamte ISO 9001 bezogen, damit auch auf das gesamte Unternehmen, möglichst nur einzelne Normenabschnitte zu bewerten	Alle Bereiche, von Strategie, über Fachkräfte, Factory, Operations, Products and Service	Einzelne Fachkräfte, Teams
---------------------------------------	---	---	--	----------------------------

*„Wir behalten von unseren Studien am Ende doch nur das,  
was wir praktisch anwenden.“*

*-Johann Wolfgang von Goethe-*

## **5 Herangehensweise und Umsetzung**

### **5.1 Entwicklung der GPS-Roadmap**

#### *5.1.1 Vorarbeiten und Begriffsdefinition*

Zur Beantwortung der Forschungsfrage und Überprüfung der Hypothesen, wird im ersten Schritt ein Integrationsvorgehen auf Basis eines Benchmarking-Prozesses abgeleitet und als GPS-Roadmap grafisch dargestellt.

Auf Basis der Rechercheergebnisse im Abschnitt 2.4.2 wird die GPS-Roadmap wie folgt definiert:

***Die GPS-Roadmap ist ein strategischer Überblick zur Steuerung der Integration des ISO GPS-Systems im Unternehmen.***

Das Benchmarking wird in diesem Kontext genutzt, um einen kontinuierlichen Vergleich der Einführung des ISO GPS-Systems in verschiedenen Unternehmen durchzuführen. Aus dem Vergleich werden die vielversprechendsten und am Meisten angewendeten Tätigkeiten, Schritte, Methoden usw. als Successful Practice abgeleitet. Für das Benchmarking wurden individuell Unternehmen ausgewählt, welche bereits die Professur Fertigungsmesstechnik in der Vergangenheit bei Forschungsprojekten unterstützt haben. Das abgeleitete Successful Practice wird anschließend mit wichtigen Aspekten aus den Rechercheergebnissen zur Gestaltung von Systemeinführungen, Veränderungsprozessen und Agilität (vgl. Abschnitte 2.3.1, 2.3.2 und 2.3.3) ergänzt. Dieses Vorgehen wird anschließend als GPS-Roadmap zusammengefasst und grafisch abgebildet. Die Unternehmen sollen damit befähigt werden, das GPS-System einzuführen, zu verwirklichen, aufrechtzuerhalten, zu verbessern und weiterzuentwickeln.

### 5.1.2 Entwicklung Benchmarking-Prozess

In Analogie zu dem Modell in Abschnitt 2.3.4, wurde folgendes GPS-Einführungs-Benchmarking-Modell abgeleitet.

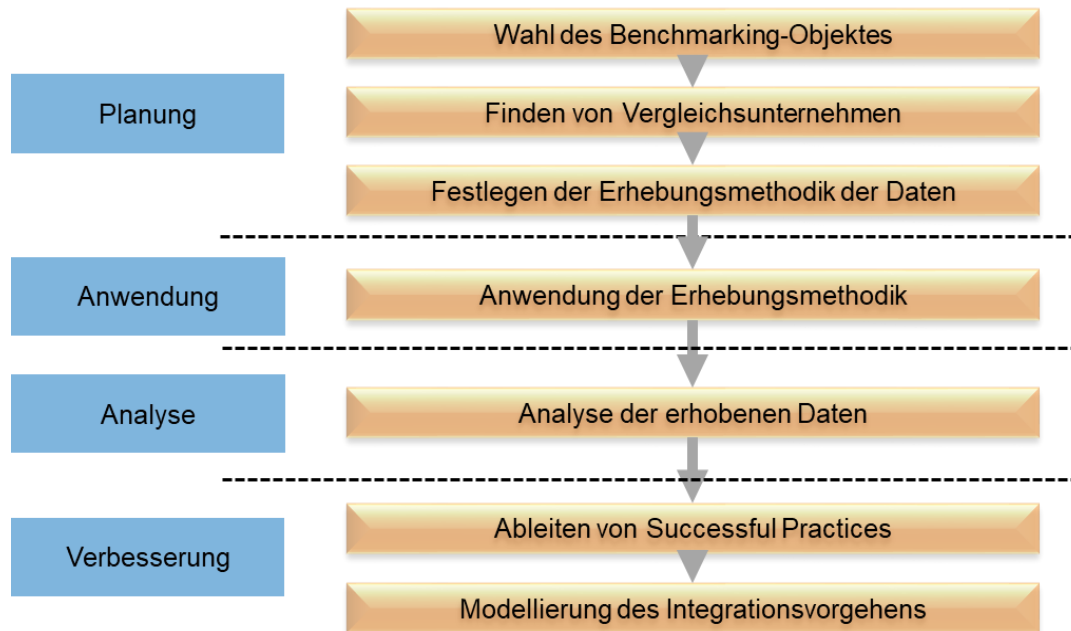


Abbildung 13: Vorgehensweise GPS-Integrations-Benchmarking

Es umfasst sieben Prozessschritte, was insbesondere auf den Verzicht der gesamten Integrationsphase zurückzuführen ist. Die Planungsphase des GPS-Einführungs-Benchmarking Modells ist dagegen weitestgehend identisch. Die zweite Phase des GPS-Einführungs-Benchmarking Modells, die Anwendungsphase existiert in dieser Form in dem ursprünglichen Benchmarking-Modell nicht. Da das Erheben von Daten aber eine Grundvoraussetzung für ein erfolgreiches Benchmarking ist, erhält es in diesem Benchmarking-Modell eine eigene Phase. Die Analysephase, in welcher die erhobenen Daten ausgewertet werden, wurde in einer auf die konkrete Problemstellung zugeschnittenen Art- und Weise in das hier vorgestellte GPS-Einführungs-Benchmarking Modell übernommen. Die letzte Phase „Verbesserung“ ist ebenfalls auf die konkrete Themenstellung zugeschnitten. Zunächst werden im sechsten Schritt Successful Practice für eine erfolgreiche Einführung des GPS-Systems abgeleitet, ehe im letzten Schritt das Integrationsvorgehen mit Hilfe eines grafischen Darstellungstools modelliert und grafisch abgebildet wird.



### 5.1.3 Anwendung Benchmarking-Prozess

In der ersten Phase des GPS-Einführungs-Benchmarkings wird das Benchmarking-Projekt geplant. Diese Phase besteht aus drei Prozessschritten.

- 1) Festlegung des Benchmarking-Objektes: Im ersten Schritt der Planungsphase wird, wie in Abbildung 13 verdeutlicht, das Benchmarking-Objekt festgelegt. Im Rahmen dieser Untersuchung ist das Benchmarking-Objekt die Strategie bzw. der Prozess, mit dem Unternehmen versuchen, das GPS-System in ihren Unternehmen zu etablieren. Es stehen also die Erfahrungen der Unternehmen, die bei der Einführung und Anwendung des GPS-Systems bisher gewonnen wurden, im Mittelpunkt.
- 2) Bestimmung der Benchmarking-Art und der Benchmarking-Partner: Die Auswahl der Benchmarking-Partner wurde durch das Forschungsprojekt „GPSlife“, welches von November 2020 bis Oktober 2022 an der TU Chemnitz lief, vorgegeben. Es wurden insgesamt neun Unternehmen zu ihren Erfahrungen bei der Einführung und Anwendung des GPS-Systems befragt. Bei allen Unternehmen handelt es sich um Unternehmen der Maschinenbaubranche. Es sind allesamt externe Unternehmen der gleichen Branche. Damit handelt es sich um ein branchenbezogenes Benchmarking.
- 3) Festlegung der Erhebungsmethodik der Daten: Als Erhebungsmethodik dient ein validierter Interviewleitfaden. [Sta 2020] Dieser Interviewleitfaden setzt sich aus insgesamt 61 offen gestellten Fragen zusammen. Durch die offene Fragestellung ergeben sich qualitativ hochwertige Daten und die individuellen Ansichten der Benchmarking-Partner lassen sich erfassen.

In der zweiten Phase des GPS-Einführungs-Benchmarkings wird die Erhebungsmethodik angewendet. Die zweite Phase besteht aus einem einzigen Prozessschritt.

Anwendung der Erhebungsmethodik: Auf Grund des aktuellen Pandemiegeschehens werden mit dem Interviewleitfaden alle Befragungen online durchgeführt. Die Antworten zu den 61 Fragen werden im Konferenzsystems mittels der Funktion des geteilten Bildschirms direkt mitgeschrieben und sind sowohl für den Interviewenden als auch für den Interviewten einsehbar und ggf. änderbar. Die offen gestellten Fragen des In-

interviewleitfadens ermöglichen es generell, die individuellen Ansichten der Benchmarking-Partner bei der Einführung und Anwendung des GPS-Systems zu berücksichtigen.

In der dritten Phase des GPS-Einführungs-Benchmarking Modells erfolgt die Analyse der ermittelten Daten aus der Anwendungsphase. Die Analyse dient dazu, erfolgs- und vielversprechende Vorgehensweisen bei der Einführung des GPS-Systems in die betrieblichen Abläufe der Unternehmen zu ermitteln. Das Verständnis darüber bildet die Ausgangslage für das Ableiten von Successful Practice und die anschließende Modellierung des Integrationsvorgehens. Die Analysephase besteht aus einem Prozessschritt.

Analyse der erhobenen Daten: In der Analysephase werden die erhobenen Daten, analysiert und ausgewertet. Auf Basis des Interviewleitfadens werden demnach zehn Kategorien gebildet. Diese Kategorien orientieren sich an den einzelnen Abschnitten des Interviewleitfadens. Die zehn Kategorien lauten

- Zeitpunkt der Einführung,
- Vorbereitung der Einführung,
- Schulungsformate,
- Schulungsbereiche,
- Schulungsmaßnahmen,
- Treiber der Einführung des GPS-Systems,
- Überzeugungsaufwand bei der Einführung des GPS-Systems,
- Chancen bei der Einführung des GPS-Systems,
- Herausforderungen bei der Einführung des GPS-Systems und
- Verbindung zu 3D-Master.

Die nachfolgenden Erläuterungen (siehe Tabelle 7) beziehen sich auf die Interviewergebnisse, unterteilt in die zuvor genannten Kategorien.

Tabelle 7: Zusammenfassung der Benchmarking-Ergebnisse

Kategorie des Interviews	Zusammenfassung der Ergebnisse
<b>Zeitpunkt der Einführung</b>	Die befragten Unternehmen beschäftigen sich zwischen drei und zehn Jahren mit dem GPS-System.
<b>Vorbereitung der Einführung</b>	56% der Benchmarking-Partner geben an, während der Vorbereitung der Einführung des GPS-Systems über ein Betriebskonzept, z. B. zur Zeit- und Ressourcenplanung verfügen. Des Weiteren geben acht der neun Benchmarking-Partner bzw. 89% der Benchmarking-Partner an, über ein ISO GPS-Expertenteam zu verfügen, in welchem z. B. KeyUser bestimmt sowie wichtige Entscheidungen rund um den Einführungsprozess und Schulungsmaßnahmen getroffen werden. Sieben der neun Benchmarking-Partner geben darüber hinaus an, dass in ihren Unternehmen ein GPS-Hauptverantwortlicher existiert, der die Projektleitung übernimmt und die langfristige Koordination einnimmt. Lediglich zwei Unternehmen geben an, zum Interviewzeitpunkt über keinen GPS-Hauptverantwortlichen zu verfügen. Darüber hinaus geben die Benchmarking-Partner übereinstimmend an, regelmäßige Beratungsangebote z. B. bezüglich Normenänderungen und Zeichnungsberatung bei der Einführung des GPS-Systems in Anspruch zu nehmen.
<b>Schulungsformate</b>	Es nutzen alle Benchmarking-Partner sowohl interne als auch externe Schulungsangebote. Wobei alle Benchmarking-Partner, also 100% der Interviewteilnehmer angeben, externe Schulungsangebote zur Weiterbildung der Fachkräfte wahrzunehmen. Acht von neun Benchmarking-Partner geben zudem an, ihren Beschäftigten interne Schulungsmaßnahmen anzubieten. Ausgestaltet werden die internen und externen Schulungen durch eine Kombination aus Theorieeinheiten im Verbund mit Übungseinheiten, Diskussionsrunden und praktischen Übungen an Musterzeichnungen.
<b>Schulungsbe- reiche</b>	Bei allen Benchmarking-Partnern werden Fachkräfte aus dem Bereich Konstruktion zur Anwendung der GPS-Normen und Standards geschult. Weitere häufig genannte Schulungsgruppen sind Fachkräfte aus den Bereichen Entwicklung, Arbeitsvorbereitung, Fertigung sowie Qualitätssicherung und Messtechnik. Dagegen bilden derzeit nur wenige Benchmarking-Partner Fachkräfte aus den Bereichen Einkauf und Vertrieb weiter, was auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden kann. Zum einen befinden sich einige Unternehmen noch immer am Anfang des Einführungsprozesses des GPS-Systems, weshalb die Priorität bisher auf anderen Berufsgruppen liegt. Zum anderen wird das GPS-System nicht von allen Kunden der Benchmarking-Partner gefordert, weshalb bisher nur vereinzelt Fachkräfte aus dem Bereich Vertrieb weitergebildet werden.

<b>Schulungsmaßnahmen</b>	<p>Bei acht der neun Benchmarking-Partner finden die Schulungen in gemischten Gruppen statt. Das heißt, dass Beschäftigte aus verschiedenen Unternehmensbereichen gemeinsam an Schulungen teilnehmen. Die Benchmarking-Partner versprechen sich davon insbesondere eine Verbesserung der Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Unternehmensbereichen. Ebenfalls geben 89% der Benchmarking-Partner an, über ein Schulungskonzept für ihr Unternehmen zu verfügen bzw. mittelfristig eins einführen zu wollen. Fünf der acht Benchmarking-Partner geben zudem an, ihre Fachkräfte in einem Stufensystem zu schulen, bzw. haben dies in Zukunft vor. Dadurch wird sichergestellt, dass die geschulten Fachkräfte über das für ihre Tätigkeit notwendige Wissen verfügen bzw. laufend auf dem aktuellen Stand bleiben. Des Weiteren geben 78% bzw. sieben der neun Benchmarking-Partner an, ihre Beschäftigten anhand von Musterzeichnungen zu schulen, bzw. haben es zukünftig vor.</p>
<b>Treiber der Einführung des GPS-Systems</b>	<p>Aus den Ergebnissen der Interviews wird ersichtlich, dass sowohl interne als auch externe Interessengruppen Einfluss auf die Einführung und Anwendung des GPS-Systems haben können. Die Ergebnisse verdeutlichen zudem, dass der Einfluss dieser beiden Interessengruppen für die Einführung des GPS-Systems gleich stark ausgeprägt ist. Laut den Ergebnissen der Befragungen gehören die internen Treiber fast ausschließlich der mittleren und obersten Leitungsebene an. Als externe Interessengruppen werden die Kunden genannt.</p>
<b>Überzeugungsaufwand bei der Einführung des GPS-Systems</b>	<p>Bei sechs der neun Benchmarking-Partner war keine bzw. nur geringe Überzeugungskraft erforderlich gewesen, um das Management vom Nutzen des GPS-Systems zu überzeugen. Lediglich bei zwei Unternehmen sahen sich die Initiatoren laut der Befragung mit einem mittleren Widerstand des Managements konfrontiert.</p>
<b>Chancen bei der Einführung des GPS-Systems</b>	<p>Es sehen jeweils acht der neun Benchmarking-Partner in der gemeinsamen Sprache sowie der Eindeutigkeit und Vollständigkeit der technischen Spezifikationen die entscheidenden Chancen, die aus der Anwendung der GPS-Standards resultieren. Die konsequente Anwendung der GPS-Normung verbessert demzufolge die interne Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Fachbereichen und extern mit den vor- und nachgelagerten Kunden und Lieferanten. Fünf Benchmarking-Partner geben darüber hinaus an, dass die mit der Einführung und Anwendung einhergehende Rechtssicherheit durch aktuelle und gültige Standards ein weiterer Grund für die Einführung der GPS-Normen dargestellt hat.</p>

<b>Herausforderungen bei der Einführung des GPS-Systems</b>	<p>Die vier größten Herausforderungen, die während der Einführung aufgetreten sind, sind eine fehlende Akzeptanz / Überzeugung der eigenen Beschäftigten, die ständige Anpassung und Überarbeitung der Normen, Schwierigkeiten bei der Normeninterpretation sowie die Langwierigkeit des Einführungsprozesses. Des Weiteren ist es notwendig, dass die Fachkräfte die Vorteile kennenlernen, die mit der Einführung des GPS-Systems einhergehen. Dadurch wird die Motivation der Beschäftigten gesteigert und sie sind mit den weitreichenden Änderungen einverstanden, die aus der Einführung des GPS-Systems resultieren. Darüber hinaus sind umfangreiche Schulungsmaßnahmen gepaart mit praktischer Anwendung notwendig, damit die Beschäftigten das erforderliche Wissen erwerben und anwenden können.</p>
<b>Verbindung zu 3D-Master</b>	<p>Bisher wenden nur wenige Benchmarking-Partner ISO GPS und 3D-Master gemeinsam an. Bei sechs Benchmarking-Partnern spielt die gemeinsame Anwendung von ISO GPS zusammen mit dem 3D-Master bisher gar keine Rolle. Demzufolge nutzen nur zwei Benchmarking-Partner den GD&amp;T Advisor. Weiterhin geben drei Benchmarking-Partner an, automatische Toleranzkettenanalysen durchzuführen.</p>

Die letzte Phase des GPS-Einführungs-Benchmarking Modells besteht aus zwei Prozessschritten. Zunächst werden die Successful Practice abgeleitet, bevor in einem letzten Schritt das Integrationsvorgehen grafisch abgebildet wird.

Ableiten von Successful Practice: Nach den Interviews erfolgte die umfangreiche Analyse der ermittelten Daten. Die Analyse dient dazu, erfolgs- und vielversprechende Vorgehensweisen bei der Einführung des GPS-Systems als Successful Practice abzuleiten und daraus ein allgemeingültiges GPS-Integrationsvorgehen zu modellieren. Aufgrund der geringen Stichprobe wird im Rahmen dieser Dissertationsschrift festgelegt, dass es sich um ein Successful Practice handelt, wenn mindestens 50% der Benchmarking-Partner dieses Kriterium erfüllen. Auf Basis der verbalen Benchmarking-Ergebnisse aus Tabelle 7 wird das Successful Practice berechnet und in der nachfolgenden Tabelle 8 aufgelistet.

Tabelle 8: Ergebnisse der Interviews als Successful Practice berechnet

Kriterium, Unternehmen	Anzahl	Anteil in %
<b>Einführung/Vorbereitung</b>		
- Betriebskonzept	5	56
- GPS-Expertenteam	8	89
- Hauptverantwortlicher	7	78
- Externe Ansprechpartner	9	100
<b>Schulungsformat</b>		
- Interne Schulungen	8	89
- Externe Schulungen	9	100
<b>Schulungsbereiche</b>		
- Produktentwicklung	9	100
- Arbeitsvorbereitung	5	56
- Qualitätssicherung/Messtechnik	5	56
<b>Schulungsmaßnahmen</b>		
- Gemischte Schulungen	8	89
- Schulungskonzept	8	89
- Stufensystem	5	56
- Musterzeichnungen	7	78
<b>Treiber der Einführung</b>		
- Oberste Leitung	5	56
- Mittlere Leitungsebene	5	56
- Kunden	5	56
<b>Überzeugungsaufwand</b>		
- Geringer Aufwand	6	67
<b>Chancen</b>		
- Gemeinsame Sprache	8	89
- Eindeutig, vollständig	8	89
- Rechtssicherheit	5	56
<b>Herausforderungen:</b>		
- Akzeptanz	8	89
- Anpassung der Normen	9	100
- Normenanwendung	8	89
- Zeitaufwand	9	100

Aus diesem identifizierten Successful Practice werden nun konkrete Prozessschritte formuliert und zu verschiedenen Phasen zusammengefasst.

#### 5.1.4 Modellierung des ISO GPS-Integrationsvorgehen

Im letzte Prozessschritt des GPS-Einführungs-Benchmarking-Modells, wird das Integrationsvorgehen modelliert und als Roadmap grafisch abgebildet.

Dafür ist es zunächst wichtig, das GPS-System als komplexen systemischen Einführungsprozess zu verstehen und entsprechend zu planen. Neben einem Hauptverantwortlichen und einem Betriebskonzept, müssen alle Beschäftigten über den Veränderungsprozess informiert und fortlaufend dafür motiviert werden. In Abbildung 14 ist der Veränderungsprozess aus Abbildung 9 mit dem in Kapitel 5.2 beschriebenen zukünftigen GPS-Ausbildungsstufen kombiniert. Der statistisch normale Knick nach dem ersten Informieren und Schulen muss mit dem nächsten Level aufgefangen werden. Den betroffenen Fachkräften müssen Methoden und Werkzeuge bereitgestellt werden, um erfolgreich diesen „Tiefpunkt“ zu überwinden und sich über fortgeschrittenes GPS-Verständnis zu einem Erfahrenen oder Spezialisten weiterzuentwickeln.



Abbildung 14: GPS-Integration als Veränderungsprozess

Die Abbildung der Roadmap erfolgt mit dem grafischen Darstellungstool draw.io. Die Vorteile des grafischen Darstellungstools draw.io wurden in Abschnitt 4.2 umfassend

diskutiert. Die nachfolgend vorgestellte Roadmap zur Einführung des ISO GPS-Systems ist das Resultat aus dem im Benchmarking-Prozess, dem abgeleiteten Successful Practice, sowie der Literaturrecherche aus den Abschnitten 2.3.1, 2.3.2 und 2.3.3, welche Anregungen und Hinweise zu Einführungsschritten von verschiedenen Systemen sowie zur Motivation innerhalb eines Veränderungsprozesses (siehe Abbildung 14) enthält. Die damit erfolgte Erweiterung des Integrationsprozesses über das Successful Practice hinaus, hat den Vorteil, dass ein Integrationsvorgehen ohne diese zusätzlichen Inhalte zu allgemein und konturlos ist. Was dazu geführt hätte, dass die Aufeinanderfolge der einzelnen Phasen, bzw. der einzelnen Prozessschritte innerhalb der Phasen lückenhaft und damit nicht nachvollziehbar gewesen wären. Als Ergebnis wurde das folgende GPS-Integrationsvorgehen ermittelt und grafisch als Roadmap dargestellt (vgl. Abbildung 15).



Abbildung 15: Integrationsvorgehen als Roadmap

Dabei werden sechs Phasen für die erfolgreiche Einführung, Anwendung, Aufrechterhaltung und Weiterentwicklung des GPS-Systems durchlaufen. Die sechs Phasen lassen sich wie folgt kurz charakterisieren:

#### 1) Initiierung:

In der ersten Phase des GPS-Integrationsvorgehens entscheidet sich, ob ein Unternehmen die Initiative ergreift und das GPS-System einführt.

Dazu gehören Tätigkeiten, wie z. B.:

- Treiber der Einführung identifizieren,
- Entscheidung durch die oberste Leitung treffen,



- alle Fachkräfte informieren sowie
- Risiken und Chancen aufzeigen.

## 2) Vorbereitung:

In der Vorbereitungsphase wird die Implementierung des GPS-Systems geplant. Es werden Verantwortlichkeiten festgelegt, Zeit- und Rahmenbedingungen erörtert und Maßnahmen abgeleitet.

Dazu gehören Tätigkeiten, wie z. B.:

- GPS-Hauptverantwortlichen benennen,
- Betriebskonzept entwerfen,
- KeyUser festlegen sowie
- Externe Berater und Ansprechpartner auswählen.

## 3) Schulung:

In der Schulungsphase erfolgt die Schulung der Fachkräfte zu den GPS-Standards und -Normen anhand eines Schulungskonzeptes. Ab Level 4 werden spezielle unternehmensspezifische Vorgehensweisen und Templates mit einbezogen.

Dazu gehören Tätigkeiten, wie z. B.:

- Schulungsplan entsprechend dem Ausbildungskonzept erstellen,
- Schulungen entsprechend dem Schulungsplan durchführen (lassen) und
- Übungsbeispiele anwenden und Workshops durchführen.

## 4) Einführung:

In dieser Phase wenden die Fachkräfte die GPS-Standards und Normen erstmals selbstständig in Pilotprojekten an. Die Einführungsphase ist eng mit der Schulungsphase verknüpft, um unternehmensspezifische GPS-Anwendungen festzulegen.

Dazu gehören Tätigkeiten, wie z. B.:

- Pilotprojekt auswählen,
- Spezifikationen überarbeiten, evtl. neue Spezifikationen erstellen,
- Reviewprozess (z. B. Aussortierung, Abstimmung zur Anwendung der GPS-Wissenselemente) sowie
- Retrospective (bewerten, analysieren, evtl. Templates erstellen, Schulungsinhalte anpassen).

5) Anwendung:

In der Anwendungsphase wird das bisher erworbene Wissen an unternehmensspezifischen Zeichnungen angewendet.

Dazu gehören Tätigkeiten, wie z. B.:

- Vorgehens in weitere Projekte übertragen,
- Reflexion (Reifegradmodell anwenden) und
- Regelmäßige Meetings der KeyUser.

6) Weiterentwicklung:

In der letzten Phase der Roadmap wird auf die Veröffentlichung neuer, bzw. Überarbeitung bestehender Normen reagiert.

Dazu gehören Tätigkeiten, wie z. B.:

- Kontakt zur Normung, Neuerungen recherchieren, Umsetzungsinhalte festlegen,
- interne Schulungen durchführen,
- Neue Fachkräfte einweisen und schulen,
- Retrospective sowie
- regelmäßige Reflexion.

Wichtig ist, dass die einzelnen Phasen iterativ und inkrementell ablaufen. Dafür wurde ein Methodenkasten entwickelt, der in den einzelnen Phasen Ideen, Hinweise und konkrete Tools für eine agile ISO GPS-Einführung liefert.

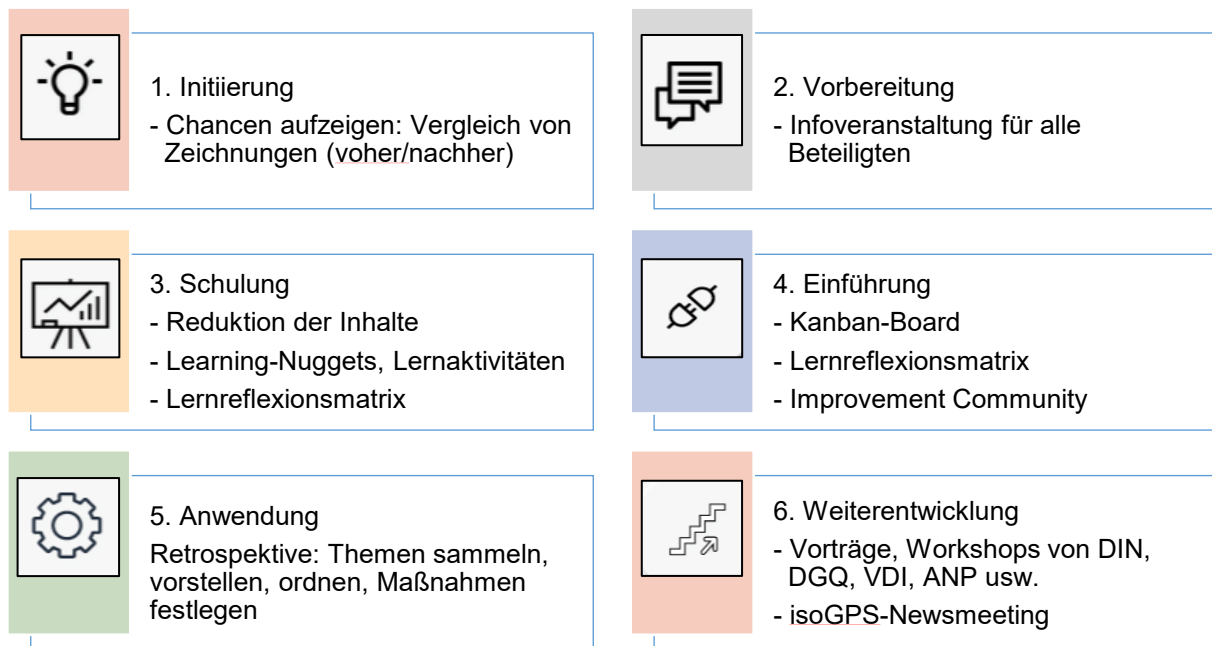


Abbildung 16: Methodenkasten für die Ausgestaltung der einzelnen Phasen des Integrationsvorgehens

Einzelne Elemente des Methodenkastens, wie z. B. der Vergleich von Zeichnungen, die Lernreflexionsmatrix, Checkliste für die Retrospektive sowie das Kanban-Board sind in der Anlage 3 aufgeführt.

Das beschriebene GPS-Integrationsvorgehen mit dem dazugehörigen „Methodenkasten“ wird anschließend als GPS-Roadmap dargestellt. Auf Basis der Recherche im Abschnitt 4.2 wird das Integrationsvorgehen als Roadmap mit draw.io abgebildet. Im nächsten Abschnitt werden diese sechs Phasen inhaltlich für die Modellierung mit dem Tool draw.io beschrieben und grafisch dargestellt.

### 5.1.5 Visualisierung der GPS-Roadmap mit draw.io

Damit die einzelnen Phasen optisch auseinandergehalten werden können, wird jeder Phase eine charakteristische Farbe zugeordnet. Die verwendeten Farben sind anschließend auch in den einzelnen Prozessschritten der einzelnen Phasen der Roadmap wiederzufinden. Untermauert wird die Absicht jeder Phase zusätzlich durch Icons. Das hat den Vorteil, dass Icons anschaulich und unmittelbar verständlich sind. Zudem ist jedem Prozessschritt aus jeder einzelnen Phase der Roadmap ein eigenes Icon zugeordnet, was den Wiedererkennungswert steigert.



Abbildung 17: GPS-Roadmap

### 1) Initiierung

Die erste Phase innerhalb der Roadmap ist die Initiierungsphase. In dieser Phase trifft ein Unternehmen die Entscheidung, ob das GPS-System eingeführt wird oder nicht. In Abbildung 18 sind die drei Prozessschritte der ersten Phase abgebildet.

Zunächst einmal ist ein Anlass für die Einführung des GPS-Systems erforderlich. So kann es sein, dass ein Unternehmen sich für die Einführung entscheidet, da es von Fachkräften der obersten, oder mittleren Leitungsebene nahegelegt wird. Zudem ist es auch möglich, dass Kunden eines Unternehmens das GPS-System fordern.

Im nächsten Schritt wird das Management über das Vorhaben informiert. Wenn das Management einverstanden ist, können zudem alle weiteren Beschäftigten eines Unternehmens über das Vorhaben informiert werden.

Der letzte Prozessschritt der ersten Phase verdeutlicht noch einmal die Vorteile, die mit der Einführung des GPS-Systems in die betrieblichen Abläufe einhergehen. So ermöglicht es das GPS-System, dass Anwender aus dem technischen Bereich auf internationaler Ebene durch die Eintragung von einheitlichen Symbolen und Werten nonverbal kommunizieren können. Die Eintragung einheitlicher Symbole und Werte trägt zudem zu einer eindeutigen und vollständigen geometrischen Produktspezifikation bei. Zudem profitieren Unternehmen, die das GPS-System einführen, von einer erhöhten Rechtssicherheit, die z. B. mit verringerten Produkthaftungskosten einhergeht.

Perspektivisch ist in der Roadmap zudem eine Musterzeichnung vorgesehen, die die Vorteile der GPS-Standards demonstriert. Die Musterzeichnung kann im grafischen Darstellungstool durch einen Klick auf „Chancen aufzeigen“ aufgerufen werden.

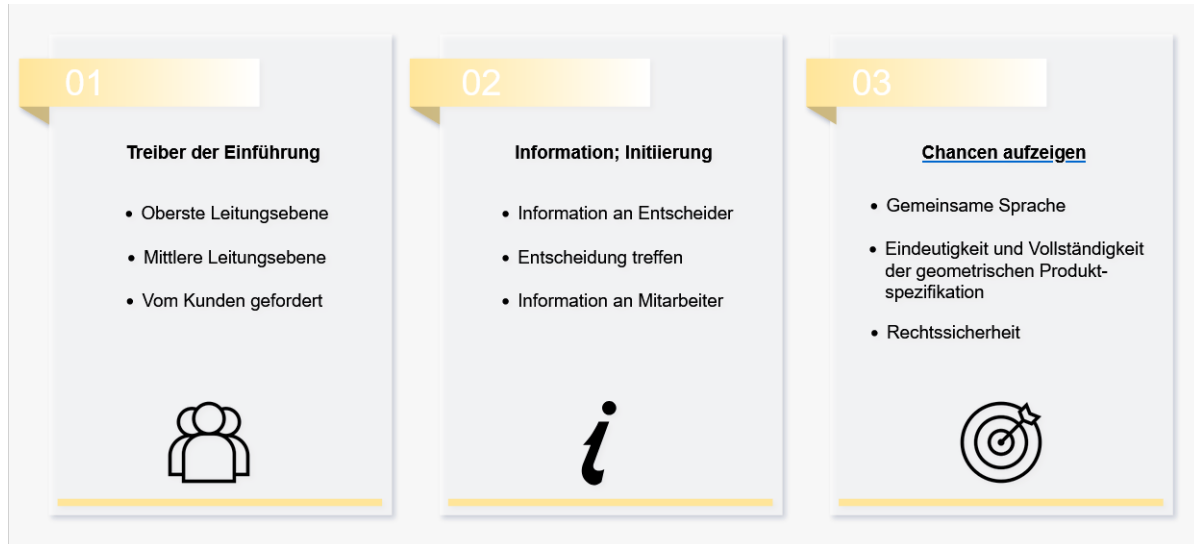


Abbildung 18: 1. Schritt: Initiierung

## 2) Vorbereitung

Die zweite Phase innerhalb der Roadmap ist die Vorbereitungsphase. Die Vorbereitungsphase besteht aus vier aufeinanderfolgenden Prozessschritten (vgl. Abbildung 19). Im ersten Schritt der Vorbereitungsphase ist es notwendig, einen GPS-Hauptverantwortlichen zu bestimmen, der für die Koordinierung der betrieblichen Integration des GPS-Systems verantwortlich ist und die Projektleitung übernimmt. Des Weiteren hält der GPS-Hauptverantwortliche den Kontakt zur Normung aufrecht und informiert die interne Belegschaft z. B. über Normenänderungen.

In einem nächsten Schritt ist es erforderlich, ein Betriebskonzept für die Einführung des GPS-Systems zu entwerfen. Dieses erarbeitet der GPS-Hauptverantwortliche zunächst gemeinsam mit der obersten Leitung. Es ist notwendig, dass die oberste Leitung die Notwendigkeit für die Einführung des GPS-Systems erkennt und alle Beteiligten motiviert. Des Weiteren erfolgt in diesem Prozessschritt die Zeit- und Ressourcenplanung, in dem etwa die Zeiträume für Schulungsmaßnahmen geplant und Rahmenbedingungen definiert werden.

Anschließend wird ein ISO GPS-Expertenteam aus Mitarbeitern aus verschiedenen Abteilungen des Unternehmens gebildet. Diese planen die Schulungsmaßnahmen, stimmen Schulungsinhalte intern sowie mit externen Beratern ab und sind für die kontinuierliche Überprüfung der Schulungsunterlagen zuständig.

Im letzten Schritt der Vorbereitungsphase wird der Kontakt zu externen Beratern aufgenommen. Die Komplexität des GPS-Systems sowie die der betrieblichen Implementierung erfordert externe Beratungen, z. B. bezüglich Änderungen oder Überarbeitungen von Normen. Zudem können externe Ansprechpartner Zeichnungsberatungen durchführen sowie Schulungen organisieren und durchführen.

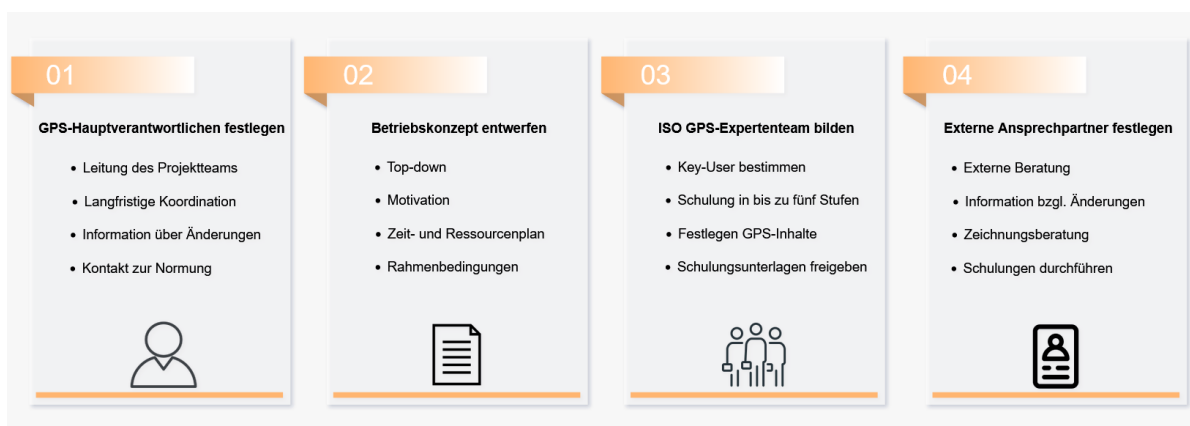


Abbildung 19: 2. Schritt: Vorbereitung

### 3) Schulung

An die Vorbereitungsphase schließt sich die Schulungsphase an (vgl. Abbildung 20). Das dafür entwickelte Schulungskonzept wird im Abschnitt 5.2 ausführlich erläutert.

In Analogie zu den bereits vorgestellten Phasen besteht in der grafischen Darstellungstool draw.io auch in der Schulungsphase die Möglichkeit, sich bequem mit einem Klick auf die unterschiedlichen Level der Schulungsphase einen Überblick über die Schulungsinhalte der fünf Module zu verschaffen.

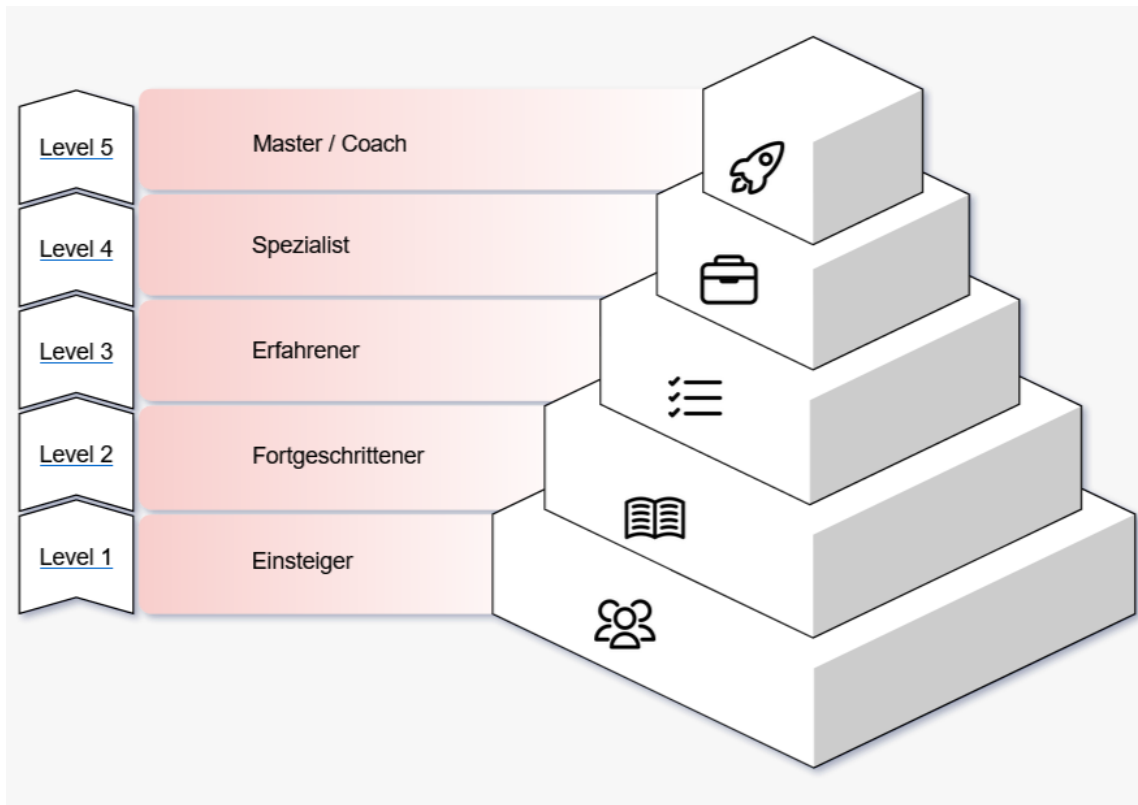


Abbildung 20: 3. Schritt: Schulung

#### 4) Einführung

An die Schulungsphase schließt sich die Einführungsphase an. Die Einführungsphase besteht aus mehreren Ebenen. Die Absicht der ersten Ebene ist es zunächst, dass das erworbene Wissen aus der Schulungsphase in einem Pilotprojekt bzw. in einer beliebigen Anzahl von unproduktiven Projekten, in Abhängigkeit von den individuellen Anforderungen eines Unternehmens angewendet wird. Die unterstrichenen Begriffe in Abbildung 21 symbolisieren darüber hinaus, dass durch einen Klick auf eines dieser Wörter im grafischen Darstellungstool draw.io immer die nächste Ebene geöffnet wird. Die nächste Ebene ist in Abbildung 22 dargestellt.

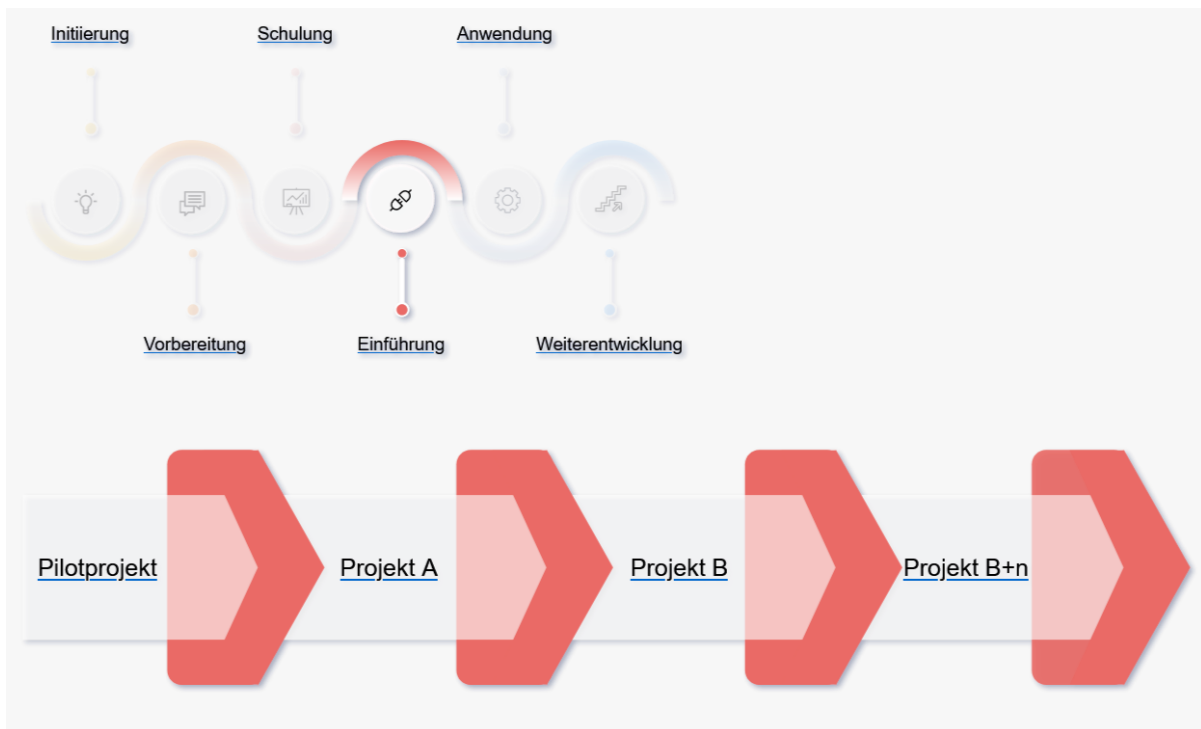


Abbildung 21: 4. Schritt: Einführung

Abbildung 22 gibt einen Überblick über die zweite Ebene der Einführungsphase. Die zweite Ebene besteht aus den drei Bereichen der Spezifikation, Interpretation und Verifikation von technischen Zeichnungen. Durch einen Klick auf einen der unterstrichenen Begriffe im grafischen Darstellungstool draw.io wird die dritte Ebene der Einführungsphase geöffnet.

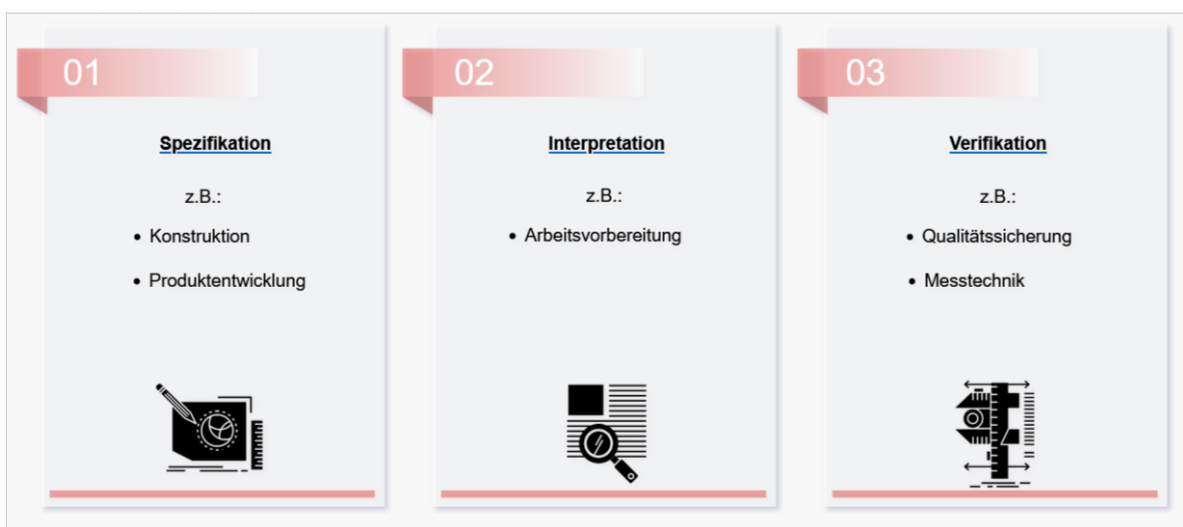


Abbildung 22: Detaillierung des 4. Schrittes



Die dritte Ebene innerhalb der Einführungsphase bilden die konkreten Vorgehensweisen für die Spezifikation, Zeichnungs-Interpretation und Verifikation.

## 5) Anwendung

In der vorletzten Phase der Roadmap wird das erworbene Wissen im Tagesgeschäft angewendet. Die Anwendungsphase besteht aus drei Prozessschritten, vgl. Abbildung 23.

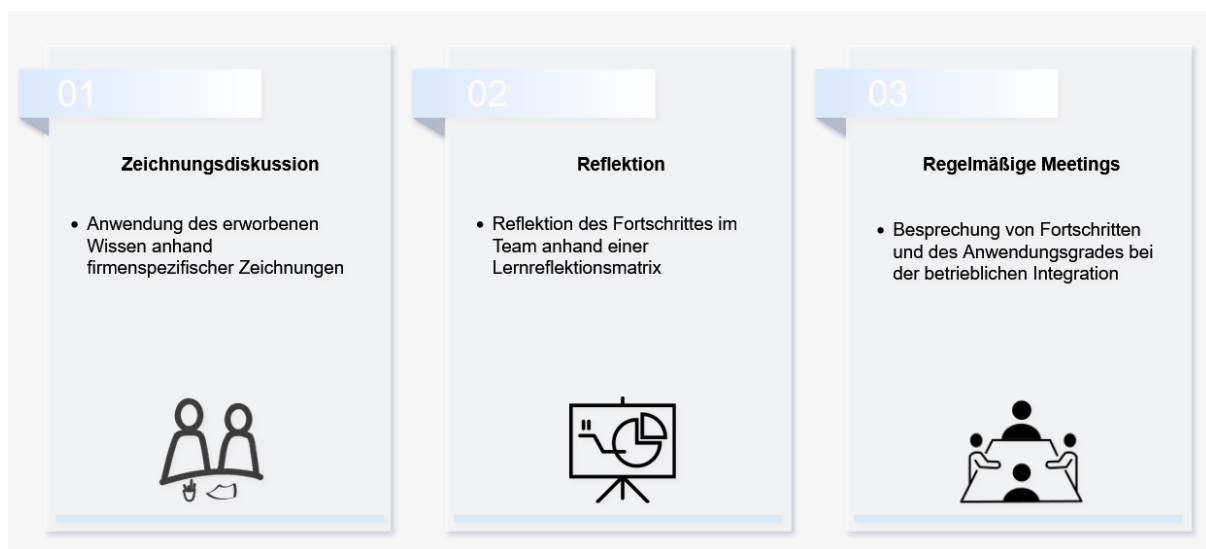


Abbildung 23: 5. Schritt: Anwendung

Der erste Prozessschritt der Anwendungsphase soll verdeutlichen, dass ab diesem Zeitpunkt das erworbene Wissen erstmals im Tagesgeschäft an unternehmensspezifischen Zeichnungen angewendet wird. Anschließend wird der Lernfortschritt anhand einer Lernreflektionsmatrix im Team diskutiert und gegebenenfalls Anpassungen vorgenommen sowie auf ungewollte Abweichungen reagiert. Schließlich folgen im letzten Schritt der Anwendungsphase in regelmäßigen Abständen Meetings, in denen die Fortschritte bei der Anwendung des GPS-Systems in die betrieblichen Abläufe besprochen und ebenfalls Anpassungen vorgenommen werden können.

## 6) Weiterentwicklung

Die Weiterentwicklungsphase ist die letzte Phase innerhalb der Roadmap für die Einführung des ISO GPS-Systems. Die Phase besteht aus fünf Prozessschritten, wie sie in Abbildung 24 dargestellt sind.

In der Weiterentwicklungsphase wird kontinuierlich auf neue und überarbeitete Normen und Anpassungen reagiert. Werden etwa neue Normen veröffentlicht, so ist es erforderlich, dass sich die KeyUser zusammenfinden und die Anpassungen und Auswirkungen gemeinsam diskutieren. Anschließend wird unter Einbeziehung des GPS-Hauptverantwortlichen und des GPS-Expertenteams sowie nach Möglichkeit und Notwendigkeit auch externen Beratern gemeinsam entschieden, welche Neuerungen umgesetzt werden. Danach ist es erforderlich, zu prüfen, ob die betroffenen Fachkräfte erneut eine Schulung benötigen. Nach erfolgter Schulung des Personals können neue Normen intern übernommen und angewendet werden.



Abbildung 24: 6. Schritt: Weiterentwicklung

Wie aus der Roadmap im 4. Schritt ersichtlich wird, ist für eine erfolgreiche GPS-Integration ein Aus- und Weiterbildungskonzept erforderlich. Erste Überlegungen und ein allgemeines generisches Konzept dazu werden im nächsten Abschnitt erläutert.

## 5.2 Entwicklung des GPS-Aus- und Weiterbildungskonzeptes

### 5.2.1 Vorarbeiten

Aus bisherigen Erkenntnissen der beruflichen Aus- und Weiterbildung (vgl. Recherche in den Abschnitt 2.1.5 und 2.2.2) und den Recherchen zur Einführung und Aufrechterhaltung von Managementsystemen oder der Integration von ERP-/PPS-Systemen (Abschnitt 2.3), ist die Wissensvermittlung ohne einen praktischen Bezug nicht nachhaltig. Das heißt ohne ein betriebliches Integrationsvorgehen ist die reine Aus- und Weiterbildung auf einem spezifischen unternehmerischen Themengebiet auf Dauer nicht nutzenbringend. Aus diesem Grund wurde im Abschnitt 5.1 das entwickelte GPS-Integrationsvorgehen beschrieben. Nach der unternehmerischen Initiierung und dem Treffen von verschiedenen Vorbereitungen ist es notwendig, die Fachkräfte zu schulen. Derzeit werden die Fachkräfte durchschnittlich zwei bis drei Tage Vollzeit geschult (vgl. Abschnitt 2.2.5). Dieses Schulungsangebot ist weder lernendengerecht noch unterstützt es den zuvor beschriebenen GPS-Integrationsprozess. Das zukünftige GPS-Ausbildungskonzept, welches das GPS-Integrationsvorgehen unterstützt, basiert auf

- einer neuen Gliederung des ISO GPS-Systems,
- verschiedenen Fachkräftegruppen,
- gestuften Ausbildungsinhalten,
- Learning-Outcome und Lernstandstests,
- Übungsbeispiele mit zunehmenden Schwierigkeitsgrad,
- unternehmensspezifischen Anwendungsbeispielen sowie
- innovativen Lehr-/Lernformaten.

Damit die Lernenden in den vielfältigen Situationen während des GPS-Integrationsvorgehens selbstorganisiert und sinnvoll Handeln können, müssen GPS-Kompetenzen Schritt für Schritt erworben werden. Eine GPS-Kompetenz basiert auf dem Wissen, welches in den Normen zur Geometrischen Produktspezifikation und -verifikation enthalten ist, umfasst zusätzlich alles, was Voraussetzung für die sichere Anwendung dieses Wissens ist (vgl. Abbildung 25). Eine GPS-Kompetenz wird mit Hilfe der Lernzieltaxonomie als Learning-Outcome formuliert, z. B. „Der/Die Lernende kann die Grundsätze der ISO 8015 nennen/erklären/anwenden.“



Abbildung 25: Begriff „GPS-Kompetenz“

In den nachfolgenden Abschnitten wird die Entwicklung der Ausbildungslevel, die Definition der Fachkräftegruppen, die neue Strukturierung des GPS-Systems, die Clustierung der Normeninhalte, die Anwendung der Lernzieltaxonomie und abschließend die Beschreibung von GPS-Kompetenzen als Grundlage des GPS-Aus- und Weiterbildungskonzeptes erläutert.

### 5.2.2 Entwicklung Ausbildungslevel und Fachkräftestruktur

Auf Basis einer umfangreichen Recherche zum Inhalt und Umfang der aktuellen GPS-Aus- und Weiterbildungssituation in Deutschland, wurde ein Ausbildungssystem mit fünf Leveln definiert. Für die Differenzierung der Schwierigkeit und Tiefe der GPS-Schulungsinhalte wurden die fünf Level

- Anfänger,
- Fortgeschrittener,
- Erfahrener,
- Spezialist und
- Master/Coach

ausgearbeitet und in Abbildung 26 beschrieben:

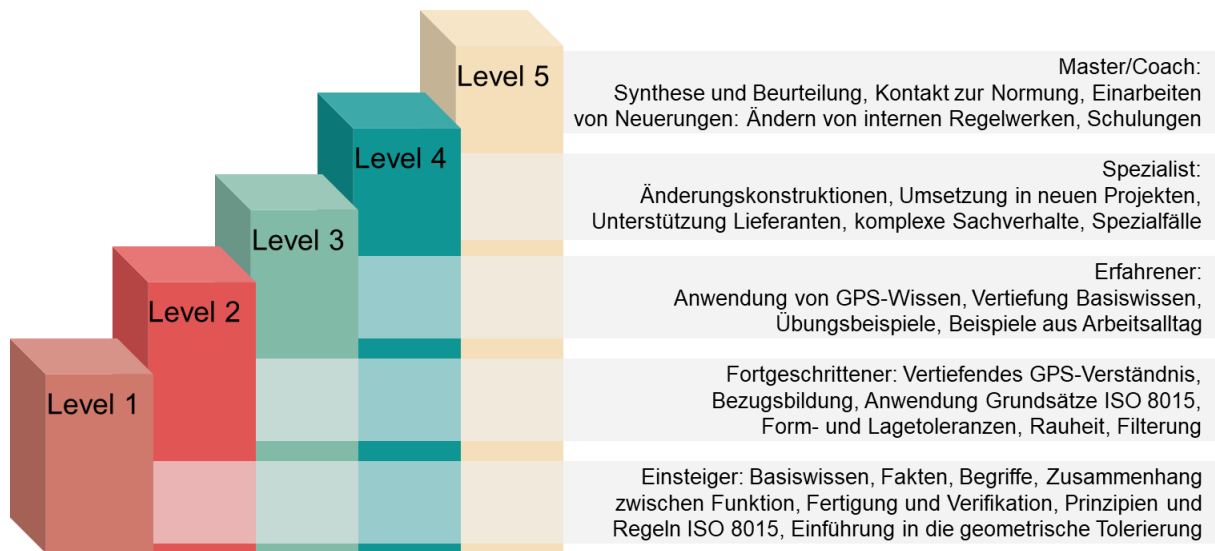


Abbildung 26: fünfstufige Aus- und Weiterbildungsstruktur

Diese fünfstufige Aus- und Weiterbildungsstruktur muss im nächsten Schritt an die verschiedenen Fachkräftegruppen, welche in jedem Unternehmen unterschiedlich stark ausgeprägt sind, angepasst werden.

Folgende Fachkräftegruppen wurden auf Basis der Recherche im Abschnitt 2.2 identifiziert:

- Führungskräfte,
- Entwicklungsingenieure,
- Fertigungsingenieure, Qualitätsingenieure,
- Facharbeiter,
- Messtechniker und
- „spezifikationslesende“ Querschnittsbereiche (Beschaffung, Vertrieb).

Sie brauchen unterschiedliche GPS-Kompetenzen in den verschiedenen Leveln. So brauchen z. B. Führungskräfte im Level 1 und 2 deutlich mehr Kompetenzen, um den GPS-Integrationsprozess zu initiieren, die Mitarbeitenden zu motivieren und den Veränderungsprozess zielführend zu gestalten. Entwicklungsingenieure brauchen mindestens bis Level 4 GPS-Kompetenzen, damit sie eine funktionsgerechte Spezifikation sowohl als Neukonstruktion, als auch als Variantenkonstruktion anfertigen können. Messtechniker brauchen im Bereich der Verifikation ein umfassendes Wissen, ebenfalls bis Level 4. Fertigungsingenieure oder Meister, wie z. B. Arbeitsvorbereiter, Technologen, Maschinenprogrammierer und Qualitätsingenieure benötigen ausreichende

GPS-Kompetenzen um die Spezifikationen sicher zu lesen und die funktionskritischen Geometrielemente zu identifizieren. Die Querschnittsbereiche sollten ein grundlegendes GPS-Verständnis haben, um mit den Kunden und Lieferanten zu kommunizieren, können natürlich je nach Anwendungsfall fachkundige Kollegen hinzuziehen.

### 5.2.3 Strukturierung des GPS-Systems

Das System der geometrischen Produktspezifikation ist international in ca. 150 ISO-Normen und national auf deutscher Normungsebene in die entsprechenden DIN-Normen übersetzt. Weitere ca. 20 Normen befinden sich derzeit in Neuerstellung oder Überarbeitung. Diese Normen sind in einer Normenhierarchie aufgebaut, für eine Schulung und Anwendung der Inhalte sind jedoch keine systematischen Vorgehensweisen festgelegt. (vgl. Abschnitt 2.1.2 und 2.1.3) Ansätze dazu sind in der entsprechenden Literatur zu finden (vgl. Abschnitt 2.2.4 und 2.2.6), aber derzeit stark von den Lehrenden abhängig, was, in welchem Umfang und in welcher Reihenfolge gelehrt wird. Basierend auf den genannten Recherchen wurde das ISO GPS-System in die folgenden zwölf Hauptkategorien mit dazugehörigen Unterkategorien neu strukturiert. (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9: Haupt- und Unterkategorien des GPS-Systems

Hauptkategorie des GPS-Systems	Unterkategorie des GPS-Systems
<b>1. Konzepte des GPS-Systems</b>	1.1 Geometrielemente 1.2 Aufbau des GPS-Systems 1.3 Operationen an Geometrielementen
<b>2. Größenmaße</b>	2.1 Lineare-Größenmaße 2.2 Winkelgrößenmaße
<b>3. allgemeine Regeln geometrischer Tolerierung</b>	3.1 Toleranzindikator 3.2 Toleranzzone 3.3 TED 3.4 Modifikationssymbole
<b>4. Bezüge</b>	4.1 Bezugssystem 4.2 Bezugsstellen
<b>5. Formtolerierung</b>	5.1 Geradheit 5.2 Ebenheit

	5.3 Rundheit 5.4 Zylindrizität 5.5 Linienform 5.6 Flächenform
<b>6. Richtungstolerierung</b>	6.1 Parallelität 6.2 Rechtwinkligkeit 6.3 Neigung 6.4 Linienform 6.5 Flächenform
<b>7. Ortstolerierung</b>	7.1 Position 7.2 Konzentrität/Koaxialität 7.3 Symmetrie 7.4 Linienform 7.5 Flächenform
<b>8. Lauftolerierung</b>	8.1 einfacher Lauf 8.2 Gesamtlauf
<b>9. Allgemeintoleranzen</b>	9.1 fertigungsverfahrenunabhängige Allgemeintoleranzen 9.2 Kunststoffe 9.3 Guß
<b>10. Zusammenwirken von Toleranzen</b>	10.1 Maximum-Material-Bedingung 10.2 Minimum-Material-Bedingung
<b>11. Rauheit</b>	11.1 2D 11.2 3D
<b>12. Verifikation</b>	12.1 Messung 12.2 Messgeräte 12.3 Messunsicherheit

#### 5.2.4 Clusterung der GPS-Normeninhalte

Das komplexe GPS-Normensystem ist so wie es aktuell in den Normen beschrieben ist, nicht zu überblicken, zu schulen und anzuwenden. Die Suche nach den „richtigen“ Normeninhalten und deren anwendungsorientierte Nutzung stellt derzeit eine Hürde in der Praxis dar. Aus diesem Grund wurde mit Hilfe der Literaturverwaltungssoftware Citavi ein Ansatz entwickelt, um die GPS-Normeninhalte in Wissens-elemente zu clustern. (Erläuterungen zu Citavi sind im Abschnitt 2.2.7 zu finden.)

Für das GPS-Projekt wurde als erstes die Gliederungsstruktur aus Tabelle 9 unter der Rubrik „Kategorien“ angelegt, denn Citavi ermöglicht es, die Inhalte in selbst definierte hierarchische Kategoriensysteme einzupflegen. Es wurden die 12 Hauptkategorien mit ihren entsprechenden Unterkategorien (vgl. Tabelle 9) angelegt. Im zweiten Schritt wurden die Fachkräftegruppen unter der Rubrik „Gruppen“ angelegt. Es können beliebig viele Gruppen angelegt werden, welche aber nicht hierarchisch gegliedert sind. Die Gruppen bilden die definierten Fachkräfte in den entsprechenden Level, z. B. der Entwicklungsingenieur im Level 1 wurde als Gruppe „L1 - Entwicklungsingenieur“ angelegt, der Facharbeiter im Level 4 als „L4 - Facharbeiter“ angelegt usw. Anschließend wurden alle aktuellen GPS-Normen, welche über den Beuth Verlag beziehbar sind, als Titel aufgenommen und die bibliografischen Metadaten, wie z. B. Institution, Jahr, Ausgabedatum nachgepflegt. Parallel dazu wurde das Schlagwortverzeichnis angelegt, welches hauptsächlich aus dem Kapitel 3 „Begriffe“ jeder Norm gespeist wurde. Im Schlagwortverzeichnis sind auch die Begriffsdefinitionen, Dopplungen und Begriffsabweichungen mit aufgeführt. Jede Norm wurde mit den Schlagwörtern verlinkt, wobei beliebig viele Schlagwörter jeder Literaturquelle zugewiesen werden können.

Nun begann die eigentliche Arbeit: das Wissen in den Normen zu bearbeiten und entsprechend den Bedürfnissen zu strukturieren und zu organisieren. Citavi bietet hierfür zahlreiche Möglichkeiten, wie z. B. Wissens Elemente anlegen, Zusammenfassungen schreiben, Bewertungssternchen vergeben, Verweise einfügen, Gedanken und Zitate erfassen, Grafiken und Tabellen einfügen. Für die Strukturierung des GPS-Wissens wurde hauptsächlich mit „Wissenselementen“ gearbeitet. Wird der Begriff aus Abschnitt 2.2.7 auf das GPS-System übertragen, ist der Bezugsgegenstand hauptsächlich in den Unterkategorien zu finden, wie z. B. die „Geradheit“. Die dazugehörigen Wissens Elemente sind z. B. Symbol, Toleranzzone, Eintragung 2D und 3D, Schnittebenenindikator, Assoziation oder Extraktion. Für die Arbeit mit Citavi heißt das, dass z. B. in der ISO 1101 genau diese Wissens Elemente markiert werden, mit der entsprechenden Kategorie verlinkt und den entsprechenden Gruppen unter Berücksichtigung der fünf Schwierigkeitslevel und dem notwendigen Vorwissen zugeordnet werden. Dieses Vorgehen ist in der Abbildung 27 zusammenfassend dargestellt.



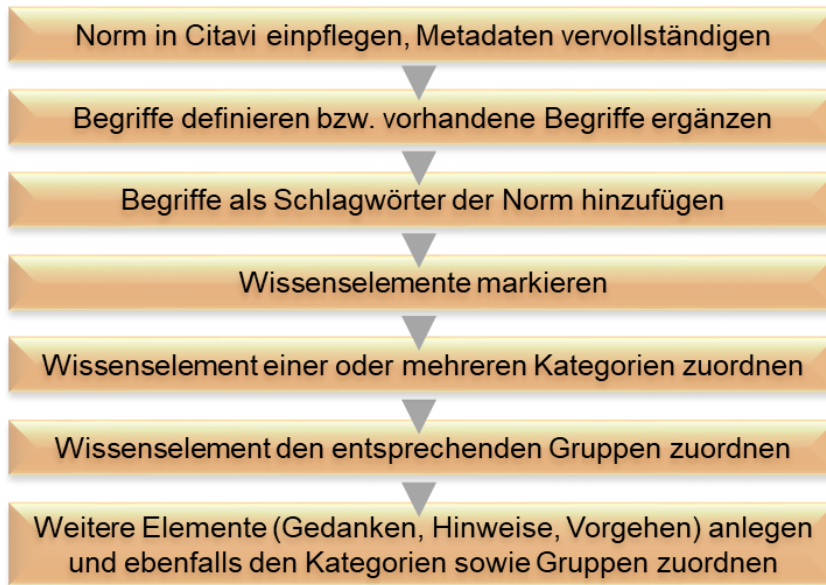


Abbildung 27: Vorgehen Clusterung der Normeninhalte

In Abbildung 28 ist ein Auszug aus der Literaturverwaltungssoftware Citavi dargestellt. Auf der linken Seite sind die in Tabelle 9 aufgeführten GPS-Kategorien dargestellt. In der Spalte daneben (2. Spalte von links) sind alle aktuellen GPS-Normen aufgelistet und in der rechten Spalte sind die dazugehörigen pdf-Dokumente einsehbar, d. h. die Normeninhalte sind ersichtlich. In der 3. Spalte sind Wissenselemente dargestellt.

The screenshot shows the Citavi interface with the following elements:

- Left Panel:** A tree view of GPS categories. The '3.3 TED' category is highlighted with a red box.
- Middle Panel:** A list of standards from the 'Deutsches Institut für Normung'. The entry 'DIN EN ISO 1101:2017. Tolerierung von Form, R...' is highlighted with a blue box.
- Right Panel:** A detailed view of the standard 'DIN EN ISO 1101:2017.pdf'. The section '10 Theoretisch exakte Maße (TED)' is highlighted with a red box. It contains text explaining TEDs and includes a diagram labeled 'Bild 64 - Angabe linearer TED'.

Abbildung 28: Literaturverwaltung und Wissensorganisation mit Citavi

Am Beispiel der Kategorie „3.3 TED“ finden sich in der Abbildung 28 rote Kästchen. Es ist die Verknüpfung aus Kategorie (Spalte 1), Norm (Spalte 2), Wissenselement (Spalte 3) und dazugehörigem Inhalt (Spalte 4) ersichtlich. Zusätzlich wurden in dieser Software alle Begriffe lexikalisch aufgenommen inkl. Verknüpfung zu den relevanten Normen, es wurden Defaults herausgefiltert und den Kategorien zugeordnet und die Wissenselemente mit Kommentaren, Zusammenfassungen, Bildern oder praktischen Gedanken ergänzt.

Über die Wissensorganisation kann anschließend eine Übersicht über die Wissens-elemente je nach Kategorie, oder nach Level der jeweiligen Fachkräftegruppe ausgegeben werden. Mit Hilfe der Lernzieltaxonomie (vgl. Abschnitt 2.2.8) werden innerhalb der Level die einzelnen normativen Wissens-elemente nun als GPS-Kompetenzen formuliert.

### 5.2.5 Anwendung der Lernzieltaxonomie

Nachfolgend ist die Tabelle zur Erläuterung der Lernzieltaxonomie aus Abschnitt 2.2.8 auf das fünfstufige Ausbildungskonzept des GPS-Systems übertragen.

Tabelle 10: Anwendung der Lernzieltaxonomie im GPS-System

Ausbildungsstufe	Beschreibung	Mögliche Inhalte des GPS-Systems
<b>Level 1: Basiswissen, Fakten, Begriffe</b>	Die Lernenden geben wieder, was sie vorher gelernt haben. Der Prüfungstoff musste auswendig gelernt oder geübt werden.	Zusammenhang zwischen Funktion, Fertigung und Verifikation, Auswahl von Prinzipien und Regeln ISO 8015, Größenmaße und Abstände, Einführung geometrische Tolerierung, Überblick Allgemeintoleranzen ISO 22081, Toleranzindikator
<b>Level 2: Vertiefendes GPS-Verständnis</b>	Die Lernenden erklären z. B. Begriffe, Symbole, kennen Defaults. So können die Lernenden einen Sachverhalt auch umgangssprachlich erläutern oder den Zusammenhang darstellen.	Bezugsbildung, Anwendung Grundsätze ISO 8015, Form- und Lagetoleranzen, Rauheit, Filterung  mit eigenen Worten wiedergeben, Zusammenhänge darstellen

<b>Level 3:</b> <b>Anwenden von GPS-Inhalten, Übungsszenarien</b>	Die Lernenden wenden etwas Gelerntes in einer neuen Situation an. Diese Anwendungssituation ist bisher nicht vorgekommen.	Vertiefung Basiswissen, Übungsbeispiele, einfache Beispiele aus Arbeitsalltag Level 1 und 2 in einem neuen Kontext
<b>Level 4:</b> <b>Umsetzung</b>	Die Lernenden wenden das GPS-System im Arbeitsalltag an. Sie erkennen Zusammenhänge. Können dies in eigenen Projekten, auch unbekannte und neue Werkstücke anwenden.	unternehmensspezifische Beispiele, Umsetzung in neuen Projekten, Unterstützung Lieferanten Komplexe Sachverhalte, Spezialfälle
<b>Level 5:</b> <b>Synthese und Beurteilung</b>	Die Lernenden zeigen eine konstruktive Leistung. Sie müssen intern beraten, Spezifikationsdiskussionen leiten und entscheiden. Die Lernenden beurteilen aktuelle und neue Spezifikationen in Bezug auf Zweckmäßigkeit, Stimmigkeit, Funktionstüchtigkeit. Führen intern Schulungen durch.	Kontakt zur Normung, Einarbeiten von Neuerungen, Ändern von internen Regelwerken, Schulungen

### 5.2.6 Entwicklung von GPS-Kompetenzen

Entlang der Fachkräftestruktur (vgl. Abschnitt 5.2.2), ist es notwendig für die jeweilige (Job-)Rolle die GPS-Kompetenzen zu definieren. In diesem Schritt ist es besonders wichtig, kritisch zu hinterfragen, was die eigentliche Aufgabe ist und wie weit diese die (Job-)Rolle bestimmt. Für die inhaltliche Gestaltung des Ausbildungskonzeptes und später auch für die Reifegradbewertung müssen nun die Wissens Elemente, Hinweise, Vorgehensweisen usw. aus Citavi herausgefiltert werden und mit Hilfe der Lernziel taxonomie als GPS-Kompetenzen formuliert werden. In Abbildung 29 ist eine Auswahl an Wissens Elementen für den Entwicklungsingenieur im Level 1 dargestellt.

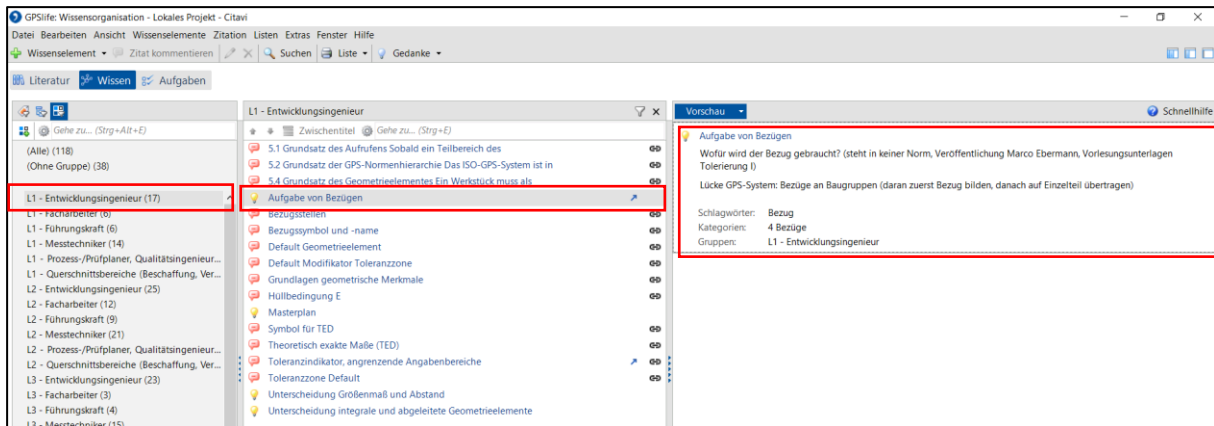


Abbildung 29: Wissensselemente in Citavi am Beispiel Entwicklungsingenieur – Level 1

Die GPS-Kompetenz dazu lautet: „Aufgaben von Bezügen nennen.“

Für die Umsetzung im GPS-Ausbildungskonzept bedeutet das

- es sind die Aufgaben verbal zu beschreiben (wie z. B. Kontakt in der Baugruppe (außenanliegendes Element), Binden von Freiheitsgraden, Koordinatensystem festlegen)
- es sind Bilder einzufügen, z. B. eine Baugruppe mit farblichen Markierungen
- es ist eine Lernaktivität zu entwickeln, z. B. eine Zeichnung mit Drag-and-Drop-Zuordnung oder als Hotspotaufgabe,
- es ist eine Frage im Lernstandtest zu formulieren.

Anschließend muss diese Kompetenz im GPS-Reifegradmodell, im Fragebogen Kategorie 4.1, Reifegradstufe 1 auswählbar sein (vgl. Abschnitt 5.3.6).

## 5.3 Entwicklung des GPS-Reifegradmodells

### 5.3.1 Vorarbeiten und Begriffsdefinition

Für eine regelmäßige Bewertung des GPS-Integrationsvorgehens und um den optimalen Einstieg für jede Fachkraft in das fünfstufige Aus- und Weiterbildungsmodell zu finden, soll ein Reifegradmodell angewendet werden. Das GPS-Reifegradmodell wurde auf Basis von Recherchen zu Industrie 4.0-Reifegradbewertungen, Reifegradanwendungen hinsichtlich der Agilität sowie Reifegradbewertungen von QM-Systemen entwickelt (vgl. Abschnitt 2.4).

Mit dem Fokus auf das ISO GPS-System ist die Konzeption eines kompetenzorientierten Reifegradmodells zu betrachten. Das heißt, es ist ein Modell zu entwickeln, das die Übereinstimmung zwischen den standardisierten GPS-Kompetenzen und ihrem jeweiligen Erfüllungsgrad durch Fachkräfte bzw. Verantwortungsbereiche in den KMU misst. Es soll Orientierung geben und eine nachhaltige wissensbasierte Entwicklung des Unternehmens in Bezug auf das ISO GPS-System ermöglichen.

Auf Basis der Rechercheergebnisse in Abschnitt 2.4.2 wird das GPS-Reifegradmodell wie folgt definiert:

***Modell zur Beschreibung der Reife des ISO GPS-Systems gemessen an der Übereinstimmung zwischen standardisierten GPS-Kompetenzen und ihrem jeweiligen Erfüllungsgrad durch Fachkräfte oder Verantwortungsbereiche.***

Bevor mit dem Reifegradmodell die Existenz der GPS-Kompetenzen in Unternehmen untersucht werden kann, muss eine Modellauswahl erfolgen. Um aus der Vielzahl der Modelle das am besten Geeignete auszuwählen und weiterzuentwickeln, wurden folgende Entscheidungskriterien auf Basis der Literaturrecherche in Abschnitt 2.4.4 festgelegt:

- Umfang der Reifegraduntersuchung,
- Detaillierungsgrad der Handlungsempfehlung,
- Vorwissen der Modellnutzung,
- Istanalyse (= Messung des Reifegrades),
- Unterstützung,
- Unternehmensbereiche,
- Inhaltliche Aspekte und
- Darstellung der Ergebnisse.

Als Vorarbeit wurde bereits das GPS-Aus- und Weiterbildungskonzept erarbeitet und in Abschnitt 5.2 beschrieben. Darin wurden fünf Level (Einsteiger, Fortgeschrittener, Erfahrener, Spezialist, Master/Coach) für die Schwierigkeitsstufen und Tiefe der GPS-Ausbildungsinhalte festgelegt. Des Weiteren wurden verschiedene Fachkräftegruppen

festgelegt, das GPS-System mit Haupt- und Unterkategorien neu gegliedert, die Normeninhalte in Wissens-elemente geclustert und mit Hilfe der Lernzieltaxonomie GPS-Kompetenzen formuliert.

Mit diesen Vorarbeiten und den Erkenntnissen aus dem Benchmarking zum GPS-Integrationsvorgehen, werden die Entscheidungskriterien für die GPS-Reifegradmodellentwicklung wie folgt beantwortet werden (Tabelle 11):

*Tabelle 11: Entscheidungskriterien für ein GPS-Reifegradmodell*

Kriterium	Festlegung für das GPS-Reifegradmodell
<b>Umfang</b>	Es soll die aktuelle Reife der Anwendung des GPS-Systems im Unternehmen abgebildet werden.
<b>Detaillierungsgrad</b>	Es sollen Handlungsempfehlungen abgeleitet werden, die vor allem auf die notwendige GPS-Ausbildung abzielen, d. h. das Reifegradmodell soll als Entscheidungsgrundlage für die Ausbildung genutzt werden.
<b>Vorwissen</b>	Der Anwender (vorwiegend Führungskräfte) muss GPS-Wissen besitzen und auch die Unternehmensaktivitäten dazu kennen.
<b>Istanalyse</b>	Ist die Basis für die Reifegraduntersuchung. Der Detaillierungsgrad spiegelt die Levelstruktur (Einsteiger bis Master) wider. Für alle Fachkräftegruppen werden in jeder GPS-Kategorie Fragen und Schwerpunkte formuliert, die entsprechend der Ausbildungslevel vom Einfachen zum Schweren/Komplexen sortiert sind.
<b>Unterstützung</b>	Das Modell soll ohne externe Unterstützung anwendbar sein, z. B. in Form eines Selbsttests
<b>Bereiche</b>	Das Modell soll flexibel auf die organisatorischen Gegebenheiten reagieren. Das heißt, je nach Unternehmen und spezifischen GPS-Inhalten kann die Reifegradbewertung für Fachkräfte, Unternehmensbereiche, Abteilungen, Standorte oder auch Lieferanten angewendet werden.
<b>Inhalt</b>	Das kompetenzbasierte Reifegradmodell bewertet ausschließlich die GPS-Kompetenzen. Je nach unternehmensspezifischen Festlegungen können GPS-Kompetenzen ergänzt, erweitert oder entfernt werden.
<b>Darstellung</b>	Die Ergebnisse sollen grafisch, hierarchisch dargestellt werden. Es werden die GPS-Kategorien sowie Unterkategorien mit den entsprechenden erreichten Level abgebildet.

Zur Erfüllung der genannten Kriterien wird ein Vorgehen auf Basis der Recherche im Abschnitt 2.4.5 entwickelt.

### 5.3.2 Vorgehen für GPS-Reifegradmodellentwicklung

Die Entwicklung des GPS-Reifegradmodells erfolgt in drei Phasen in einem Top-Down-Vorgehen, welches in Abbildung 30 überblicksartig dargestellt ist.



Abbildung 30: Vorgehen für die Erstellung GPS-Reifegradmodells (in Anlehnung an [Ege 2016])

Die Phase 1 „Vorbereitung“ besteht aus den Prozessschritten Problemdefinition/Bedarfsermittlung, Zielspezifikation und Analyse bestehender Reifegradmodell. Diese Prozessschritte wurden bereits in der Literaturrecherche sowie im vorhergehenden Abschnitt dieser Dissertationsschrift ausführlich beschrieben. Der Bedarf eines GPS-Reifegradmodells ergibt sich aus der derzeit fehlenden objektiven Bewertung, inwieweit Fachkräfte, Abteilungen oder komplette Unternehmen GPS-Kompetenzen besitzen. Damit ergibt sich die Zielstellung, ein Modell zur Bewertung der Reife des GPS-Systems zu entwickeln. Daraufhin wurden eine Auswahl an bestehenden Reifegradmodellen untersucht, verglichen und die Kriterien in Tabelle 11 beschrieben.

Die 2. Phase „Reifegradmodellentwicklung“ bildet den Kern des Vorgehens. Ein Reifegradmodell allgemein ist aus einer bestimmten Anzahl an Dimensionen, Indikatoren und Stufen aufgebaut und enthält eine Reifegradberechnung. Somit besteht diese

Phase aus den Prozessschritten Definition der Reifegradstufen, Entwurf und Zuordnung der Reifegraddimensionen und -indikatoren sowie der Bestimmung des Reifegrades. Diese drei Prozessschritte sind in den nachfolgenden Abschnitten 5.3.3 bis 5.3.5 erläutert.

Die letzte Phase „Anwendung“ besteht ebenfalls aus drei Prozessschritten. Erstellung eines Interviewleitfadens sowie die dazugehörige Auswertung werden in den Abschnitten 5.3.6 und 5.3.7 beschrieben. Die Prozessschritte Erprobung und Optimierung des Reifegradmodells werden in dieser Dissertationsschrift im Kapitel Verifizierung und Validierung, im Abschnitt 6.3, erläutert.

### *5.3.3 Definition der Reifegradstufen*

Die Reifegradstufen spiegeln den Grad der Anwendung des GPS-Systems wider. Als Basis dient die Begriffsdefinition zum Reifegradmodell in Abschnitt 5.3.1. Durch das GPS-Aus- und Weiterbildungskonzept sind fünf Level vorgegeben, welche in fünf Reifegradstufen in diesem Modell überführt werden. Das heißt, die Stufe 1 drückt einen niedrigen GPS-Reifegrad aus, Fachkräfte und Unternehmen gehören in dieser Stufe zu den Anfängern. Die Stufen 2 und 3 geben einen mittleren Reifegrad wieder, welcher dadurch begründet ist, dass in diesen Leveln vorwiegend theoretische Inhalte mit Übungsszenarien vermittelt werden. Die Stufe 4 drückt einen hohen Reifegrad aus, ab dieser Stufe ist davon auszugehen, dass das GPS-System bereits implementiert ist und in die Grundkenntnisse an realen Werkstücken angewendet werden. Die Reifegradstufe 5 drückt einen sehr hohen Reifegrad aus. Zur Verständlichkeit des Modells und praktischen Anwendung wird in den verschiedenen Reifegradstufen die GPS-Kompetenzen benannt, welche den jeweiligen Entwicklungsstand zusammenfassen und eine Steigerung implizieren. Die höchste Stufe basiert auf der Annahme, dass diese keinen Endzustand beschreibt und keine vollständigen GPS-Kompetenzen vorhanden sind. Da die Anwendung des ISO GPS-Systems ist ein ständiger Prozess, zeichnen sich die Fachkräfte oder Unternehmen mit Erreichen der Reifegradstufe 5 nicht durch einen abgeschlossenes oder vollendetes GPS-System aus. Eine vollständige Anwendung des GPS-Systems ist durch die dynamische Weiterentwicklung der Normen, verbunden mit technischen und gesellschaftlichen Veränderungen, nicht möglich. Fachkräfte oder Unternehmen mit dem höchsten Reifegrad wenden aber das



GPS-System im gesamten Produktentstehungsprozess an, initiieren Weiterentwicklungen, analysieren und schulen intern neue Normeninhalte selbst und beraten nach außen Kunden und Lieferanten. Sie können daher als GPS-Master oder GPS-Coach beschrieben werden.

Die fünf aufeinanderfolgenden Reifegradstufen werden wie folgt charakterisiert:

1. GPS-Anfänger besitzen Basiswissen und haben erste Begriffe kennengelernt. Sie kennen den Zusammenhang zwischen Funktion, Fertigung und Verifikation. Sie haben sich mit den grundlegenden Anforderungen an Spezifikation und Verifikationen vertraut gemacht, wissen, was das GPS-System ist und wie es aufgebaut ist. Sie kennen erste wichtige Grundsätze und Grundregeln geometrischer Tolerierung. Anfänger können zwischen Größenmaßen und Abständen unterscheiden und kennen die ISO 22081 zur Anwendung der Allgmeintoleranzen. Sie kennen den Toleranzindikator und die Symbole für die Oberflächenkenngößen.
2. GPS-Fortgeschrittene erlernen die Symbolsprache, beginnen in Toleranzzone zu denken und können ein Bezugssystem bilden. Sie haben ein vertiefendes GPS-Verständnis zu den Form- und Lagetoleranzen, Rauheit und Filterung. Sie können Inhalte mit eigenen Worten wiedergeben und einfache Zusammenhänge darstellen. Sie können alle Grundsätze der ISO 8015 erläutern.
3. GPS-Erfahrene können das in Level 1 und 2 erworbene Wissen in einem neuen Kontext, vorwiegend in Übungsbeispielen anwenden. Sie können Zeichnungen interpretieren.
4. GPS-Spezialisten übertragen das in Level 1 bis 3 erworbene Wissen in unternehmensspezifische Beispiele, können Bezugssysteme an neuen unbekanntem Werkstücken bilden, wenden das Spezifikationsvorgehen sicher an, auch an komplexen Werkstücken. Sie setzen sich mit Spezialfällen auseinander und können die Symbolsprache adaptieren. Die Spezialisten können auch nach außen Kunden und Lieferanten beraten, wirken bei Machbarkeitsanalysen mit. Sie eignen sich zudem als KeyUser für ihren Fachbereich.
5. GPS-Master (oder auch als Coach bezeichnet) beurteilen den internen GPS-Integrationsprozess und fördern ihn aktiv. Sie sind die Schnittstelle zur Normung, analysieren Normenänderungen und entwickeln Ideen zur Integration von neuen Normeninhalten in das Unternehmen. Sie beraten intern, machen Optimierungsvorschläge, schulen Fachkräfte und reflektieren die GPS-Inhalte mit den KeyUsern.

#### *5.3.4 Entwurf und Zuordnung der Reifegraddimensionen und -indikatoren*

Im nächsten Schritt der Reifegradmodellentwicklung sind die strukturbildenden Kriterien und Subkriterien zu definieren. Diese werden im Reifegradmodell als Dimensionen und Indikatoren bezeichnet. Auf Basis umfangreicher Recherchen und Vergleiche (vgl. Abschnitte 2.2.4, 2.2.6 und 2.4.5) wird die Reife des GPS-Systems entlang folgender zwölf Dimensionen gemessen: Konzepte des GPS-Systems, Größenmaße, allgemeine Regeln geometrischer Tolerierung, Bezüge, Formtolerierung, Richtungstolerierung, Ortstolerierung, Lauftolerierung, Allgemeintoleranzen, Zusammenwirken von Toleranzen, Rauheit und Verifikation.

Diese zwölf Dimensionen werden weiter unterteilt, in sogenannte Indikatoren. Diese Untergliederung entspricht der „neuen“ Struktur des GPS-Systems, welche in Tabelle 9 im Abschnitt 5.2.3 dargestellt ist. Durch die Nutzung dieser Gliederung wird eine enge Verzahnung mit dem GPS-Ausbildungskonzept sichergestellt.

Des Weiteren ist es notwendig, die GPS-Kompetenzen (vgl. Abschnitt 5.2.6) innerhalb der Indikatoren in den fünf Reifegradstufen kurz und prägnant zu definieren. Für eine bessere Lesbarkeit und breite Anwendungsmöglichkeit werden genau drei Kompetenzen innerhalb einer Reifegradstufe angeführt.

#### *5.3.5 Bestimmung des Reifegrades*

Als letzten Schritt in der Reifegradmodellentwicklung muss der Reifegrad berechnet werden. Auf Basis der Recherchen im Abschnitt 2.4.3 und 2.4.5 wurden als übliche Methoden zur Berechnung des Reifegrads die Gewichtung sowie die arithmetische Mittelwertbildung ermittelt.

In dem zu entwickelnden GPS-Reifegradmodell muss die Berechnung differenziert betrachtet werden. Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, wurde für eine schnelle und einfache Nutzung des Reifegradmodells, eine Standardisierung hinsichtlich der Kompetenzen in den Reifegradstufen vorgenommen. Jede Stufe enthält drei Kompetenzen mit der Punktebewertung „1“, eine Kompetenz wird doppelt gewichtet. Das heißt, in jeder Stufe können vier Punkte maximal erzielt werden. Eine Stufe gilt als erfüllt, wenn die Mindestpunktzahl „3“ erreicht wird. Eine Stufe kann somit auch dann erfüllt sein, wenn nicht alle Kompetenzen ausgewählt wurden. So kann z. B. eine Stufe auch dann erreicht werden, wenn der Facharbeiter den Begriff nicht eindeutig erklären, aber anwenden und umsetzen kann. Als Bestätigung der Erfüllung sind die Kompetenzen mit

„klickbaren Kästchen“ versehen. Ist der Anwender der Meinung, die Kompetenz zu besitzen, wird ein Häkchen in das klickbare Kästchen gesetzt. Damit geht es in die Berechnung ein.

Der Indikatorwert wird als der Wert ausgegeben, der am höchsten erfüllte Reifegradstufe. Also die höchste Stufe, in der die Punktzahl  $\geq 3$  erreicht wurde.

Jedoch besteht bei der Excel-Datei die Möglichkeit, dass z. B. die Reifegradstufe 1 erfüllt wurde, aber in der nächsten Reifegradstufe, z. B. die 2, nicht alle Punkte erreicht werden ( $< 3$  Punkte), hingegen wiederum die Reifegradstufe 3 erfüllt ist. In diesem Fall erfolgt eine Wenn-Oder-Bedingung: ist der Wert der vorherigen Reifegradstufe oder der Wert der jetzigen Reifegradstufe oder der Wert der vorherigen "richtigen" Reifegradstufe gleich null, dann ist der jetzige Reifegrad auch gleich null. Der "richtige" Indikator-Reifegrad entspricht somit der letzten erreichten Reifegradstufe. Tritt keines dieser Fälle auf, dann entspricht der "richtige" Reifegrad der Reifegradstufe, die mit Punkten  $\geq 3$  erreicht wurde. Der Dimensions-Reifegrad ist der Minimum-Wert aller Indikatoren der jeweiligen Dimension.

In Abbildung 31 ist die horizontale Berechnung (von der Anforderung bis zur Dimension) exemplarisch dargestellt.

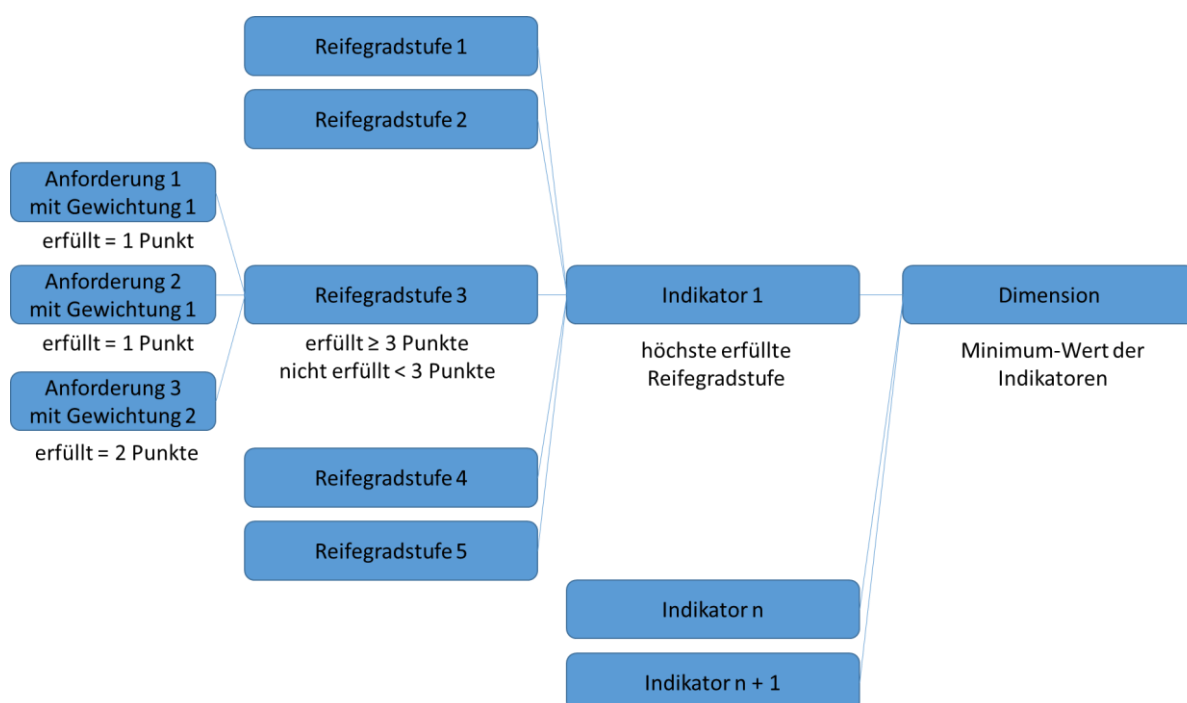


Abbildung 31: Berechnung des Reifegrades innerhalb des Indikators sowie der Dimension

### 5.3.6 Erstellung eines Fragebogens

Die Erstellung des Fragebogens ist eng mit der inhaltlichen Ausgestaltung des Ausbildungskonzeptes verbunden. Das heißt, in dem Fragebogen sind keine Fragen oder Schlagworte definiert, sondern in Anlehnung der definierten Learning Outcomes aus dem GPS-Aus- und Weiterbildungskonzept (vgl. Abschnitte 5.2.4, 5.2.5 sowie 5.2.6) die GPS-Kompetenzen. Der Aufbau des Fragebogens ist in Abbildung 32 ersichtlich.

				Gewichtung	Summe
1.	<b>Anforderungen für Reifegradstufe 1</b>				
	<input type="checkbox"/> Reifegradstufe 1 ist nicht relevant				
	<input type="checkbox"/> Lineares Größenmaß definieren, Größenmaßelemente nennen, Bezug zu ISO 14405	FALSCH		1	0
	<input type="checkbox"/> Zweipunktmaß als Default kennen	FALSCH		1	0
	<input type="checkbox"/> Größenmaß und Abstand unterscheiden	FALSCH		2	0
					0
2.	<b>Anforderungen für Reifegradstufe 2</b>				
	<input type="checkbox"/> Arten schildern und in Überkategorien einordnen	FALSCH		1	0
	<input type="checkbox"/> Modifikationssymbole erklären	FALSCH		1	0
	<input type="checkbox"/> Hüllbedingung interpretieren	FALSCH		2	0
					0
3.	<b>Anforderungen für Reifegradstufe 3</b>				
	<input type="checkbox"/> Rangordnungsmaße erklären, Änderungen des Standard-Spezifikationsoperators erläutern	FALSCH		1	0
	<input type="checkbox"/> eingeschränkte Teilbereiche kennen und anwenden	FALSCH		1	0

Abbildung 32: Aufbau des Fragebogens innerhalb der Indikatoren

Es ist der Dimensionsname und der Indikatorname ersichtlich. Weiterhin sind die fünf Reifegradstufen auf der linken Seite farblich hervorgehoben. Außerdem sind drei standardisierten GPS-Kompetenzen aufgeführt. Auf der rechten Seite ist der Berechnungsalgorithmus ersichtlich. Eine weitere Besonderheit lässt sich in der Abbildung erkennen: in der Reifegradstufe 1 ist das 1. klickbare Kästchen mit „Reifegradstufe 1 ist nicht relevant“ definiert. Diese Auswahlmöglichkeit ist notwendig, da nicht alle Indikatoren aufgrund der Schwierigkeit Kompetenzen für das Level 1 beinhalten. Beispiele dafür sind die Maximum-Materialbedingung, die Minimum-Material-Bedingung, 3D-Rauheit usw.

Nachfolgend ist der ausgefüllte Fragebogen für die Dimension 2 „Größenmaße“, spezielle für den Indikator 2.1 „Lineare Größenmaße“ abgebildet:

**Dimension-Größenmaße**

**Lineare-Größenmaße**

Bitte beantworten Sie die nachstehenden Reifegradstufen.  
Wählen Sie bei den einzelnen Reifegradstufen diejenigen Anforderungen aus, die von Ihnen erfüllt werden.

**1. Anforderungen für Reifegradstufe 1**

- Lineares Größenmaß definieren, Größenmaßelemente nennen, Bezug zu ISO 14405
- Zweipunktmaß als Default kennen
- Größenmaß und Abstand unterscheiden

**2. Anforderungen für Reifegradstufe 2**

- Arten schildern und in Überkategorien einordnen
- Hüllbedingung interpretieren
- Modifikationssymbole erklären

**3. Anforderungen für Reifegradstufe 3**

- Querschnittsfläche nutzen, spezifischen Querschnitt konstruieren
- eingeschränkte Teilbereiche kennen und anwenden
- Rangordnungsmaße erklären, Änderungen des Standard-Spezifikationsoperators erläutern

**4. Anforderungen für Reifegradstufe 4**

- Zeichnungsänderungen, Übertragung des Wissens in firmenspezifische Beispiele
- Zeichnungseintragungen, Zusammenhänge erklären
- Anwendung in neuen Produkten/ Projekten

**5. Anforderungen für Reifegradstufe 5**

- Beratung zur Unterscheidung Größenmaß und Abstand
- interne Schulungen durchführen, Zeichnungsdiskussionen leiten, Optimierungsvorschläge
- unterbrochene Größenmaße, verbundene Geometrielemente

**Indikator-Reifegradstufe**
**3**

<- ZurückWeiter ->

... Operationen an Geometrielement Lineare Größenmaße Winkelgrößenmaße Toleranzindikator Toleranzzone ... + : ◀ ▶

Abbildung 33: Fragebogen Kategorie 2.1 „Lineare Größenmaße“

Eine Auswahl an Fragebögen zu den einzelnen Indikatoren (Unterkategorien) sind in der Anlage 4 abgebildet.

### 5.3.7 Auswertung

Abbildung 34 zeigt das entwickelte Reifegradmodell in Form eines Sunburst-Diagramms. Die Dimensionen, Indikatoren und Reifegradstufen sind hervorgehoben. Das Sunburst-Diagramm ist ein Ringdiagramm und eignet sich besonders gut, um hierarchische Strukturen darzustellen. Jede Hierarchieebene wird dabei durch einen Kreis dargestellt. Auf dem äußeren Ring sind die 12 Dimensionen nummeriert. Auf dem 2.

Ring von außen sind die Indikatornummer zu finden. In die Tiefe prägen sich die fünf Reifegradstufen in einer Hierarchie aus.

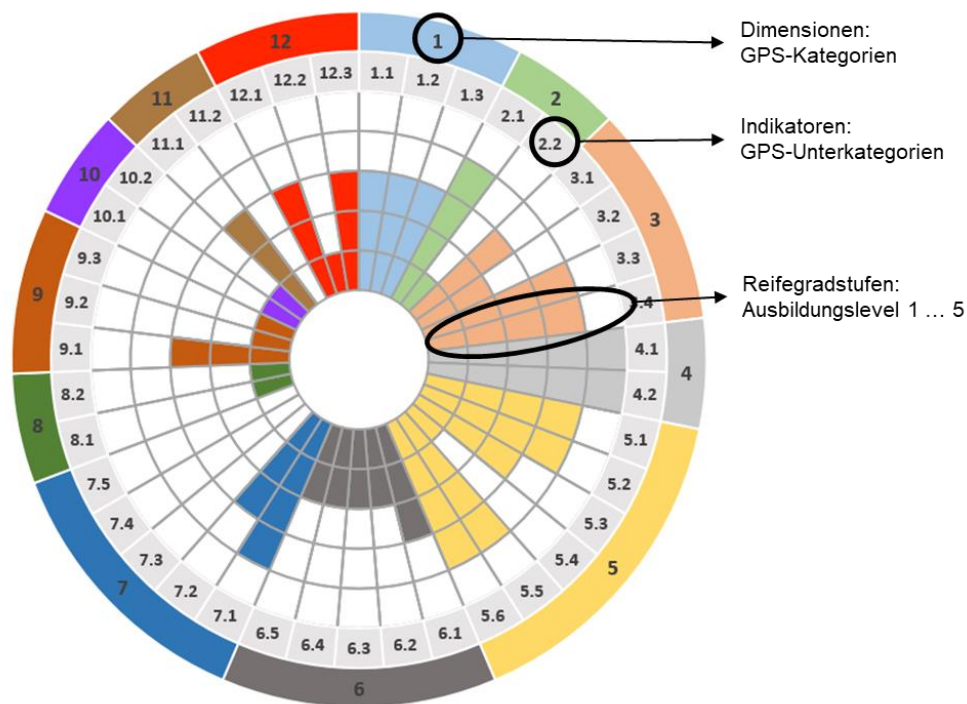


Abbildung 34: grafische Ausgabe des GPS-Reifegradmodells

Ziel ist es, das Diagramm ohne textliche Zuordnung zu interpretieren. Das setzt in diesem Fall jedoch die komplette Kenntnis der 12 Kategorien und Unterkategorien voraus. Für ein besseres Verständnis in diesem Abschnitt ist in der nächsten Abbildung die grafische Auswertung mit Zuordnung zu den GPS-Kategorien zu finden (vgl. Abbildung 35).

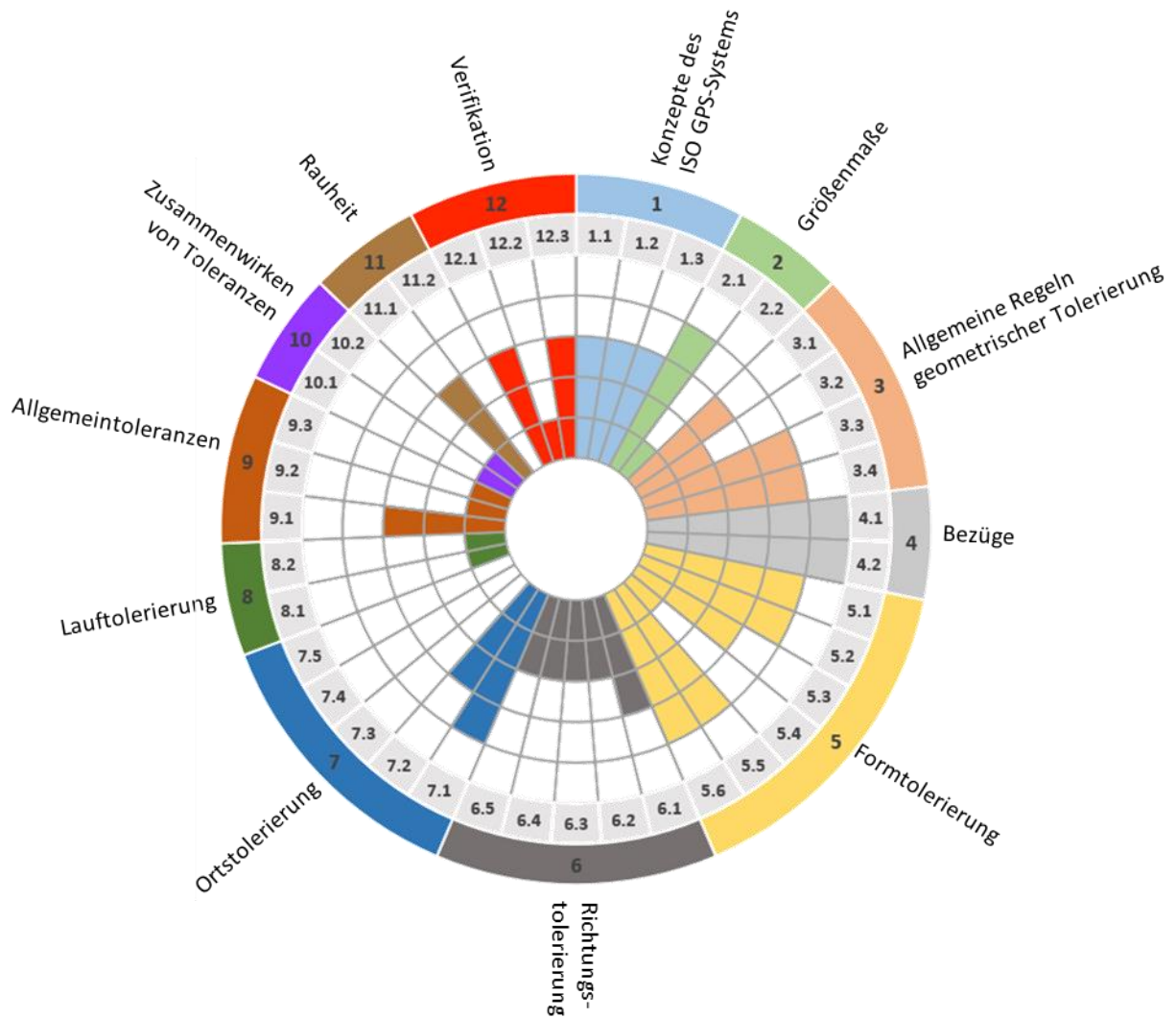


Abbildung 35: Darstellung des GPS-Reifegradmodell mit Bezug zu den GPS-Kategorien

Parallel zur grafischen Ausgabe werden die einzelnen Indikatoren in einem Excel-Tabelleblatt aufgelistet und der ermittelte Reifegrad als Zahl ausgegeben.

Das Ergebnis der Reifegradbestimmung		
Ihre Reifegrade im Detail		
	Indikator-Reifegrad	Dimensions-Reifegrad
<b>1.: Konzepte des GPS-Systems</b>		
1.1: Geometrieelemente	3	3
1.2: Aufbau des GPS-Systems	3	
1.3: Operationen an Geometrieelementen	3	
<b>2.: Größenmaße</b>		
2.1: Lineare-Größenmaße	4	1
2.2: Winkelgrößenmaße	1	
<b>3.: allgemeine Regeln geometrischer Tolerierung</b>		
3.1: Toleranzindikator	3	2
3.2: Toleranzzone	2	
3.3: TED <span style="border: 1px solid black; padding: 1px;">Diagrammbereich</span>	4	
3.4: Modifikationssymbole	4	
<b>4.: Bezüge</b>		
4.1: Bezugssystem	5	5
4.2: Bezugsstellen	5	
<b>5.: Formtolerierung</b>		
5.1: Geradheit	4	3
5.2: Ebenheit	4	
5.3: Rundheit	3	
5.4: Zylindrizität	4	
5.5: Linienform	4	
5.6: Flächenform	4	
<b>6.: Richtungstolerierung</b>		
6.1: Parallelität	3	2
6.2: Rechtwinkligkeit	2	
6.3: Neigung	2	
6.4: Linienform (R)	2	
6.5: Flächenform (R)	2	
<b>7.: Ortstolerierung</b>		
7.1: Position	4	0
7.2: Konzentrität; Koaxialität	3	
7.3: Symmetrie	0	
7.4: Linienform (O)	0	
7.5: Flächenform (O)	0	
<b>8.: Lauftolerierung</b> <span style="border: 1px solid black; padding: 1px;">Diagrammbereich</span>		
8.1: einfacher Lauf	1	1
8.2: Gesamtlauf	1	
<b>9.: Allgmeintoleranzen</b>		
9.1: ISO 22081	3	1
9.2: Kunststoffe	1	
9.3: Guß	1	
<b>10.: Zusammenwirken von Toleranzen</b>		
10.1: Maximum-Material-Bedingung	1	1
10.2: Minimum-Material-Bedingung	1	
<b>11.: Rauheit</b>		
11.1: 2D	3	0
11.2: 3D	0	
<b>12.: Verifikation</b>		
12.1: Messung	3	1
12.2: Messgeräte	1	
12.3: Messunsicherheit; Konformität <span style="border: 1px solid black; padding: 1px;">Diagrammbereich</span>	3	

**Grafische Auswertung**

2D
3D
Messung
Messgeräte
Messunsicherheit; Konformität
Ergebnis
Handlungsempfehlung
+

Abbildung 36: Berechnung des Reifegrades nach Indikatoren und Dimensionen

Ergänzend dazu wurde ein weiteres Excel-Tabellenblatt als Handlungsempfehlung entworfen. Die Handlungsempfehlung ist dazu da, um dem Anwender den aktuellen



Reifegrad mit Worten kurz wiederzugeben und konkrete Hinweise für den zukünftigen GPS-Schulungsbedarf zu geben. Die Handlungsempfehlung fasst für jede Dimension den ermittelten Reifegrad zusammen, gibt das erreichte Level mit der genauen Bezeichnung aus und bietet konkrete Lösungsvorschläge, wie das nächst höhere Level erreicht werden kann. Dies ist eng mit dem in Abschnitt 5.2 konzipierten Ausbildungskonzept verbunden. Das heißt, die Empfehlungen zum perspektivischen Schulungsbedarf setzen voraus, dass GPS-Ausbildungsmodule existieren. Alternativ ist hier auch eine individuelle Absprache mit externen Beratern (vgl. Abschnitt 5.1 zur GPS-Roadmap) möglich. Die konzipierte Handlungsempfehlung aus dem Exceltool ist in Anlage 4 dargestellt.

Die Schritte „Erprobung“ und „Optimierung“, welche das Vorgehen zur GPS-Reifegradentwicklung komplettieren, werden im Kapitel 6 „Verifizierung und Validierung“, speziell im Abschnitt 6.3, beschrieben.

Im Rahmen dieses Promotionsvorhabens sowie während der Projektlaufzeit des IGF-Projektes „GPSlife“ (11/2020 – 10/2022) wurden Teilergebnisse aus diesem Kapitel einem breiten Fachpublikum im Rahmen von nationalen und internationalen Vorträgen sowie Paper veröffentlicht. Diese Veröffentlichungen sind nachfolgend aufgeführt:

Schuldt, J.; Hofmann, R.; Gröger, S. (2020): [ISO GPS-System als Prozessübergreifende Sprache im Produktentstehungsprozess](#), Sächsisches Geometriesymposium 2020. Chemnitz, 17. & 18.03.2020, Universitätsverlag Chemnitz, ISBN: 978-3-96100-109-5

Schuldt, J.; Hofmann, R.; Gröger, S. (2020): [Introduction of a maturity model for the assessment of the integration of the GPS system in companies](#), 16th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing (CIRP CAT Conference 2020), Charlotte (USA). - Procedia CIRP. - Elsevier BV. - 92.2020, p. 129-133, doi:10.1016/j.procir.2020.05.188

Schuldt, J.; Gröger, S. (2022): [The assessment of the ISO GPS system implementation with a GPS maturity model](#), 17th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing, CIRP CAT, 14.-16.6.2022, Metz. - Procedia CIRP. - 114. 2022. - pp. 197-202. - Elsevier BV, 2022, doi:10.1016/j.procir.2022.10.027

Schuldt, J.; Gröger, S. (2022): Ausbildungskonzept und Reifegradmodell für die ISO GPS-Integration in KMU, Bericht zur GQW-Jahrestagung am 8. & 9.10.2022 in Chemnitz, Springer Berlin Heidelberg  
(eingereicht und angenommen)

*„Suche nicht nach Fehlern, suche nach Lösungen.“*

*-Henry Ford-*

## **6 Verifizierung und Validierung**

### **6.1 Anwendung der GPS-Roadmap**

Die Einführung des GPS-Systems im Unternehmen ist ein langfristiger Veränderungsprozess, der schrittweise umgesetzt werden muss. Die entwickelte GPS-Roadmap unterstützt diese Anforderung, ermöglicht alle internen und externen Schnittstellen zu berücksichtigen und verringert damit das Risiko des Scheiterns.

Wie aus der Roadmap ersichtlich ist, beginnt die Einführung des GPS-Systems nicht wie bisher oft in den Unternehmen angewendet, mit der Schulung der Fachkräfte, sondern es muss eine Initiierungs- und Vorbereitungsphase vorgeschaltet werden. Für einen nachhaltigen Integrationsprozess ist es erforderlich, in diesen beiden Phasen, die Fachkräfte zu informieren, Chancen aufzeigen, GPS-Hauptverantwortlichen und KeyUser auszuwählen sowie einen Zeit- und Ressourcenplan zu erstellen. KeyUser sind die internen GPS-Multiplikatoren, sollten im Ausbildungskonzept mit als Erstes bis Level 4 oder 5 ausgebildet werden, da sie die spezifischen internen Schulungsinhalte (Level 3, 4 und Level 5) festlegen müssen. Sie unterstützen den GPS-Hauptverantwortlichen und sind Ansprechpartner für alle Bereiche, moderieren Zeichnungsdiskussionen und GPS-Workshops, bringen normative Neuerungen ins Unternehmen, begleiten den Integrationsprozess und wenden das GPS-Reifegradmodell an.

Da Level 4 eng mit dem Integrationsprozess verknüpft ist, ist es ab dieser Stufe erforderlich, unternehmensspezifische Produkte und Baugruppen in die Aus- und Weiterbildung zu integrieren. Dies können zu Beginn Pilotprojekte sein, welche durch die KeyUser ausgewählt werden. Nach und nach findet das GPS-System dann in produktiven Projekten und damit im Arbeitsalltag Anwendung.

Erste Unternehmen arbeiten bereits nach dieser erstellten Roadmap und sind individuell in den einzelnen Phasen unterwegs. Die einzelnen Schritte sind logisch aufgebaut und nachvollziehbar. Allerdings arbeiten noch zu wenige Unternehmen mit dem Methodenkasten.

## 6.2 Anwendung des GPS-Ausbildungskonzeptes

Über ein erfolgreich gelebtes GPS-System und einer damit verbundenen Produktkonformität entscheiden heute Kompetenzen aller am Produktentstehungsprozess beteiligten Fachkräfte. Hauptziel ist es, sinnvolle Entscheidungen zu den Spezifikationsanforderungen in Bezug auf die Funktion von Werkstücken sowie deren Erfüllung zu treffen. Um die dafür notwendigen GPS-Kompetenzen aufzubauen und kontinuierlich weiterzuentwickeln, wurde ein GPS-Aus- und Weiterbildungskonzept entwickelt.

In einer Testumgebung im Rahmen des Forschungsprojektes „GPSlife“ wurde in drei regionalen Unternehmen Level-1-Präsenzs Schulungen durchgeführt. Aufgrund des Einstiegscharakters waren diese Schulungen in erster Linie als Informations- und Motivationsveranstaltungen zu verstehen und wurden auf freiwilliger Basis für alle interessierten Fachkräfte angeboten. Des Weiteren wurde mit dem Bundesverband Metallhandwerk und ausgewählten Vertretern des Handwerks ebenfalls Level-1-Schulungen durchgeführt. Alle teilnehmenden Fachkräfte haben zurückgespiegelt, dass sie das Konzept des ISO GPS-Systems verstanden haben. Anhand von Unternehmensspezifikationen wurden vor der Level11-Schulung aktuelle Probleme und Diskussionspunkte aufgegriffen und an Hand von überarbeiteten GPS-konformen Spezifikationen erläutert. Dies ist für eine Motivation und Identifizierung der Schulungsteilnehmer mit den eigenen Spezifikationen eine grundlegende Voraussetzung.

Da aktuell dieses gestufte GPS-Aus- und Weiterbildungskonzept am Markt nicht existiert, können zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine Aussagen über die Anwendung, Vor- und Nachteile sowie Verbesserungsvorschläge der Level 2 bis 5 getroffen werden. Es wird jedoch sichtbar, dass immer mehr Unternehmen keine komplexen Mehrtages-Schulungen mit Reisezeiten ihren Fachkräften ermöglichen können bzw. die Fachkräfte wollen dies zum großen Teil auch nicht mehr. Die rasant fortschreitende Digitalisierung, der Fachkräftemangel und die immer kürzeren Projektlaufzeiten erfordern in der Aus- und Weiterbildung neue resiliente Strukturen und Formate. Zur internen Verifizierung, inwieweit das neu beschriebene GPS-Aus- und Weiterbildungskonzept digital umgesetzt werden kann, wurde mit der Software „Articulate Rise 360“ ein Level-1-GPS-Kurs als Webbased Training (WBT) erstellt. Durch die Kleinteiligkeit der beschriebenen GPS-Kompetenzen konnten verschiedene Lernaktivitäten, wie z. B. textuelle Wissensangebot, Quiz, MC-Fragen, Drag-and-Drop-Zuordnungen, Videos, Podcasts usw. schnell und einfach umgesetzt werden. In der Abbildung 37 ist ein

Screenshot dargestellt. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass das im Kapitel 5.2 beschriebene Ausbildungskonzept mit den Lernzielen und der neuen Gliederung anwendbar und auch als WBT umsetzbar ist.

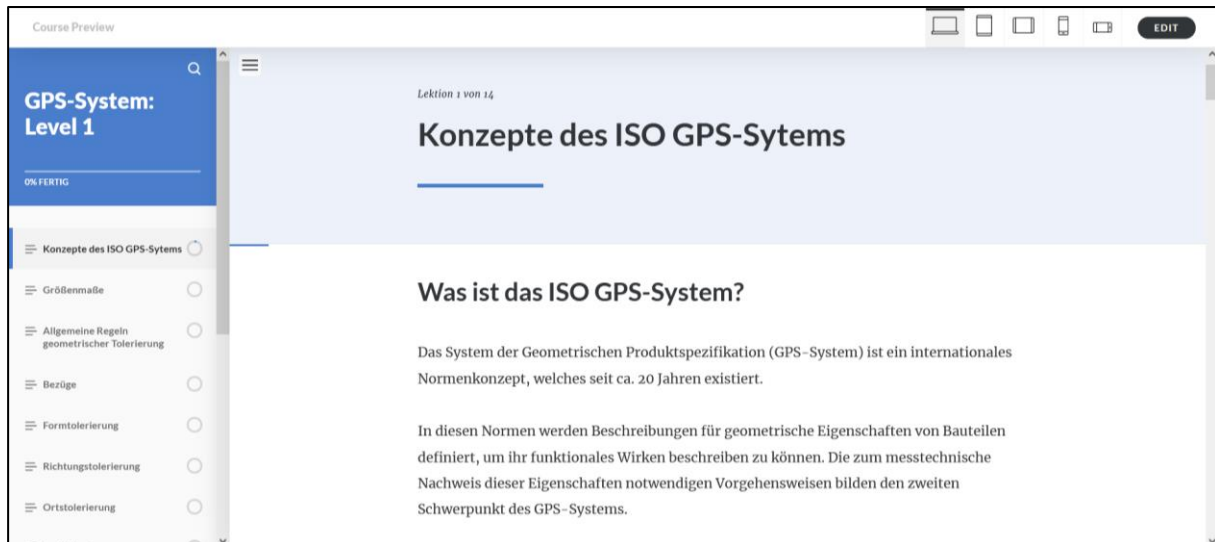


Abbildung 37: Screenshot digitaler GPS-Kurs – Level 1

Für die Level 2 und 3 wurden Übungsbeispiele erstellt. Dafür wurde die Baugruppe des Sterlingmotors ausgewählt. Hierzu wurden 3D-Modelle und 2D-Zeichnungen erstellt. Die erstellten Zeichnungen wurden entsprechend dem Vorgehen der Spezifikation, wie es die Roadmap enthält, in einzelnen Lernebenen aufgebaut.

Bei reinen GPS-Kursen als WBT ist es empfehlenswert, alle Level mit Präsenzlernphasen zu ergänzen, die zu Beginn vorwiegend der Motivation dienen, später die Auswahl der spezifischen GPS-Inhalte unterstützen und die Zeichnungsdiskussionen beinhalten. In den Präsenzlernphasen werden die digital konsumierten Inhalte besprochen, es können Fragen beantwortet werden, Alternativen in der 2D-/3D-Darstellung werden aufgezeigt sowie die Verknüpfung von Spezifikation und Verifikation wären weitere Diskussionspunkte.

### 6.3 Anwendung des GPS-Reifegradmodells

Mit Anwendung des Reifegradmodells wird aktives Wissensmanagement in den Unternehmen betrieben. Das GPS-Reifegradmodell enthält 12 Dimensionen, welche die 12 Hauptkategorien des GPS-Systems widerspiegeln. Diese sind weiter unterteilt in

39 Indikatoren. Außerdem wurden fünf Reifegradstufen definiert. Die Reife der Integration des GPS-Systems in den Unternehmen wird in Form von drei GPS-Kompetenzen pro Reifegradstufe ausgedrückt. Das entwickelte Reifegradmodell soll auf der einen Seite den aktuellen Stand der GPS-Integration abbilden und auf der anderen Seite die im Unternehmen vorhandenen GPS-Kompetenzen bewerten und Weiterbildungsbedarf daraus ableiten. In beiden Fällen kann das Reifegradmodell entweder als Selbstbewertungsmodell durch die Fachkräfte genutzt werden oder der GPS-Master nutzt das Modell, um die GPS-Kompetenzen in Form einer Befragung zu ermitteln. Alternativ kann das Reifegradmodell auch anonym angewendet werden. Das heißt, der GPS-Master bewertet die Kompetenzen von Arbeitsgruppen, Projekten oder ganzen Abteilungen. Hier kann kein Rückschluss auf einzelne, bei den Fachkräften vorhandene, GPS-Kompetenzen gezogen werden.

In Verbindung mit dem zukünftigen digitalen Ausbildungsangebot bietet das Reifegradmodell eine ideale Navigatorfunktion. Es wird sichergestellt, dass die Fachkräfte entsprechend ihrer Vorbildung den optimalen Start in die Ausbildungsmodule finden. Parallel dazu können auf dieser Basis auch Lernstandstests entwickelt werden.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „GPSlife“ wurden Experteninterviews mit den Unternehmensvertretern durchgeführt, um die Modelleigenschaften zu validieren und Optimierungspotenzial zu diskutieren. Ebenfalls wurde das Modell einem breiten Publikum zur Diskussion vorgelegt werden, wodurch weitere Verbesserungsvorschläge gesammelt wurden.

Ein Schwerpunkt bei den ersten Tests des hier entwickelten GPS-Reifegradmodells ist die Verständlichkeit und die Anwendung durch unterschiedliche Fachkräfte in allen Unternehmensbereichen sowie der Führungskräfte.

Dabei hat sich die hohe Komplexität des Reifegradmodells mit 12 Dimensionen und 45 Indikatoren mit jeweils 5 Level und jeweils 3 GPS-Kompetenzen, also insgesamt 675 Kompetenzen als Herausforderung herausgestellt. Diejenigen, welche bereits länger mit dem GPS-System und dessen Integration beschäftigen, sind bei der Reifegradbestimmung zeitlich rund 2 Stunden beschäftigt, alle Kompetenzen durchzulesen und auszuwählen.

Aus diesem Grund wurden nachfolgende Optimierungsvorschläge bereits aufgegriffen und umgesetzt (vgl. Tabelle 12). In diesem ersten Optimierungsschritt lag der Schwerpunkt auf dem Weglassen bzw. Zusammenfassen von Indikatoren. Somit konnten die anfänglich 675 Kompetenzen auf 585 Kompetenzen reduziert werden.

Tabelle 12: Änderungshistorie Indikatoren Reifegradmodell

Dimension	Änderung	Erklärung
<b>1. Konzepte des GPS-Systems</b>	Zusammenfassen von 1.1 Geometrieelemente und 1.2 geometrische Eigenschaften	30 Learning Outcomes sind zu kleinteilig
<b>3. allgemeine Regeln geometrischer Tolerierung</b>	Wegfall von 3.5 Indikatoren	Indikatoren werden bei den entsprechenden Symbolen vermittelt
<b>7. Ortstolerierung</b>	Zusammenfassung von Konzentrität und Koaxialität	Gleiches Symbol, Werden zum Teil mit gleicher Bedeutung verwendet
<b>8. Lauftolerierung</b>	Zusammenlegen von Planlauf und Rundlauf zu einfacher Lauf	in Analogie zu den Lehrbüchern
<b>8. Lauftolerierung</b>	Zusammenlegung von Gesamtplanlauf und Gesamtrundlauf zu Gesamtlauf	in Analogie zu den Lehrbüchern
<b>10. Zusammenwirken von Toleranzen</b>	Reziprozitätsbedingung in Maximum-Material-Bedingung im Level 4 und 5 integrieren	Ohne den Zusammenhang zum MMR ist die Definition von 15 GPS-Kompetenzen nicht möglich
<b>10. Zusammenwirken von Toleranzen</b>	Reziprozitätsbedingung in Minimum-Material-Bedingung im Level 4 und 5 integrieren	Ohne den Zusammenhang zum LMR ist die Definition von 15 Learning Outcomes nicht möglich
<b>12. Verifikation</b>	Unterteilung in 12.1 Messung 12.2 Messgeräte 12.3 Messunsicherheit	Verifikation ist in den restlichen Kategorien zu wenig betrachtet

Für eine bessere Anwendbarkeit des Reifegradmodells wurde festgelegt, dass je Level maximal drei Learning Outcomes formuliert werden. Bei der Formulierung der Learning Outcomes wurde sich sehr stark an dem Ausbildungskonzept und einer perspektivischen digitalen Umsetzung der Lerninhalte orientiert.

Die logische Reihenfolge, hierarchische Struktur sowie die Ableitung des Handlungsbedarfs funktionieren. Die flexible Anpassung in Bezug auf die Vollständigkeit der Anwendung des ISO-GPS-Systems ist derzeit insoweit umgesetzt, dass einzelne Kompetenzen oder ganze Reifegradstufen als „nicht relevant“ markiert werden können. Diese werden dann in die Reifegradberechnung nicht mit einbezogen.

Die grafische Darstellung gibt einen komprimierten Überblick über die aktuelle Reife der Anwendung des GPS-Systems im Unternehmen. Dabei sind die Dimensionen farblich unterschieden und in Indikatoren aufgespalten. Die Kreisringe bilden die fünf Level ab. Darauf aufbauend wird für jede Dimension eine Handlungsempfehlung basierend auf dem niedrigsten erzielten Indikatorwert ermittelt. Bei detaillierter Betrachtung ist es auch möglich, die Handlungsempfehlung indikatorspezifisch zu filtern. In erster Linie werden auf Basis dieser Reifegradbewertungen Empfehlung für die nächsten anstehenden Schulungsmodule gegeben.

Diese Vorgehensweise zur Ergebniszusammensetzung ermöglicht es einerseits, eine übergeordnete, allgemeine Einschätzung der Unternehmenslage und andererseits spezifische Handlungsempfehlungen für die Unternehmen, Unternehmensbereiche oder einzelne Fachkräfte auszugeben.

Die grafische Darstellung als farbiges Sunburst-Diagramm hat sich als hilfreiche Visualisierungsmöglichkeit herausgestellt und dient gleichzeitig der schnellen Informationsgewinnung.

#### **6.4 Kritische Diskussion der Ergebnisse**

Die Einführung und nachhaltige Anwendung des ISO GPS-Systems muss als langfristiger Veränderungsprozess von den Unternehmen verstanden werden. Zur Unterstützung wurde eine Roadmap erstellt, welche das Integrationsvorgehen Schritt für Schritt beschreibt und einen Methodenkasten zur Unterstützung der sechs Phasen enthält. Da die Einführung nicht ohne eine begleitende Schulung aller Fachkräfte, jedoch in unterschiedlicher Geschwindigkeit und Tiefe, ablaufen kann, wurde ein neues Aus- und Weiterbildungskonzept entwickelt. Zur objektiven Bewertung des Integrationsvorgehens sowie des Weiterbildungsprozesses wurde ein kompetenzbasiertes GPS-Rei-



Reifegradmodell entwickelt und erprobt. In Abbildung 38 sind die Ergebnisse einer erfolgreichen Einführung, Verwirklichung, Aufrechterhaltung, Verbesserung und Weiterentwicklung des ISO GPS-Systems zusammenfassend dargestellt.

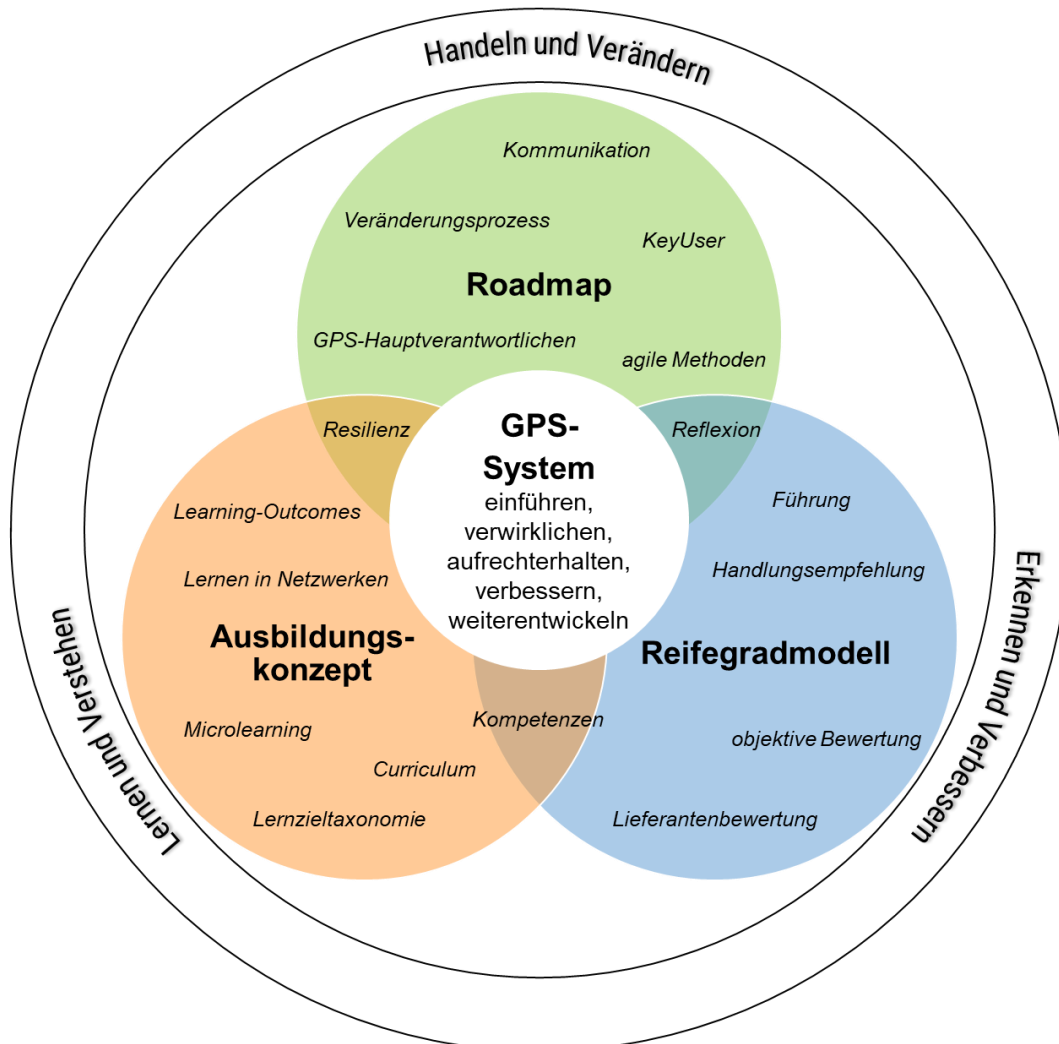


Abbildung 38: Zusammenfassung der Ergebnisse

Als vorteilhaft hat sich herausgestellt, dass der Integrationsprozess eng mit dem Schulungskonzept verbunden ist. Für erste Unternehmen, welche die Initiierungsphase gestartet hatten, konnten somit auf Basis der Level-1-Schulung schon die KeyUser identifiziert werden sowie ein Betriebskonzept und Schulungsplan wurden entworfen. Die Roadmap stellt transparent die nächsten notwendigen Schritte dar.

Des Weiteren hat sich gezeigt, dass die intensive Auseinandersetzung mit normativen GPS-Wissenselementen und der Lernzieltaxonomie die Basis für die Einteilung in die

fünf Ausbildungslevel ist. Dadurch können die Normeninhalte gezielt nach dem Schwierigkeitsgrad sortiert und später entsprechend geschult werden.

Die Kategorisierung des GPS-Systems hat mehrere Anpassungsschleifen bereits durchlaufen. Am Anfang z. B. war die Zeichnungseintragung bei der Form- und Lage-tolerierung eine separate Unterkategorie. Bei der Beschreibung der GPS-Kompetenzen wurde dies aber den einzelnen Symbolen zugeordnet. Außerdem wird das Kapitel 12 aktuell für die Verifikation erweitert, da in den übrigen Kategorien die Verifikation derzeit zu wenig betrachtet wird und auf nationaler Ebene neue Normen in Bearbeitung sind. Die GPS-Kompetenzen in den Level 2 – Level 5 sind abschließend formuliert, wurden jedoch aus Kapazitätsgründen bisher nicht als Ausbildungsinhalte in den Unternehmen getestet.

Das GPS-Reifegradmodell dient dazu, den Implementierungsprozess zu verfolgen und weiteren Handlungsbedarf abzuleiten. Für eine erfolgreiche GPS-Integration ist es notwendig, das vorhandene Wissen sowie die Anwendung transparent darzustellen und Wissenslücken oder Anwendungsprobleme zu identifizieren. Wichtig ist ein einfach zu bedienendes Bewertungsinstrument, das von Unternehmen zur Selbsteinschätzung ihrer GPS-Reife genutzt werden kann. Das aktuell entwickelte Modell ist dafür jedoch noch zu umfangreich und zu zeitintensiv in der Anwendung. Das vorhandene Exceltool ist zudem für eine weite Verbreitung nicht praktikabel.

## 6.5 Fazit zur Behebung des Defizites und Auswertung der Hypothesen

### 6.5.1 *GPS-System agil einführen und den Fortschritt mit einem Reifegradmodell bewerten*

#### Hypothese 1:

Wenn das GPS-System als „training on the job“ eingeführt wird, dann muss ein agiles Vorgehen angewendet werden sowie mit einem Reifegradmodell in regelmäßigen Abständen der Fortschritt bewertet werden.

Aufgrund der aktuellen Herausforderungen in den Unternehmen, muss der betriebliche GPS-Einführungsprozess mit einem „training on the job“-Ansatz erfolgen. Dafür bildet das beschriebene modulare Aus- und Weiterbildungskonzept eine gute Grundlage.

Das entwickelte Reifegradmodell ist ein Novum auf dem Gebiet der Geometrischen Produktspezifikation.

Durch die Chance des Pandemiegeschehens, indem die Arbeitswelt in den letzten zwei Jahren deutlich digitaler geworden ist und Webmeetings für die meisten Fachkräfte zum Alltag geworden sind, werden die Forderungen nach kurzen digitalen Schulungseinheiten (WBTs) immer mehr. Im Kontext der Aus- und Weiterbildung im GPS-System müssen diese Entwicklungen genutzt werden, die GPS-Kompetenzen in kleinen Schritten „arbeitsplatznah“ mit regelmäßigen Reviews nachhaltig in die Unternehmen zu integrieren. Regelmäßige Überprüfungen des Standes des Wissens sowie Feedbackgespräche werden ein immer wichtigerer Bestandteil der Weiterbildung. Neben der Berücksichtigung der Motivation im Rahmen des Veränderungsprozesses, wurden im Abschnitt 5.1.4 für das Integrationsvorgehen ein Methodenkasten zusammengestellt, welcher den Anspruch hat das Vorgehen agil zu unterstützen. Ein Beispiel daraus ist die Lernreflexionsmatrix. Sie lässt von jedem Lernenden nach den jeweiligen Übungseinheiten selbstständig ausfüllen und bildet die Grundlage für die internen oder auch externen Feedbackgespräche.

Das in Abschnitt 5.3 beschriebene Reifegradmodell bietet eine optimale Ergänzung, den Integrationsprozess methodisch zu begleiten und die Ausbildung als „training on the job“ in einer selbstorganisierten Arbeitsumgebung zu ermöglichen. Das Reifegradmodell reflektiert die Fortschritte, gibt Handlungsempfehlungen und verstärkt somit die Wirksamkeit des Ausbildungs- und Integrationsprozesses.

### 6.5.2 Zerlegung des GPS-Systems in Wissenselemente

#### Hypothese 2:

Wenn die GPS-Normeninhalte in Wissenselemente zerlegt und neu strukturiert werden, dann können Sie den Fachkräften zugeordnet werden.

Für eine Motivation zur Anwendung des komplexen ISO GPS-System ist es eine Grundvoraussetzung das die Fachkräfte differenziertes GPS-Normenwissen haben. In der aktuellen Aus- und Weiterbildung (vgl. Abschnitte 2.2.2 bis 2.2.6) werden kaum fachkräftespezifische Unterschiede in der Wissensvermittlung gemacht. Konstrukteure sind derzeit die größte Gruppe, welche an Schulungen teilnehmen. Fachkräfte aus der

Arbeitsvorbereitung oder Qualitätssicherung haben die Notwendigkeit dieser Schulungen festgestellt. Andere Fachbereiche hingegen sind eher weniger vertreten. Das GPS-System wirkt sich jedoch auf den gesamten Produktentstehungsprozess aus, so dass alle Fachbereiche GPS-Kompetenzen haben müssen. Jedoch ist hier zu beachten, dass nicht jede Fachkraft GPS-Kompetenzen des gleichen Umfangs und der gleichen Tiefe braucht. Kompetenzen sind definiert als erlernbare, kognitiv verankerte (weil wissensbasierte) Fähigkeiten und Fertigkeiten, die eine erfolgreiche Bewältigung bestimmter Anforderungssituationen ermöglichen.

Als Basis für den GPS-Kompetenzerwerb, wurden die Normeninhalte mit Hilfe der Literaturverwaltungssoftware Citavi in Wissens Elemente zerlegt (vgl. Abschnitt 5.3.6), mit Vorgehensweisen, Hinweise, Erfahrungen, Eselsbrücken, Schlagwörtern ergänzt und über die Citavi-Funktionalitäten den Kategorien und Levels und Fachkräften zugeordnet.

Das heißt, in Citavi ist es möglich, je nach Fachkräftegruppe und Schwierigkeitsstufe (Level 1 bis 5) die Wissens Elemente zu sortieren und auszugeben. Allerdings findet diese fachkräftespezifische Sortierung derzeit keine Anwendung im Reifegradmodell. Die Clusterung der GPS-Normeninhalte bieten außerdem folgenden Mehrwert für die Unternehmen:

- Aufteilung Basis und Advanced (sowie Abstufungen dazwischen),
- Überblick über Wissensgebiete, z. B. alle Normen zu Rauheit überblicksartig dargestellt,
- Zusammenstellung von Defaults nach Wissensgebieten und
- Grundlegendes Konzept für eine vergleichbare Ausbildung.

Des Weiteren ist folgender Mehrwert für die Normungsarbeit erkennbar:

- Aufteilung der Normeninhalte in Anwendung und Entwicklung,
- Dopplungen von Inhalten herausfiltern, z. B. im fundamentalen Bereich (ISO 17450, ISO 25378) und
- Zusammenstellung der „Verschiedenartigkeit“ der Definitionen und Erläuterungen.

### 6.5.3 Ausbildungslevel mittels Lernzieltaxonomie beschreiben

#### Hypothese 3:

Wenn eine Lernzieltaxonomie angewendet wird, dann können Ausbildungslevel aufgebaut werden.

Damit das komplexe GPS-System übersichtlicher und erlernbarer wird, wurden fünf Schwierigkeitsstufen, so genannte Ausbildungslevel definiert und in Abschnitt 5.2.2 beschrieben. Um den Inhalt, die Methoden und die Prüfungen des fünfstufigen Aus- und Weiterbildungskonzeptes zu steuern, ist es notwendig, Lernergebnisse zu formulieren. Diese kompetenzbasierten Learning Outcomes sind konkrete beobachtbare Handlungen der Lernenden, die ergebnisorientiert beschrieben sind. Die Lernzieltaxonomie als einheitliches Verfahren oder festgelegte Klassifikation beschreibt dabei unterschiedliche Niveaustufen der Learning Outcomes, die die Lernenden erreichen können. Die bekannteste Lernzieltaxonomie wurde von Bloom 1956 entwickelt und findet bei den 5 GPS-Level Anwendung. Mit Hilfe von Verben werden die Learning Outcomes so formuliert, dass sie für den Lernenden nachvollziehbar werden und für den Lehrenden einen eindeutigen Bezug zur notwendigen Vermittlungsstrategie und zum Erstellen von Lernstandstests bilden. Verben, wie kennen, nennen, aufzählen werden eher in den niedrigeren Leveln genutzt. Verben wie erläutern, beschreiben, anwenden beschreiben Kompetenzen in höheren Leveln. Die stärkste Ausprägung einer Kompetenz liegt dann vor, wenn Andere geschult werden können. Hier kommen die Verben wie z. B. schulen, vermitteln, beraten zur Anwendung.

Wie aus der Übersicht zur Verbreitung des GPS-Systems in Deutschland (siehe Abschnitt 2.1.5) ersichtlich ist, werden GPS-kompetenzbasierte Learning Outcomes derzeit nur ganz vereinzelt in Curricula oder Modulbeschreibungen angewendet.

#### 6.5.4 Ausbildungsinhalte und Anwendungsbeispiele in den fünf Levels

##### Hypothese 4:

Je höher Fachkräfte in den Ausbildungslevel steigen, desto mehr unternehmensspezifische GPS-Inhalte und -Anwendungsbeispiele müssen vorhanden sein.

Das entwickelte Ausbildungskonzept sieht fünf verschiedene Schwierigkeitslevel vor. Zu Beginn erhalten die Lernenden einen Überblick über das GPS-System, deren Inhalte und Ziele, die damit verfolgt werden sowie einige wichtige Anwendungsbedingungen. Ab dem Level 2 werden GPS-Inhalte den Lernenden vermittelt, welche im Level 3 ergänzt und umfangreich geübt werden. Perspektivisch ist es vorgesehen, bis Level 3 fachkräftespezifisch an Berufsschulen, Hochschulen, Universitäten und sonstigen Weiterbildungseinrichtungen GPS-Experten auszubilden. Da hier oft die Lernenden ohne einen bestimmten Unternehmensbezug ausgebildet werden, müssen die Übungsszenarien neutral und allgemeingültig konzipiert, aber ein breites Anwendungsspektrum abdecken. Dafür wurde der Sterlingmotor ausgewählt und die Einzelteile bereits konstruiert und spezifiziert. Der Sterlingmotor bietet mit den Einzelteilen Basisplatte, Kolben, Kaltzylinder, Kreuzkopf, Warmzylinderwelle usw. eine ideale Grundvoraussetzung, möglichst viele Anwendungsfälle abzudecken. Die verschiedenen Einzelteile sowie die Baugruppe selbst als Ganzes, bieten einen guten Umfang, um die bis Level 3 theoretisch erworbenen Kenntnisse anzuwenden und zu üben. Die Zeichnungen wurden in Ebenen mit unterschiedlichen Spezifikationen aufgebaut, was derzeit in den aktuellen Schulungen noch nicht zur Anwendung kommt. So kann die Anwendung der Allgemeintoleranzen an verschiedenen Werkstücken geübt werden, ohne dass die Spezifikation zu komplex ist, da z. B. keine Form- und Lagetoleranzen, Oberflächenangaben usw. enthalten sind. Außerdem kann mit diesen reduzierten Spezifikationen die Vorgehensweise erläutert und geübt werden.

Ab dem Level 4 soll der GPS-Spezialist das von Level 1 bis 3 erworbene Wissen eigenständig in Variantenkonstruktionen, Änderungen bestehender Spezifikationen sowie kompletten Neukonstruktionen umsetzen können.

Das Level 5 soll den GPS-Hauptverantwortlichen vorbehalten sein. Das heißt, in KMU ist es ausreichend einen GPS-Hauptverantwortlichen einzusetzen. Dieser hat den Gesamtüberblick über das GPS-System, bildet sich über die GPS-Community weiter und schult intern neue Normeninhalte, berät bei der Anwendung der GPS-Sprache, trifft Entscheidungen zur unternehmensspezifischen Schulungsinhalten.

#### 6.5.5 Lernzieltaxonomie zur Reifegradbeschreibung verwenden

##### Hypothese 5:

Wenn ein Reifegradmodell zur Bewertung des GPS-Einführungsfortschrittes genutzt wird, dann muss die Lernzieltaxonomie in den Reifegradstufen angewendet werden.

Das GPS-Reifegradmodell wurde für die Bewertung des Integrationsprozesses und damit auch für die Wirksamkeitsbewertung des Ausbildungskonzeptes entwickelt. Das Reifegradmodell besteht aus Dimensionen, Indikatoren und Reifegradstufen. Die Dimensionen sind die 12 Kategorien und die Indikatoren sind die 39 Unterkategorien. Der Reifegrad beginnt, entsprechend dem Ausbildungskonzept, bei Level 1, dem Anfänger, und endet bei Level 5, dem Master. Da das Ausbildungskonzept, wie in Abschnitt 5.2.5 und 5.2.6 beschrieben, auf Learning Outcomes basiert, welche mit der Lernzieltaxonomie eindeutig beschrieben worden sind, müssen auch diese Learning Outcomes in den Reifegradstufen zu finden sein. In den Reifegradstufen werden diese Learning Outcomes als GPS-Kompetenzen bezeichnet. Für die eindeutige Formulierung wird auch hier die Lernzieltaxonomie angewendet. Das heißt, es besteht eine Übereinstimmung zwischen den Learning Outcomes in den 5 Schwierigkeitslevel des Ausbildungskonzeptes und den GPS-Kompetenzen in den 5 Reifegradstufen. Da das Ausbildungskonzept auch Teil der Roadmap und damit des Einführungsprozesses ist, ist das Reifegradmodell auch Teil der Roadmap. Jedoch wird die Anwendung des Reifegradmodells nicht explizit in der Roadmap gefordert.

Kritisch anzumerken ist, dass die Gefahr beim Erreichen des höchsten Reifegrades darin besteht, es als stabile und sichere Position anzusehen und keine Weiterentwicklung zu fördern. Reifegradmodelle sollten als Anstoß und Katalysator für strategische Planungen sowie Verbesserungen genutzt werden, aber niemals als Ausrede für Stillstand. [Com 2022]

Mit dem Reifegradmodell wurde erstmals ein Bewertungsinstrument geschaffen, mit welchem es möglich ist, Kompetenzen des GPS-Systems objektiv zu bewerten. Damit die Bewertung eindeutig ist, wurden die Kompetenzen mit Hilfe der Lernzieltaxonomie formuliert.

#### 6.5.6 Beantwortung der Forschungsfrage

Forschungsfrage:

Was ist erforderlich, um das ISO GPS-System in ein Unternehmen zu integrieren?

Zur Beantwortung der Forschungsfrage, wurde sich im Rahmen dieser Dissertationsschrift umfassend mit der Komplexität und aktuellen Anwendung des ISO GPS-Systems auseinandergesetzt. Es wurde der systemische Charakter herausgestellt, der vor allem darin begründet ist, dass das System nicht nur einzelne Fachkräfte oder Abteilungen betrifft, sondern im gesamten Produktentstehungsprozess inkl. deren Verifikation und über die Unternehmensgrenzen, z. B. bei Lieferanten hinaus anzuwenden ist. Es wurden Vergleiche zu anderen Systemen und zu anderen Disziplinen im unternehmerischen Kontext gemacht, um bereits entwickelte Methoden, Vorgehensweisen oder Werkzeuge zu identifizieren und zu adaptieren. Als Lösungsansatz wurde ein geschlossener Kreislauf aus „Handeln und Verändern“, „Lernen und Verstehen“ sowie „Erkennen und Verbessern“ formuliert. Zur Umsetzung dieser Tätigkeiten und damit zum erfolgreichen Integrieren des ISO GPS-Systems wurden

- eine GPS-Roadmap,
- ein GPS-Aus- und Weiterbildungskonzept und
- ein GPS-Reifegradmodell

entwickelt und die praktikable Umsetzung in einigen wenigen Unternehmen getestet.

Die fünf Hypothesen und deren kritische Diskussion in den Abschnitten 6.5.1 bis 6.5.5 unterstreichen das Ergebnis, dass ein gelebtes GPS-System nur durch ein strukturiertes Vorgehen (GPS-Roadmap), modularisierter Ausbildung (GPS-Aus- und Weiterbildungskonzept) und regelmäßiger Bewertung der Reife (GPS-Reifegradmodell) erreicht werden kann.



*„Die Zukunft soll man nicht voraussehen wollen, sondern möglich machen.“*

*-Antoine de Saint-Exupery-*

## **7 Zusammenfassung und Ausblick**

### **7.1 Zusammenfassung**

In dieser Dissertationsschrift wurde für ein gelebtes GPS-System eine Symbiose aus Integrationsvorgehen, Aus- und Weiterbildungskonzept sowie Reifegradmodell beschrieben. Die Komplexität des ISO GPS-Systems ist in den letzten Jahren enorm gestiegen. Ein Umdenken in der Normungsarbeit vom beispielbasierten Tolerieren hin zum regelbasierten Beschreiben der geometrischen Eigenschaften, die mathematischen Beschreibungen für eine Maschinenlesbarkeit und der Anspruch unterschiedlichste Materialien, Fertigungsverfahren sowie die Verifikation in einem System zu vereinigen, haben u. a. dazu beigetragen. Relative kurze Überarbeitszyklen, Ändern von bestehenden Inhalten und Überführen in neue Nummerierungen sowie Zurückziehen von für die Industrie bewährten Inhalten, erschweren die Anwendung zusätzlich. Für die Unternehmen ist es dadurch fast unmöglich geworden, das GPS-System zu überblicken und Teile davon gezielt anzuwenden. Heute ist die Geometrische Produktspezifikation ein interdisziplinäres System, welches als eine komplexe, hoch entwickelte geometrische Sprache zwischen Experten aus allen Unternehmensbereichen agiert. Aus diesem Grund umfasst die Anwendung des GPS-Systems den gesamten Produktentstehungsprozess, inklusive der Schnittstelle zu den Lieferanten.

Aufgrund von Unkenntnis, Fachkräftemangel, aktuellen Herausforderungen hinsichtlich Pandemie, Klima oder Energie und unzureichenden Ausbildungsstandards wird das System in Deutschland derzeit in sehr wenigen Unternehmen angewendet. Neben der Abbildung des Standes der Technik, ergeben sich Chancen in der Reduzierung von Mehrdeutigkeiten, damit auch die Reduzierung von Diskussionen, Reklamation, Ausschuss und durch die funktionsorientierte Spezifikation können „Angsttoleranzen“ vermieden werden. Durch die intensive Auseinandersetzung mit der Funktion der Werkstücke wird die interne und externe Kommunikation verbessert und in einigen Fällen ergeben sich dadurch kostengünstigere Herstellverfahren. Außerdem ist die Anwendung des GPS-Systems eine elementare Vorbereitung auf Zukunftsthemen und

die Voraussetzung für die Digitalisierung im Unternehmen. Eine bessere Datendurchgängigkeit sowie die Nutzung digitaler Zwillinge wird dadurch ermöglicht. Diese Dissertationsschrift leistet einen erheblichen Anteil, das GPS-System bekannter zu machen, Transparenz in den Einführungsprozess zu bringen, die Ausbildung zu standardisieren und vorhandene Kompetenzen objektiv zu bewerten.

Die dargestellte Roadmap, das beschriebene Ausbildungskonzept sowie das entwickelte Reifegradmodell bieten die optimale Grundlage, das ISO GPS-System im Unternehmen nachhaltig einzuführen. Mit Hilfe der beschriebenen „Schritt für Schritt“- Integrationsstrategie in der Roadmap wird eine Komplexitätsreduzierung erreicht, welche den Aufwand für die Einführung des GPS-Systems überschaubar macht. Durch die ganzheitliche Vorgehensweise mit lexikalischer Erarbeitung des Wissens und fortlaufender Reifegradbewertung werden die Unternehmen befähigt, zukünftige Neuerungen im GPS-System selbstständig umzusetzen. Eng verzahnt mit dem Ausbildungskonzept ergänzt das vorgestellte Reifegradmodell den GPS-Einführungs- und Anwendungsprozess. Insgesamt bietet das Reifegradmodell einen methodischen Bezugsrahmen für die Bestimmung des Reife der Anwendung des ISO GPS-Systems.

## **7.2 Weiterführende Ansätze und Empfehlungen**

Mit der GPS-Roadmap, dem GPS-Aus- und Weiterbildungskonzept sowie dem GPS-Reifegradmodell wurde erstmals versucht, Strukturen und Vorgehensweise für ein gelebtes GPS-System zu beschreiben. Im Sinne des aktuellen Verständnisses für fortlaufende Verbesserung, ist zahlreiches Optimierungspotenzial vorhanden. Zum einen, müssen für die entwickelten Konzepte Wege und Plattformen gefunden werden, um die Ergebnisse einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Zum anderen müssen die Ergebnisse weiter intensiv mit Praxispartnern validiert werden, um praxistaugliche Verbesserungsvorschläge zu erhalten.

Für die erste Phase der Roadmap, der Initiierungsphase, ist es notwendig den Nutzen des GPS-Systems monetär zu bewerten und einen Return on Investment zu berechnen. Hier kann eine Nutzwertanalyse auf Basis einer Investitionskostenrechnung oder Prozesskostenrechnung Anwendung finden. Dies ermöglicht eine bessere Entscheidungsgrundlage für das obere Management. Außerdem kann mit diesen Ergebnissen ein Betriebskonzept, welches einen Zeit- und Ressourcenplan enthält, praxisnah erstellt werden. Parallel dazu muss sich jede Führung mit den Chancen und Risiken

einer GPS-Einführung auseinandersetzen. Dafür ist es erforderlich Methoden, wie z. B. die SWOT-Analyse zu testen und Argumente zusammenzustellen.

Weitere Forschungsaktivitäten müssen hinsichtlich der Standardisierung der Ausbildungsinhalte intensiviert werden. Es ist von elementarer Bedeutung, dass sowohl für die berufliche und universitäre Erstausbildung, als auch für die Weiterbildung, die GPS-Kompetenzen standardisiert werden. Darüber hinaus müssen sie allen Entscheidungsträgern zugänglich gemacht werden, Inhalte müssen in Tabellenbüchern und weiteren Regelwerken transparent abgebildet werden. Ein Kompetenzrahmen als verbindliches Modell, welcher beschreibt, welche GPS-Kompetenzen und in welcher Tiefe die unterschiedlichen Fachkräftegruppen benötigen, könnte die notwendige Transparenz in der Aus- und Weiterbildung schaffen. Dieser Kompetenzrahmen kann parallel Grundlage für die Lehrpläne der Ausbildungsberufe, Modulbeschreibungen an Berufsakademien, Fachhochschulen oder Universitäten oder der beruflichen Weiterbildung sein. Ein weiterer zukünftiger Forschungsschwerpunkt sollte die digitalisierte GPS-Ausbildung sein. Die GPS-Ausbildung von morgen wird digitaler, intuitiver, arbeitsplatz- und fachkräftebezogen sein. Dafür müssen bereits zeitnah die Weichen gestellt werden.

Da Reifegradmodelle in der Regel scheitern, wenn sie zu komplex sind und daher in der Praxis nicht anwendbar sind, muss eine Komplexitätsreduzierung nach dem „one size fits all“-Prinzip erreicht werden. Hierfür wäre eine Überarbeitung hin zu einem GPS-Reifegradmodell „light“ mit jeweils wenigen Schlagworten pro Indikator pro Level möglich. Das bedeutet, dass für die 39 Indikatoren sich 195 Auswahlmöglichkeiten ergeben, welches eine deutliche Reduzierung gegenüber den knapp 600 Kompetenzen des aktuellen Reifegradmodells bedeutet. Auch bei dem Reifegradmodell bietet eine Webversion die Chance, allen Interessierten die GPS-Kompetenzen zugänglich zu machen und als „Light-Version“ eine schnelle und niederschwellige Möglichkeit zum Erfassen des aktuellen Standes zu ermöglichen. Für eine perspektivische digitalisierte modularisierte GPS-Ausbildung kann das im Rahmen dieser Dissertationsschrift beschriebene Reifegradmodell als Navigator genutzt werden. Außerdem ist es die Basis für eine faktengestützte Entscheidungsfindung im Rahmen des Weiterbildungsprozesses. Es wird durch die Nutzung Transparenz hergestellt und die GPS-Roadmap wird nachhaltig unterstützt. Auch eine Anwendung im Rahmen der Lieferantenbewertung ist möglich und muss noch validiert werden.

## **Anlagen und Verzeichnisse**

### Verzeichnisse

- Literaturverzeichnis
- Abbildungsverzeichnis
- Tabellenverzeichnis
- Anlagenverzeichnis

---

## Literaturverzeichnis

- [Ahlemann et al. 2005]  
Ahlemann, Frederik; Schroeder, Christine; Teuteberg, Frank; *Kompetenz- und Reifegradmodelle für das Projektmanagement: Grundlagen, Vergleich und Einsatz*, Osnabrück. Univ. FB Wirtschaftswiss. Organisation u. Wirtschaftsinformatik, 2005.
- [Akk 2013]  
Akkasoglu, Gökhan; *Methodik zur Konzeption und Applikation anwendungsspezifischer Reifegradmodelle unter Berücksichtigung der Informationsunsicherheit*, Erlangen-Nürnberg, 2013, Dissertation, Erlangen-Nürnberg.
- [Akkasoglu et al. 2013]  
Akkasoglu, Gökhan; Weckenmann, Albert; *Methodic Design of a Customized Maturity Model for Geometrical Tolerancing*, in: *Procedia CIRP*, 10, 2013, S. 119–124.
- [Amm 2021]  
Ammon, Ernst; *Wie sollte ein GPS-Projekt geplant werden: Implementierungskonzept - Überblick*, Chemnitz, November 2021. GPS Newsmeeting, November 2021.
- [Becker et al. 2009]  
Becker, Jörg; Knackstedt, Ralf; Pöppelbuß, Jens; *Entwicklung von Reifegradmodellen für das IT-Management*, in: *WIRTSCHAFTSINFORMATIK*, 51, 2009, S. 249–260.
- [Beedle et al. 2020]  
Beedle, Mike; van Bennekum, Arie; Cockburn, Alistair; Cunningham, Ward; Fowler, Martin; Highsmith, Jim; Hunt, Andrew; Jeffries, Ron; Kern, Jon; Marick, Brian; Martin, Robert C.; Schwaber, Ken; Sutherland, Jeff; Thomas, Dave; *Manifest für Agile Softwareentwicklung*, 09.06.2020, <https://agilemanifesto.org/iso/de/manifesto.html>.  
Abgerufen am 16.11.2022.
- [Ben 2013]  
Bensiek, Tobias; *Systematik zur reifegradbasierten Leistungsbewertung und -steigerung von Geschäftsprozessen im Mittelstand*, Paderborn, 4. März 2013, Dissertation, Paderborn.
- [Ben 2018]  
Bennekum, Arie von; *Integrated Agile Transformation Model (IATM)*, 2018, <https://integratedagile.com/iatm/>.  
Abgerufen am 17.08.2022.
- [Bit 2018]  
Bitkom e.V.; *Reifegradmodell Digitale Prozesse 2.0*, 14.12.2018, <https://www.bitkom.org/Themen/Technologien-Software/Digital-Office/Reifegradmodell-Digitale-Geschaeftsprozesse.html>.  
Abgerufen am 26.11.2022.
- [Bloom et al. 2013]  
Bloom, B. S.; Engelhart, M. D.; Furst, E. J.; Hill, W. H.; Krathwohl, D. R.; *Taxonomy of educational objectives: the classification of educational goals. I: Cognitive Domain* New York, Shortmans, Green., 2013.
- [Brabec et al. 2021]  
Brabec, Daniel; Reißler, Ludwig; Stenzel, Andreas; *Einführung in die Geometrische Produktspezifikation*, 1. Auflage, Haan-Gruiten. Verlag Europa-Lehrmittel Nourney Vollmer GmbH & Co. KG, 2021.
- [Bruin et al. 2005]  
Bruin, Tonia de; Freeze, Ron; Kulkarni, Uday; Rosemann, Michael; *Understanding the Main Phases of Developing a Maturity Assessment Model*, Sydney, 29. Nov - 2 Dec 2005.
- [Cam 2007]  
Camp, Robert C.; *Benchmarking: The search for industry best practices that lead to superior performance*, University Park, Il. Productivity Press, 2007.

- [Cap 2022]  
Capterra Inc.; *Flowchart Software*, 02.12.2022, <https://www.capterra.com/de/directory/31060/flowchart/software>.  
Abgerufen am 02.12.2022.
- [CAP 2022]  
CAPTIME GmbH; *CAPTIVE - Agile Führung zielorientiert stärken*, 14.11.2022, <https://www.captive.de/agile-f%C3%BChrung-emotional-st%C3%A4rken>.  
Abgerufen am 14.11.2022.
- [Christiansen et al. 2010]  
Christiansen, Sven-Kelana; Gausemeier, Jürgen; *Klassifikation von Reifegradmodellen*, in: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 105, 2010, S. 344–349.
- [Cit 2021]  
Citavi 6; *Handbuch*, 2021, <https://www1.citavi.com/sub/manual6/de/index.html>.  
Abgerufen am 17.08.2022.
- [Com 2022]  
Compton, Jim; *Reifegradmodelle und ihre Risiken*, 06.08.2022, <https://moravia.rws.com/de/blog/on-the-dangers-of-maturity-models>.  
Abgerufen am 07.08.2022.
- [Cro 1979]  
Crosby, Philip B.; *Quality is free: The art of making quality certain*, New York. McGraw-Hill, 1979.
- [DGQ 2018]  
DGQ e.V.; *Systematisch agil final: Wie agile Prozesse in ein Managementsystem nach ISO 9001:2015 integriert werden können*, Oktober 2018.
- [Die 2019]  
Diehl, Andreas; *Agilität im Unternehmen – Die hohe Kunst, mit Dynamik und Komplexität umzugehen*, in: *Andreas Diehl*, 13. Juni 2019.
- [DIN 2022]  
DIN e.V.; *Entstehung einer Norm*, 2022, <https://www.din.de/de/ueber-normen-und-standards/din-norm>.  
Abgerufen am 23.08.2022.
- [Drack et al. 2021]  
Drack, K.; Saal, M.; Dröge, J.; Endres, G.; Gerlach, K.; Gockel, A.; Wehrmann, M.; Kea, J.; Nowoczin, J.; Osthoff, I.; *Impulse für digitale Arbeitswelten: 14 Impulse für Veränderungen in einer digitalisierten Arbeitswelt*, 1. Auflage, Offenbach. Jünger Medien, 2021.
- [Drescher et al. 2019a]  
Drescher, Ute; Peters, Anne; Klaiber, Eberhard; Phung, Kien Jiu; Hübsch, Tobias; *Wie Festo die Umsetzung der GPS-Normen eingeführt hat*, in: *konstruktionspraxis*, 18. November 2019.
- [Drescher et al. 2019b]  
Drescher, Ute; Läßle Dr.-Ing., Volker; *Warum Sie Geometrische Produktspezifikationen richtig anwenden sollten*, in: *konstruktionspraxis*, 10. April 2019.
- [EFQ 2021]  
EFQM; *Das EFQM Modell: Enthält ergänzende Informationen zu Anwendungsbeispielen, RADAR und Bewertungsprofilen*, 2. Auflage, 2021.
- [EFQ 2022]  
EFQM; *EFQM Assess Base*, 16.06.2022, <https://assessbase.digitalefqm.com/>.  
Abgerufen am 11.08.2022.
- [Ege 2016]  
Egeli, Martin; *Erfolgsfaktoren von Mobile Business: Ein Reifegradmodell zur digitalen Transformation von Unternehmen durch Mobile IT*, Wiesbaden. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016.
- [ela 2022]  
elaboratum GmbH NEW COMMERCE CONSULTING; *Agile Readiness-Quick Check | elaboratum*, 16.08.2022, <https://www.elaboratum.de/agile-quick-check/>.  
Abgerufen am 16.08.2022.

- [Erp 2017]  
Erpenbeck, John; *Handbuch Kompetenzentwicklung im Netz: Bausteine einer neuen Lernwelt*, 1. Auflage, Freiburg. Schäffer-Poeschel Verlag für Wirtschaft Steuern Recht GmbH, 2017.
- [Erpenbeck et al. 2003]  
Erpenbeck, John; Rosenstiel, Lutz von (Hrsg.); *Handbuch Kompetenzmessung: Erkennen, verstehen und bewerten von Kompetenzen in der betrieblichen, pädagogischen und psychologischen Praxis*, Stuttgart. Schäffer-Poeschel, 2003.
- [EU 2018]  
EU Programm Erasmus+; *Projektbeschreibung GPS&V-Toolbox: Geometrical Product Specification and Verification as toolbox to meet up-to-date technical requirements*, 2018, <https://erasmus-plus.ec.europa.eu/projects/search/details/26cb5986-4e27-4b16-a3f3-f77e22354e1a>.  
Abgerufen am 13.08.2022.
- [Eur 2003]  
Europäische Kommission; *betreffend der Definition der Kleinstunternehmen sowie der kleinen und mittleren Unternehmen: 2003/361/EG*, 6.5.2003.
- [Gibson et al. 1974]  
Gibson, Cyrus F.; Nolan, Richard; *Managing the Four Stages of EDP Growth*, 1974, <https://hbr.org/1974/01/managing-the-four-stages-of-edp-growth>.  
Abgerufen am 02.09.2022.
- [GPS 2015]  
GPS&V; GPSV | *Geometrical Product Specification and Verification as toolbox to meet up-to-date technical requirements*, 2015, <http://gpsvtoolbox.ath.eu/>.  
Abgerufen am 13.08.2022.
- [Gra 2015]  
Graf, Michael; *Das Reifegradmodell von Hersey & Blanchard und seine praktischen Implikationen für die Personalführung: Ist der situative Führungsstil praxistauglich?*, München. GRIN Verlag GmbH, 2015.
- [Grö 2013]  
Gröger, Sophie; *Funktionsgerechte Spezifikation geometrischer Eigenschaften mit dem System der Geometrischen Produktspezifikation und -verifikation*, Chemnitz, 10.1.2013, Habilitation, Chemnitz.
- [Gro 2015]  
Grolman, Florian; *Die 14 wichtigsten Change Management Erfolgsfaktoren*, in: initio Organisationsberatung, 4. August 2015.
- [Große-Schwiep et al. 2020]  
Große-Schwiep, Birgit; Bensberg, Frank; Schinnenburg, Heike; *Entwicklung eines Reifegradmodells zur Bewertung des Digitalisierungsgrades von Geschäftsprozessen*, in: Anwendungen und Konzepte der Wirtschaftsinformatik, 2020.
- [Gust et al. 2019]  
Gust, Peter; Sersch, Alina; Steger, Tobias; Schluer, Christoph; *Analysis of Approaches of Tolerance Allocation regarding to Economic Efficiency*, in: Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design, 1, 2019, S. 3481–3490.
- [Gust et al. 2020]  
Gust, Peter; Sersch, Alina; *Geometrical Product Specifications (GPS): A Review of Teaching Approaches*, in: Procedia CIRP, 92, 2020, S. 123–128.
- [Gust et al. 2022]  
Gust, Peter; Sersch, Alina; Grafen, Niclas; *Praxisbericht: Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Eine Analyse der Anwendungssituation an technischen Berufskollegs in NRW*, in: Journal of Technical Education (JOTED), 10, 2022, S. 72–87.
- [Häu 2020]  
Häusling, André; *Agile Organisationen: Transformationen erfolgreich gestalten Beispiele agiler Pioniere*, 2. Auflage, Freiburg. Haufe-Lexware GmbH & Co. KG, 2020.

- [Hellge et al. 2019]  
Hellge, Viola; Schröder, Delia; Bosse, Christian; *Der Readiness-Check Digitalisierung: Ein Instrument zur Bestimmung der digitalen Reife in KMU*, Kaiserslautern, 2019.
- [Hen 2011]  
Henzold, Georg; *Form und Lage*, 3. Auflage, Berlin, Wien, Zürich. Beuth, 2011.
- [Heyse et al. 2004]  
Heyse, Volker; Erpenbeck, John; Max, Horst; *Kompetenzen erkennen, bilanzieren und entwickeln*. Waxmann Verlag, 2004.
- [Hof 2020]  
Hofmann, Robert; *Forschungsprojekt GPSlife: Entwicklung einer reifegradbasierten Roadmap zur Integration der Geometrischen Produktspezifikation in KMU*, Chemnitz, Forschung | Professur Fertigungsmesstechnik | IWP | Fakultät Maschinenbau | TU Chemnitz, 2020, <https://www.tu-chemnitz.de/mb/FertMessTech/forschung/gpslife/>.  
Abgerufen am 14.11.2022.
- [HR 2019]  
HR Pioneers GmbH; *Das Pioneers Trafo-Modell im Detail erklärt*, 12.09.2019, <https://hr-pioneers.com/leistungen/unsere-beratung/unsere-modelle/pioneers-trafo-modell/>.  
Abgerufen am 11.12.2022.
- [IHK 2022]  
IHK-Siegen; *Das ISO GPS Normensystem*, 04.09.2022, <https://www.ihk-siegen.de/innovation-umwelt-und-energie/innovation-und-technologie/normen/das-iso-gps-normensystem/>.  
Abgerufen am 04.09.2022.
- [ISO 14638]  
Deutsches Institut für Normung e.V.; *DIN EN ISO 14638:2015: Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Matrix-Modell*, 2015. Auflage, Berlin, Dezember 2015.
- [ISO 22081]  
Deutsches Institut für Normung e.V.; *DIN EN ISO 22081:2022: Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Geometrische Tolerierung - Allgemeine geometrische und Größenmaßspezifikationen*, Berlin, Oktober 2022.
- [ISO 8015]  
Deutsches Institut für Normung e.V.; *DIN EN ISO 8015:2011: Konzepte, Prinzipien und Regeln*, 2011. Auflage, Berlin, September 2011.
- [ISO 9004]  
Deutsches Institut für Normung e.V.; *DIN EN ISO 9004:2018, Qualitätsmanagement - Qualität einer Organisation - Anleitung zum Erreichen nachhaltigen Erfolgs*, 2018. Auflage, Berlin, 2018.
- [IW 2022]  
IW Köln Consult GmbH; *Industrie 4.0-Readiness-Check*, 11.08.2022, <https://www.industrie40-readiness.de/>.  
Abgerufen am 11.08.2022.
- [Jak 2021]  
Jakoby, Walter; *Agiles Projektmanagement*, in: Walter Jakoby (Hrsg.), *Projektmanagement für Ingenieure: Ein Praxislehrbuch für den systematischen Projekterfolg*, 5. Aufl., Springer Vieweg, Wiesbaden, 2021, S. 355–384.
- [Jün 2016]  
Jüngst, Johannes; *Reifegradmodell zur digitalen Kundeninteraktion im Internet*, Stuttgart, 29.9.2016, Dissertation, Stuttgart.
- [Kem 2018]  
Kemm, Katrin; *Wie führe ich ein QM-System ein?*, 2018, [https://www.dgq.de/fachbeitraege/wie-foehre-ich-ein-qm-system-ein/?gclid=Cj0KCQjwrs2XBhDjARIsAHVymmQiDmKKPj3NwLIML-baF7asrgViJ6jHBaLaJ4-Oic62ktXMGKXLTr8aAmOsEALw\\_wcB](https://www.dgq.de/fachbeitraege/wie-foehre-ich-ein-qm-system-ein/?gclid=Cj0KCQjwrs2XBhDjARIsAHVymmQiDmKKPj3NwLIML-baF7asrgViJ6jHBaLaJ4-Oic62ktXMGKXLTr8aAmOsEALw_wcB).  
Abgerufen am 10.08.2022.
- [Kör 2021]  
Körner, André; *Strategisch Personal entwickeln: Kompetenzmodelle und Kompetenzentwicklung*,



- in: , *Strategische Nachfolgeplanung in Non-Profit-Organisationen*, Springer Gabler, Berlin, Heidelberg, 2021, S. 71–92.
- [Kri 2016]  
Krieg, Alexander; *Reifegradmodell für agile Unternehmensentwicklung (Agile Maturity Model)*, in: Engstler, Martin, Fazal-Baqaie, Masud, Hanser, Eckhart, Linssen, Oliver, Mikusz, M. & Volland, A. (Hrsg.), *Projektmanagement und Vorgehensmodelle*, Bonn, 2016, S. 1617–5468.
- [Krumm et al. 2012]  
Krumm, Stefan; Mertin, Inga; Dries, Christian; *Kompetenzmodelle*, 1. Auflage, Göttingen. Hogrefe Verlag, 2012.
- [Küh 2020]  
Kühnle, Sebastian; *Reifegradmodelle in der Industrie 4.0: Entwicklung eines Referenzmodells zur reifegradbasierten Ermittlung des Digitalisierungsgrades in einem Unternehmen in der Bauindustrie*, 25.07.2020, Masterarbeit.
- [Kus 2018]  
Kusay-Merkle, Ursula; *Agiles Projektmanagement im Berufsalltag*, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg, 2018.
- [Lahrmann et al. 2011]  
Lahrmann, Gerrit; Marx, Frederik; Mettler, Tobias; Winter, Robert; Wortmann, Felix; *Inductive Design of Maturity Models: Applying the Rasch Algorithm for Design Science Research*, in: Lecture Notes in Computer Science, 2011, S. 176–191.
- [Len 2012]  
Lenz, Günter; *Reifegradmodell: Prozesse verbessern und bewerten mit Reifegraden*, in: b-wise, 10. April 2012.
- [Ler 2010]  
Lersch, Rainer; *Wie unterrichtet man Kompetenzen?: Didaktik und Praxis kompetenzfördernden Unterrichts*, Wiesbaden, Mai 2010, [www.iq.hessen.de](http://www.iq.hessen.de).
- [Lichtblau et al. 2015]  
Lichtblau, Karl; Stich, Volker; Bertenrath Dr., Roman; Blum, Matthias; Bleider, Martin; Millack, Agnes; Schmitt, Katharina; Schmitz, Edgar; Schröter, Moritz; *Industrie 4.0 - Readiness: Forschungsvorhaben gefördert von der Impuls-Stiftung des VDMA*, Oktober 2015.
- [Lon 2021]  
Longmuir, Russell; *Das EFQM Modell*, 2. Auflage, 2021.
- [Loyal et al. 2022]  
Loyal, Dominique; Medina, Mela; Nef, Michael; *Iterative Leader – die Suche nach dem bestmöglichen Ich: Leadership Essenzen*, Zürich, Züricher Hochschule der Künste, 14.11.2022, <https://essenzen.designleadership.zhdk.ch/essenzen2018/iterative-leader/>.  
Abgerufen am 14.11.2022.
- [Mas 2009]  
Maschinenbau-Community; *Der Maschinenbau-Blog | News und Blog von Maschinenbau-Wissen.de*, 2009, <https://www.maschinenbau-wissen.de/>.  
Abgerufen am 24.08.2022.
- [Mat 2020]  
Mathijssen, Tim; *Developing a Data Quality Management Maturity Model (DQM3) based on Critical Success Factors*, Utrecht, Juli 2020, Thesis report, Utrecht.
- [Meu 2017]  
Meurer, Peter F.; *Wissenschaftliches Arbeiten mit Citavi 6: Hinweise zum Schreiben wissenschaftlicher Arbeiten mit der Software »Citavi – Literaturverwaltung und Wissensorganisation«*, Wädenswil, 2017.  
Abgerufen am 11.10.2017.
- [Mol 2019]  
Moll, André; *Neuerungen des EFQM-Modells 2020*, 11.11.2019, 11. November 2019.

- [Morse et al. 2018]  
Morse, Edward P.; Shakarji, Craig M.; Srinivasan, Vijay; *A Brief Analysis of Recent ISO Tolerancing Standards and Their Potential Impact on Digitization of Manufacturing*, in: Procedia CIRP, 75, 2018, S. 11–18.
- [N+P 2019]  
N+P Informationssysteme GmbH; *Checkliste für eine erfolgreiche ERP-Einführung: Schritte und Fallstricke eines ERP-Projektes*, 2019, 2019, www.nupis.de.
- [Nie 2012]  
Nielsen, Henrik S.; *The ISO geometrical product specifications handbook: Find your way in GPS*, Charlottenlund. Danish Standards, 2012.
- [Nie 2013]  
Nielsen, Henrik S.; *Recent developments in ISO-GPS Standards and strategic plans for future work*, in: 12th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing, 2013, S. 33–43.
- [Nig 2020]  
Niggemeier, André; *Theoretische Grundlagen von Führungs- und Managementansätzen und die Entwicklung eines an operativen Führungsansätzen orientierten Kompetenzrasters*, in: André Niggemeier (Hrsg.), *Die Führung von morgen: Eine Analyse der akademischen Ausbildung von Führungskräften*, Wiesbaden, Heidelberg, Springer, 2020, S. 75–151.
- [Pet 2019]  
Petersen, Friederike; *LeanCoffee: Wissensaustausch leicht gemacht*, in: D3 - so geht digital, 20. Dezember 2019.
- [Pfeifer et al. 2014]  
Pfeifer, Tilo; Schmitt, Robert (Hrsg.); *Masing Handbuch Qualitätsmanagement*, München. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2014.
- [Pin 2020]  
Pinciroli, Fernando; *A maturity model for the Integrated Agile Transformation Model TM*, in: Conference: IV Congreso Internacional de Ciencias de la Computación y Sistemas de Información - CICCSCI 2020, November 2020.
- [Pro 2022]  
Professur Fertigungsmesstechnik; *Tolerierung von Geometrieabweichungen I & II: Vorlesung und Übung*, 2022.
- [Reh 2004]  
Rehage, Jörg; *Der 7-Stufen-Plan zur ERP-Einführung*, in: IT&Production, 2004, S. 18–20.
- [Rei 2017]  
Reimann, Grit; *Erfolgreiches Qualitätsmanagement nach DIN EN ISO 9001:2015: Lösungen zur praktischen Umsetzung - Textbeispiele, Musterformulare, Checklisten*, 5. Auflage, Berlin, Wien, Zürich. Beuth, 2017.
- [Röp 2021]  
Röper, Thomas; *Allgemeintoleranzen auf dem Prüfstand: Umfrage zur ISO 22081 und DIN ISO 2768*, in: M&T Metallhandwerk und Technik, 2021, Nr. 4.2021, S. 40–41.
- [Rum 2014]  
Rummel, Silvia; *Eine bewertungsbasierte Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung von Technologiekonzepten in der Technologieentwicklung*, Stuttgart, 2014, Dissertation, Stuttgart.
- [Rup 2021]  
Rupp, Chris (Hrsg.); *Requirements-Engineering und -Management: Das Handbuch für Anforderungen in jeder Situation*, 7. Auflage, München. Hanser, 2021.
- [Rupp et al. 2021]  
Rupp, Christine; Cziharz, Thorsten; *Einführungsstrategien – ein Ratgeber für die organisierte REorganisation*, in: Chris Rupp (Hrsg.), *Requirements-Engineering und -Management: Das Handbuch für Anforderungen in jeder Situation*, 7. Aufl., München, Hanser, 2021, S. 523–548.
- [San 2017]  
Sander, Birke; *Didaktische Reduktion in der kompetenzorientierten Lehrgestaltung: Workshops on*

- demand*, 1/2017, 2017, [www.workshopson.org](http://www.workshopson.org).  
Abgerufen am 7.8.2022.
- [Sän 2021]  
Sänger, Elmar; *Bewährte Online-Tools zur Kollaboration agiler Teams*, 2021, <https://saenger-projektmanagement.de/tools-zur-online-kollaboration-im-ueberblick/>.  
Abgerufen am 13.08.2022.
- [Schröder et al. 2003]  
Schröder, Jens; Eversheim, Walter; *Benchmarking von Entwicklungsbereichen im Maschinenbau: Fakultät für Maschinenwesen*, 2003.
- [Schütte et al. 2020]  
Schütte, Wolfgang; Jorden, Walter; *Form- und Lagetoleranzen: Geometrische Produktspezifikationen (ISO GPS) in Studium und Praxis*, 10. Auflage, München. Hanser, 2020.
- [Sersch et al. 2017]  
Sersch, Alina; Gust, Peter; *Empirische Untersuchung zur Überprüfung des Anwendungsgrades der Geometrischen Produktspezifikation (GPS)*, 2017. 3. Summer School Toleranzmanagement, 2017.
- [Soc 2022]  
Society for Knowledge Organization ISKO; <https://isko-de.org/beitraege/dahlberg-definition>, 31.10.2022, <https://isko-de.org/beitraege/dahlberg-definition/>.  
Abgerufen am 31.10.2022.
- [Solli-Sæther et al. 2010]  
Solli-Sæther, Hans; Gottschalk, Petter; *The Modeling Process for Stage Models*, in: Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce, 20, 2010, S. 279–293.
- [Spe 1992]  
Spendolini, Michael J.; *The Benchmarking Book*, New York. American Marketing Association, 1992.
- [Sta 2020]  
Stark, Teresa; *Konzeptstudie für die Einführung des ISO-GPS-Normensystems*, Ulm, März 2020, Bachelorarbeit, Ulm.
- [Stark et al. 2009]  
Stark, Rainer; Lindow, Kai; Beier, Grischa; Kind, Christian; Özgen, Kaan; *Quantitative Studien über die Nutzung informationstechnischer Systeme im Produktentstehungsprozess*, Berlin, 2009. 7. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik 2009, 2009.
- [Str 2016]  
Streich, Richard K.; *Fit for Leadership: Führungserfolg durch Führungspersönlichkeit*, 2. Auflage, Wiesbaden. Springer Gabler, 2016.
- [tru 2022]  
trusted GmbH; *Flowchart Software: Die 11 besten Tools 2022 im Vergleich*, 02.12.2022, <https://trusted.de/flowchart>.  
Abgerufen am 02.12.2022.
- [Ulr 1998]  
Ulrich, Peter; *Organisationales Lernen durch Benchmarking*, Wiesbaden. Dt. Univ.-Verl.; Gabler, 1998.
- [Uni 2022]  
Universität Bielsko-Biała; *Lernplattform*, Polen, Universität Bielsko-Biała, 2022, <https://e-uczelnia.ath.bielsko.pl/>.  
Abgerufen am 13.08.2022.
- [Vajna et al. 2009]  
Vajna, Sándor; Hehenberger, Peter; Weber, Christian; Bley, Helmut; Zeman, Klaus; *CAX für Ingenieure: Eine praxisbezogene Einführung*, 2. Auflage, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- [VDI 4000-1]  
VDI/VE 4000, Blatt 1; *Auswahl von Industrie-4.0-Reifegradmodellen zur digitalen Transformation produzierender Unternehmen: Grundlagen*, März 2022.

[VDI 4000-3]

VDI/VDE 4000, Blatt 3; *Auswahl von Industrie-4.0-Reifegradmodellen zur digitalen Transformation produzierender Unternehmen: Fallbeispiele*, April 2022.

[Wagire et al. 2021]

Wagire, Aniruddha Anil; Joshi, Rohit; Rathore, Ajay Pal Singh; Jain, Rakesh; *Development of maturity model for assessing the implementation of Industry 4.0: learning from theory and practice*, in: *Production Planning & Control*, 32, 2021, S. 603–622.

[Wei 2002]

Weinert, Franz E. (Hrsg.); *Leistungsmessungen in Schulen*, 2. Auflage, Weinheim. Beltz, 2002.

[Wessing et al. 2022]

Wessing, Simon; Müller, Eckehard; *Produktion der Zukunft – Reifegradmodell als Analyseinstrument*, in: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 117, 2022, S. 410–414.

[Wir 2017]

Wirtschaftslexikon; *"System": Begriffserklärung*, 2017, <http://www.wirtschaftslexikon24.com/d/system/system.htm>.  
Abgerufen am 10.08.2022.

[zeb 2022]

zeb.rolfes.schierenbeck.associates gmbh; *Agile Readiness Check-up*, 19.09.2022, <https://bankinghub.de/agile-readiness-check-up>.  
Abgerufen am 26.11.2022.

[Zwettler et al. 2021]

Zwettler, Monika; Jung, Dirk; *Warum eindeutige Form- und Lagetoleranzen so wichtig für die Konstruktion sind*, in: *konstruktionspraxis*, 07/2021, 2021.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau und Gliederung der Dissertationsschrift.....	4
Abbildung 2: Überblick über die Toleranzen für geometrische Eigenschaften [Grö 2013; Pro 2022] .....	9
Abbildung 3: Angabe der Toleranzarten in einer technischen Zeichnung.....	10
Abbildung 4: Ausbildungsträger für das GPS-System in Deutschland.....	16
Abbildung 5: aktuelle Ausbildungsorte für das GPS-System in Deutschland .....	16
Abbildung 6: Screenshot der Toolbox Kapitel 3 [GPS 2015] .....	23
Abbildung 7: Systemlandschaft entlang des Produktentstehungsprozesses (in Anlehnung an [Vajna et al. 2009; Stark et al. 2009]) .....	28
Abbildung 8: schematische Zusammenfassung der Phasen einer Systemeinführung .....	29
Abbildung 9: emotionaler Verlauf des Veränderungsprozesses (vgl. [Str 2016]).....	32
Abbildung 10: Vergleich der Vorgehensweisen [Solli-Sæther et al. 2010; Becker et al. 2009; Bruin et al. 2005; Ege 2016] .....	44
Abbildung 11: vier generische Phasen der Modellentwicklung (in Anlehnung an [Ege 2016]) .....	45
Abbildung 12: Verknüpfung wesentlicher Aspekte für die Anwendung des ISO GPS-Systems.....	53
Abbildung 13: Vorgehensweise GPS-Integrations-Benchmarking.....	62
Abbildung 14: GPS-Integration als Veränderungsprozess .....	69
Abbildung 15: Integrationsvorgehen als Roadmap .....	70
Abbildung 16: Methodenkasten für die Ausgestaltung der einzelnen Phasen des Integrationsvorgehens .....	73
Abbildung 17: GPS-Roadmap .....	74
Abbildung 18: 1. Schritt: Initiierung .....	75
Abbildung 19: 2. Schritt: Vorbereitung .....	76
Abbildung 20: 3. Schritt: Schulung.....	77
Abbildung 21: 4. Schritt: Einführung .....	78
Abbildung 22: Detaillierung des 4. Schrittes .....	78
Abbildung 23: 5. Schritt: Anwendung.....	79
Abbildung 24: 6. Schritt: Weiterentwicklung.....	80
Abbildung 25: Begriff „GPS-Kompetenz“ .....	82

---

Abbildung 26: fünfstufige Aus- und Weiterbildungsstruktur .....	83
Abbildung 27: Vorgehen Clusterung der Normeninhalte .....	87
Abbildung 28: Literaturverwaltung und Wissensorganisation mit Citavi.....	87
Abbildung 29: Wissenselemente in Citavi am Beispiel Entwicklungsingenieur – Level 1 .....	90
Abbildung 30: Vorgehen für die Erstellung GPS-Reifegradmodells (in Anlehnung an [Ege 2016]).....	93
Abbildung 31: Berechnung des Reifegrades innerhalb des Indikators sowie der Dimension.....	97
Abbildung 32: Aufbau des Fragebogens innerhalb der Indikatoren .....	98
Abbildung 33: Fragebogen Kategorie 2.1 „Lineare Größenmaße“.....	99
Abbildung 34: grafische Ausgabe des GPS-Reifegradmodells.....	100
Abbildung 35: Darstellung des GPS-Reifegradmodell mit Bezug zu den GPS- Kategorien .....	101
Abbildung 36: Berechnung des Reifegrades nach Indikatoren und Dimensionen ..	102
Abbildung 37: Screenshot digitaler GPS-Kurs – Level 1 .....	107
Abbildung 38: Zusammenfassung der Ergebnisse .....	111

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Taxonomiestufen (nach [Bloom et al. 2013]) .....	27
Tabelle 2: Phasen des Benchmarking-Prozesses nach [Cam 2007] .....	36
Tabelle 3: primäre und sekundäre Entscheidungskriterien für die Auswahl eines Reifegradmodells nach [VDI 4000-3].....	41
Tabelle 4: Vor- und Nachteile der Modelltypen (in Anlehnung an [VDI 4000-1]).....	43
Tabelle 5 Vergleich von Darstellungstools.....	54
Tabelle 6: Gegenüberstellung ausgewählter Reifegradmodelle .....	58
Tabelle 7: Zusammenfassung der Benchmarking-Ergebnisse .....	65
Tabelle 8: Ergebnisse der Interviews als Successful Practice berechnet .....	68
Tabelle 9: Haupt- und Unterkategorien des GPS-Systems .....	84
Tabelle 10: Anwendung der Lernzieltaxonomie im GPS-System .....	88
Tabelle 11: Entscheidungskriterien für ein GPS-Reifegradmodell .....	92
Tabelle 12: Änderungshistorie Indikatoren Reifegradmodell .....	109

## **Anlagen**

Anlage 1:

Zusammenfassung und Vergleich der Literaturrecherche zu den GPS-Lehrinhalten

Anlage 2:

Gegenüberstellung von Tools zur grafischen Darstellung einer Roadmap

Anlage 3:

Methodenkasten: Vergleich von Zeichnungen, die Lernreflexionsmatrix, Checkliste für die Retrospektive sowie das Kanban-Board

Anlage 4:

Auswahl an Fragebögen des Reifegradmodells, Ergebnisdarstellung und Handlungsempfehlung



## Anlage 1: Zusammenfassung und Vergleich der Literaturrecherche zu den GPS-Lehrinhalte

Schütte et al. 2020	Henzold 2011	Brabec et al. 2021	Nielsen 2012	LV Tolerierung I und II
Grundlagen des Tolerierens Probleme Einflussgrößen Maßtoleranzen und Passungen Tolerierungsgrundsatz Aufbau der Form- und Lage- tolerierung Zeichnungseintragung	Eigenschaften der Oberfläche, Grundlagen der Tolerierung	ISO GPS-System Bedeutung Normensystem Technische Kommunikation Prüftechnik	GPS-Matrix GPS-Philosophie Merkmale drei Welten Dualitätsprinzip Arbeitsweise Operatoren GPS-Matrixsystem	Konzepte des GPS-Systems, Aufbau GPS-System, DIN EN ISO 8015, Geometrische Eigenschaften, Allgemeine Regeln geometrischer Tolerierung
Toleranzarten und Bezüge Überblick Formtoleranzen Bezüge- und Bezugssysteme Profilltoleranzen Richtungstoleranzen Ortstoleranzen Lauftoleranzen	Grundlagen der Form und Lagetolerierung Symbole Toleranzzonen Bezüge Achsen, Symmetrie Neigung, Winkel Linienform-, Flächenformtolerierung	Spezifikation und Modifikation Lineare Größenmaße Hüllbedingung Rangordnungsmaße Berechnete Größenmaße Begrenzte Tolerierung von Geometrielementen Winkelgrößenmaße Lineare Abstände Bezüge und Bezugssysteme Spezifikation durch eine Zone Filterung	Maßtoleranzen Zeichnungsangaben Arten Merkmale Zweipunktmaß Globale Maße Hüllbedingung ISO 286 Nichtgrößenmaßelemente Toleranzzonen 2D 3D Individuelle Toleranzzonen	Tolerierung von Größenmaßen, Hüllbedingung, Allgemeintoleranzen, Tolerierung von Formabweichungen, Aufgaben und Eintragung von Bezügen, Tolerierung von Orts-, Richtungs- und Laufabweichungen

		<p>Toleranzindikator Indikatoren Form- und Lagetolerierung Lehre 3D-Modell</p>	<p>Toleranzsymbole Rund- lauftoleranzen Bezugspunkte und Bezugs- systeme Koordinatensystem Bezugspunkte und Bezugs- merkmale Bezugssysteme</p>	
	<p>Tolerierung von Kegeln Positionstolerierung Projizierte Toleranzzonen Ersatzelement Tolerierung Statistische Tolerierung Einhalten von Form und La- getoleranzen in der Ferti- gung Tolerierungsgrundsatz Prüfung von Form und Lage- abweichungen Funktions-, fertigungs- und prüfgerechtes Tolerieren von Form und Lage</p>		<p>Theoretisch exakte Maße Kombination von Maß- und Formtoleranzen Tolerierung von Kanten, Ra- dien, Fasen</p>	
<p>Allgemeintoleranzen Grundlagen ISO 2768</p>	<p>Tolerierung und Allgemeinto- leranzen</p>		<p>Allgemeintoleranzen Allgemeine Maßtoleranzen</p>	

Für verschiedene Fertigungsverfahren ISO 22081	Für spanend gefertigte Werkstücke Schweißteile Gussstücke Tolerierung von Kanten		Allgemeine geometrische Toleranzen	
Toleranzverknüpfungen Übersicht Maßketten Form- und Lagetoleranzen in Maßketten Maximum-Material-Bedingung Minimum-Material-Bedingung	Maximum-Material-Bedingung Hüllbedingung Minimum-Material-Bedingung Tolerierung flexibler Teile Toleranzketten		Maximaler Materialbedarf Geringste Materialanforderung Besondere Zeichnungsangaben Rundherum Gemeinsame Zone Projiziertes Toleranzfeld Nicht-formstabile Bauteile	Tolerierung des Zusammenhangs zwischen Maß-, Form- und Lagetoleranzen
Verknüpfung mit Oberflächenkennwerten	Eigenschaften der Oberfläche		Toleranzen für Oberflächenbeschaffenheit Oberflächentextur Filterung Zeichnungsangaben Oberflächenunvollkommenheiten	Tolerierung der Oberflächenbeschaffenheit: Eintragung in der Zeichnung, Kenngrößen und Profile, 3D-Rauheit, Oberflächenunvollkommenheiten



## Anlage 2: Gegenüberstellung von Tools zur grafischen Darstellung einer Roadmap

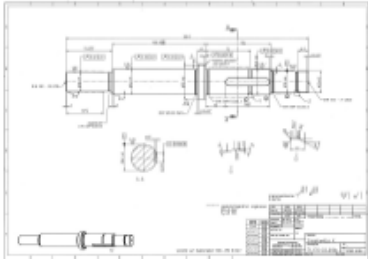
Tool	Plattform	Features	Vorteil	Nachteil	Erfahrung beim Testen
<b>Microsoft Visio</b>	Desktop	einfache Darstellungen können schnell visualisiert werden	Funktioniert in Verknüpfung mit MS-Systemen, bedienerfreundlich	Ist in der kostenlosen Version eingeschränkt	
<b>Dia</b>	Desktop	Bilder können eingefügt werden	Plattformübergreifend, Online mehrere Diagrammobjekte zu finden	Design (sehr einfach gehalten, veraltet)	sehr veraltet, sehr einfach gehalten
<b>yED Graph Editor</b>	Desktop / Browser in Englisch	Import verschiedener Datenquellen, Nutzeroberfläche anpassbar, allgemein viele Funktionen	super Darstellung der Hierarchie der einzelnen Objekte, zählt als beste kostenlose Alternative zu MS Visio	schwieriger Einstieg	Prozessdarstellung ist gut, keine Funktion zu Ebenen/Verlinkungen gefunden
<b>Diagramm Designer</b>	Desktop		einfache Bedienung	nur für Windows verfügbar, wenige Import- und Exportformate, kein Raster oder Koordinatensystem	

<b>Apache Open-Office Draw</b>	Desktop	Für komplexe Organigramme und Flussdiagramme geeignet, Draw Elemente in Open-Office-Dokumente implementierbar und umgekehrt	große Auswahl an Import- und Exportformaten, viele anpassbare Diagrammelemente		ähnlich wie Power Point
<b>Lucidchart</b>	Browser	in PowerPoint besteht die Möglichkeit Lucidchart zu verknüpfen	benutzerfreundlich, einfache Bedienbarkeit, hochwertige Diagrammvorlagen	kostenlose Version stark eingeschränkt, Bearbeiten von 3 Dokumenten mit bis zu 60 Objekten pro Dokument	kostenpflichtig, in kostenloser Variante sehr eingeschränkt
<b>Creately</b>	Desktop (nur bei Abo) / Browser		viele Beispiele vorhanden	kostenlose Version eingeschränkt, alle Dokumente sind automatisch öffentlich einsehbar	
<b>BPMN   Free</b>	Desktop	für einfache bis komplexe Prozesse	bedienerfreundlich	Account muss erstellt werden und man muss anfragen, um Zugang zu erhalten	Account notwendig, sehr umfangreich
<b>GitMind</b>	Browser		einsteigerfreundlich, einfach aufgebaut	hauptsächlich für Mindmaps ausgelegt, aber Diagrammobjekte sind verfügbar	nur für Mindmaps

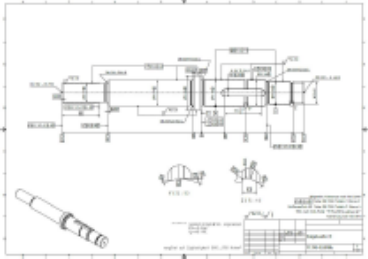
<b>XMind</b>	Desktop		Einfache Bedienung (bestes Mindmapping-Tool)	hauptsächlich für Mindmaps ausgelegt, aber Diagrammobjekte sind verfügbar	nur für Mindmaps
<b>Aris Express</b>	Desktop	Grafikübernahme von Aris in PowerPoint mit Copy & Paste möglich	einsteigerfreundlich, einfach aufgebaut	einfach gehaltenes Design	keine Ebenen möglich
<b>draw.io</b>	Browser / Desktop	Diagramme in Cloud oder auf Gerät speicherbar	funktioniert ohne Anmeldung, benutzerfreundlich, hochwertige Diagrammvorlagen, große Auswahl an Symbolen	Dateien können nicht eingefügt werden (nur Bilder)	viele Möglichkeiten, arbeitet mit Verlinkungen, ohne Account, Auswahlmöglichkeit zum Speichern der Dateien

Anlage 3: Methodenkasten: Vergleich von Zeichnungen, die Lernreflexionsmatrix, Kanban-Board sowie die Checkliste für die Retrospektive

**Initiierungsphase: Chancen aufzeigen durch Vorher-/Nachher-Vergleich von Spezifikationen**



- ⊗ Vollständiges Bezugssystem fehlt
- ⊗ Abstände sind mit Plus-Minus-Toleranzen festgelegt
- ⊗ Hüllbedingung nicht festgelegt
- ⊗ Rauheitsangaben veraltet




- ⊗ Vollständiges Bezugssystem ist festgelegt
- ⊗ Abstände sind eindeutig mit Ortstoleranzen festgelegt
- ⊗ Hüllbedingung ist eingetragen
- ⊗ Aktuelle Rauheitsangaben verwendet

**Schulungsphase: Lernreflexionsmatrix**


<p><b>Likes</b> Was war gut?</p> <p><b>Fragen</b> Was ich sonst noch sagen will...</p>	<p><b>Ideen</b> Probiere ich aus...</p> <p><b>Kritik</b> Was war nicht gut, was habe ich nicht verstanden?</p>
--	--

**Einführungsphase: Kanban-Board**


Forecast




To-Do




In progress



done



**Anwendungsphase: Checkliste Retrospektive**





## Anlage 4: Auswahl an Fragebögen des Reifegradmodells und Handlungsempfehlung

## Fragebogen Kategorie 1.1: Geometrieelemente

**Dimension: Konzepte des GPS-Systems**

**Geometrieelemente**

*Bitte beantworten Sie die nachstehenden Reifegradstufen.  
Wählen Sie bei den einzelnen Reifegradstufen diejenigen Anforderungen aus, die von ihnen erfüllt werden.*

---

**1. Anforderungen für Reifegradstufe 1**

- Reifegradstufe 1 ist nicht relevant
- Nennegeometrie und Arten von Abweichungen, Nennen von geometrischen Eigenschaften
- Partition in integrale Geometrieelemente (Linie, Kreis, Fläche, Zylinder) und abgeleitete Geometrieelemente (Mittellebene, Achse, Mittelpunkt)
- Form, Oberfläche, und Größenmaße am einzelnen Geometrieelement, Ort/Abstand, Richtung, Lauf bei Beziehung zw. Geometrieelementen (Bezug notwendig)

---

**2. Anforderungen für Reifegradstufe 2**

- Unterscheiden von Mikro- und Makro-Geometrie, Entstehungsursachen (Gestaltabweichung ISO 4760)
- An Nennegeometrie Bezugssystem und Längen/Dimensionen festlegen
- am nichtidealen Oberflächenmodell Bezüge tolerieren, Größenmaße, Abstände, Ort von Größenmaßen

---

**3. Anforderungen für Reifegradstufe 3**

- Vorgehensweise bei der Interpretation geometrischer Toleranzen
- wirkliche Oberfläche ISO 14406
- jeder beliebige Querschnitt (ACS)

---

**4. Anforderungen für Reifegradstufe 4**

- eingeschränkter Bereich
- komplexe geometrische Merkmale: Gewindespezifizierung, Splines, Zahnräder
- nicht formstabile Teile

---

**5. Anforderungen für Reifegradstufe 5**

- Idee und Anwendung der geometrischen Modellierung beschreiben
- Zeigen, warum geometrische Merkmale für Fachkräfte von entscheidender Bedeutung sind
- Konzept von integralen und abgeleiteten Geometrieelementen erklären

**Indikator-Reifegradstufe**
**3**

<- Zurück
Weiter ->

## Fragebogen Kategorie 1.2: Aufbau des GPS-Systems

## Dimension-Konzepte des GPS-Systems

## Aufbau des GPS-Systems

Bitte beantworten Sie die nachstehenden Reifegradstufen.

Wählen Sie bei den einzelnen Reifegradstufen diejenigen Anforderungen aus, die von Ihnen erfüllt werden.

## 1. Anforderungen für Reifegradstufe 1

- Reifegradstufe 1 ist nicht relevant
- GPS Normenhierarchie kennen, Bedeutung fundamentale GPS Normen (ISO 8015, ISO 14638)
- Bedeutung für Spezifikation und Verifikation darstellen, Mehrdeutigkeiten vermeiden, Welten, Sprache erlernen
- Grundsätze 8015 (Aufrufen, bestimmende Zeichnung, Geometrieelement, Unabhängigkeit, Standardfestlegung, Dualität (Überleitune zu den Operationen))

## 2. Anforderungen für Reifegradstufe 2

- Normen in den weiteren Hierarchieebenen kennen
- Messgeräte im GPS-System (Bezug zur Dimension 12 herstellen)
- weitere Grundsätze (welche im Level 1 nicht erläutert wurden)

## 3. Anforderungen für Reifegradstufe 3

- Erkennen der Standardangaben (allgemeine und geänderte Standardwerte (AD))
- Inhalt der 14638 kennen
- Grundsätze anwenden bei der Interpretation anwenden (z.B. welche Norm gilt für die Zeichnung, Standardspezifikationsoperator ändern)

## 4. Anforderungen für Reifegradstufe 4

- Normen vs. Normung, Normungsprozess kennen (ISO, DIN)
- Kettenglieder und die geometrischen Merkmale der Matrix erläutern
- Grundsätze, Prinzipien und Regeln bei der Erstellung von Zeichnungen anwenden

## 5. Anforderungen für Reifegradstufe 5

- Konzept des GPS-Systems erläutern
- Eingliederung von Normen in das Matrixmodell, Auffindbarkeit der Normen
- Grundsätze erläutern, Erkennen der Anwendung

Indikator-Reifegradstufe

3

&lt;- Zurück

Weiter -&gt;

## Fragebogen Kategorie 2.1: Lineare Größenmaße

## Dimension-Größenmaße

## Lineare-Größenmaße

Bitte beantworten Sie die nachstehenden Reifegradstufen.

Wählen Sie bei den einzelnen Reifegradstufen diejenigen Anforderungen aus, die von Ihnen erfüllt werden.

## 1. Anforderungen für Reifegradstufe 1

- Reifegradstufe 1 ist nicht relevant
- Lineares Größenmaß definieren, Größenmaßelemente nennen, Bezug zu ISO 14405
- Zweipunktmaß als Default kennen
- Größenmaß und Abstand unterscheiden

## 2. Anforderungen für Reifegradstufe 2

- Arten schildern und in Überkategorien einordnen
- Modifikationssymbole erklären
- Hüllbedingung interpretieren

## 3. Anforderungen für Reifegradstufe 3

- Rangordnungsmaße erklären, Änderungen des Standard-Spezifikationsoperators erläutern
- eingeschränkte Teilbereiche kennen und anwenden
- Querschnittsfläche nutzen, spezifischen Querschnitt konstruieren

## 4. Anforderungen für Reifegradstufe 4

- Zeichnungsänderungen, Übertragung des Wissens in firmenspezifische Beispiele
- Zeichnungseintragungen, Zusammenhänge erklären
- Anwendung in neuen Produkten/ Projekten

## 5. Anforderungen für Reifegradstufe 5

- Beratung zur Unterscheidung Größenmaß und Abstand
- unterbrochene Größenmaße, verbundene Geometrielemente
- interne Schulungen durchführen, Zeichnungsdiskussionen leiten, Optimierungsvorschläge

## Indikator-Reifegradstufe

4

&lt;- Zurück

Weiter -&gt;

## Fragebogen Kategorie 3.2: Toleranzzone

## Dimension-allgemeine Regeln geometrischer Tolerierung

## Toleranzzone

Bitte beantworten Sie die nachstehenden Reifegradstufen.

Wählen Sie bei den einzelnen Reifegradstufen diejenigen Anforderungen aus, die von Ihnen erfüllt werden.

## 1. Anforderungen für Reifegradstufe 1

- Reifegradstufe 1 ist nicht relevant
- Schlüssel zur geometrischen Tolerierung: Wissen, dass es Toleranzzone gibt und dass sie festgelegt werden muss (durch Aufrufen des Symbols in Kombination mit dem Pfeil, wo er angetraen ist)
- begrenzt durch Flächen oder Volumen, definiert als Raum...
- Defaultfestlegungen zur Toleranzzone (gleichmäßig verteilt...)

## 2. Anforderungen für Reifegradstufe 2

- es können sich mehrere Toleranzzonen begrenzen (z.B. Ort begrenzt Richtung und Form)
- Arten von Toleranzzonen
- eingeschränkter Bereich

## 3. Anforderungen für Reifegradstufe 3

- ungleichverteilte Toleranzzonen
- Gestalt von Toleranzzonen
- Eintragung in Toleranzrahmen

## 4. Anforderungen für Reifegradstufe 4

- weitere Gestaltungen von Toleranzzonen (0,50)
- Überblick zur Anwendung von Modifikatoren (C,G,N,T,X im Kreis), mit Bezug
- Tangentialelement (T im Kreis), Projizierte Toleranzzone (P im Kreis), Modifikator für Rotationsfläche (A im Kreis)

## 5. Anforderungen für Reifegradstufe 5

- umfassende Kenntnisse zu Defaultfestlegungen, Beratung zu Modifikatoren
- Anforderung 2
- Anforderung 3

Indikator-Reifegradstufe

2

&lt;- Zurück

Weiter -&gt;

## Fragebogen Kategorie 4.1: Bezugssystem

## Dimension-Bezüge

## Bezugssystem

Bitte beantworten Sie die nachstehenden Reifegradstufen.

Wählen Sie bei den einzelnen Reifegradstufen diejenigen Anforderungen aus, die von Ihnen erfüllt werden.

## 1. Anforderungen für Reifegradstufe 1

- Reifegradstufe 1 ist nicht relevant
- Aufgaben von Bezügen nennen (Kontakt in der Baugruppe (außenanliegendes Element), Binden von Freiheitsgraden, Koordinatensystem)
- Eintragung von Bezügen (Rahmen und Dreieck)
- Hierarchie (Primär, Sekundär, Tertiär) kennen, Auswirkung der Reihenfolge erkennen, Winkel von 90 und 180 Grad

## 2. Anforderungen für Reifegradstufe 2

- Zeichnungseintragung erläutern auf Maßhilfslinie oder auf Geometrieelement
- Bezugssysteme – einfach in 3 Ebenen interpretieren, gemeinsame Bezüge erstellen
- resultierendes Geometrieelement kennen, Assoziation bei Bezügen verwenden

## 3. Anforderungen für Reifegradstufe 3

- Tolerierung Bezugssystem/geometrische Absicherung durchführen
- eingeschränkte Teilbereiche nutzen
- Angaben von Modifikatoren erklären

## 4. Anforderungen für Reifegradstufe 4

- Bezugssystem im eigenen Produkt/Projekt/Baugruppe anwenden
- komplexe Bezugssysteme (z.B. Achsen) anwenden
- Anforderung 3

## 5. Anforderungen für Reifegradstufe 5

- Schulung und Beratung
- Filterung kennen und erläutern
- alternative Assoziation anwenden

## Indikator-Reifegradstufe

5

&lt;- Zurück

Weiter -&gt;

## Fragebogen Kategorie 5.1: Geradheit

## Dimension-Formtolerierung

## Geradheit

Bitte beantworten Sie die nachstehenden Reifegradstufen.

Wählen Sie bei den einzelnen Reifegradstufen diejenigen Anforderungen aus, die von Ihnen erfüllt werden.

## 1. Anforderungen für Reifegradstufe 1

- Reifegradstufe 1 ist nicht relevant
- Symbol erkennen, Bedeutung Form von integralen und abgeleiteten Geometrieelementen
- Bezug ja/nein entscheiden
- in Toleranzzonen denken

## 2. Anforderungen für Reifegradstufe 2

- Symbol, Zeichnungseintragung 2D
- Toleranzzone definieren
- Geradheit an der Ebene, von Achsen und Mantellinie

## 3. Anforderungen für Reifegradstufe 3

- Assoziation (LSLI und MZLI)
- Extraktion
- Schnittebenenindikator für Linienform

## 4. Anforderungen für Reifegradstufe 4

- Zeichnungseintragung 3D
- Assoziationskriterien festlegen über Toleranzindikator
- Anwendung der Geradheit in der Praxis, Übertragung in firmenspezifische Spezifikation

## 5. Anforderungen für Reifegradstufe 5

- Default: Minimumbedingung erläutern (Tschebyschew-Kriterium)
- Einsatz von Modifikatoren (als Alternative zur Tschebyschew-Auswertung)
- Schulung von Geradheit, Bedeutung Formtolerierung

## Indikator-Reifegradstufe

4

&lt;- Zurück

Weiter -&gt;

## Fragebogen Kategorie 6.3: Neigung

## Dimension-Richtungstolerierung

## Neigung

Bitte beantworten Sie die nachstehenden Reifegradstufen.

Wählen Sie bei den einzelnen Reifegradstufen diejenigen Anforderungen aus, die von Ihnen erfüllt werden.

## 1. Anforderungen für Reifegradstufe 1

- Reifegradstufe 1 ist nicht relevant
- Symbol erkennen, im Vergleich zur Winkeltolerierung
- Bezug auf ein anderes Geometrieelement notwendig
- in Toleranzonen denken

## 2. Anforderungen für Reifegradstufe 2

- Symbol, Zeichnungseintragung 2D, Nennwinkel als theoretisches Maß im Kästchen
- Toleranzzone
- Arten von Neigungstoleranzen: Ebenen und Achsen

## 3. Anforderungen für Reifegradstufe 3

- Allgemeiner Fall von Rechtwinkligkeit und Parallelität (Default 90 und 180 Grad), Übungen zu Vergleichen: z.B. Neigung 90 Grad = Rechtwinkligkeit
- Anwendungsbeispiele kennen und interpretieren: zwei ebene Flächen, Bohrung, zwei Achsen
- Winkeltolerierung, Vergleich zur Neigungstolerierung bei Ebenen, Bedeutung Maß im Kästchen

## 4. Anforderungen für Reifegradstufe 4

- Zeichnungseintragung 3D
- Assoziationskriterien festlegen über Toleranzindikator
- Alternative Positiontolerierung, wenn auch Ort mit festgelegt werden soll

## 5. Anforderungen für Reifegradstufe 5

- Umrechnung zwischen Neigungs- und Winkelwerten, Neigungs- und Winkeltoleranz
- Beratung mit Einsatz der Neigung, Winkel, Positionstoleranz
- Schulung zur Neigung

## Indikator-Reifegradstufe

2

&lt;- Zurück

Weiter -&gt;

## Fragebogen Kategorie 7.3: Symmetrie

## Dimension-Ortstolerierung

## Symmetrie

Bitte beantworten Sie die nachstehenden Reifegradstufen.

Wählen Sie bei den einzelnen Reifegradstufen diejenigen Anforderungen aus, die von Ihnen erfüllt werden.

## 1. Anforderungen für Reifegradstufe 1

- Reifegradstufe 1 ist nicht relevant
- Symbol erkennen
- Bedeutung als Sonderfall der Position kennen
- Spiegelsymmetrie mit Bezugsebene oder -linie

## 2. Anforderungen für Reifegradstufe 2

- toleriertes Element kennen: z.B. Mittelebenen, -linien, Achsen
- Toleranzzone
- Einbeschlossen: Parallelität, Geradheit (bei Ebene Ebenheit)

## 3. Anforderungen für Reifegradstufe 3

- Grenzabweichung berechnen (halbe Symmetrietoleranz)
- Anwendung in Übungsbeispielen
- Übung zu Toleranzzone

## 4. Anforderungen für Reifegradstufe 4

- Toleranzindikator 3D
- Anwendung bei Nut, Passfedernut, Bohrung bezogen auf Achse oder Nutmitte
- Anwendung auf firmenspezifische Spezifikation

## 5. Anforderungen für Reifegradstufe 5

- Motivation zur Symmetrietolerierung
- Sonderfälle anwenden: Schnittpunkt zweier Achsen, Kreiszyindrische Toleranzzone, Fluchtung von 2 wirklichen Ebenen
- Schulung

## Indikator-Reifegradstufe

0

&lt;- Zurück

Weiter -&gt;



## Fragebogen Kategorie 8.1: einfacher Lauf

## Dimension-Lauftolerierung

## einfacher Lauf

Bitte beantworten Sie die nachstehenden Reifegradstufen.

Wählen Sie bei den einzelnen Reifegradstufen diejenigen Anforderungen aus, die von Ihnen erfüllt werden.

## 1. Anforderungen für Reifegradstufe 1

- Reifegradstufe 1 ist nicht relevant
- Symbol erkennen
- Bedeutung Lauftoleranzen: rotationssymmetrische Teile, tolerierte Elemente kennen
- Bezug: Achse erkennen

## 2. Anforderungen für Reifegradstufe 2

- Zeichnungseintragung 2D: Unterscheidung Rundlauf (Toleranzpfeil steht senkrecht zur Bezugsachse A) und Planlauf (Toleranzpfeil steht parallel zum Bezugsachse A-B)
- Toleranzzone bilden: Kreiszyllinderringe von der axialen Länge der Lauftoleranz
- Rundlauftoleranz und Rundheit unterscheiden

## 3. Anforderungen für Reifegradstufe 3

- Prüfung einzelne Kreisringe konzentrisch zur Achse (an hinreichend vielen Stellen)
- einbeschlossene Toleranzarten: Rundheits- und Koaxialitätsabweichung
- Prinzip Rundheits- und Formmessgeräte: Koaxialitätsabweichung kompensieren (Rundlaufabweichung = Rundheitsabweichung)

## 4. Anforderungen für Reifegradstufe 4

- Lauf in beliebiger und Lauf in fester Richtung kennen
- Anwendung einfacher Lauf in der Praxis
- Sonderfälle (z. B. Ellipsen) tolerieren

## 5. Anforderungen für Reifegradstufe 5

- Beratung zu Rundlauf, Rundheit, Koaxialität
- Schulung einfacher Lauf
- Beratung zu Planlauf vs. Rundlauf

## Indikator-Reifegradstufe

1

&lt;- Zurück

Weiter -&gt;

## Fragebogen Kategorie 10.1: Maximum-Material-Bedingung

## Dimension-Zusammenwirken von Toleranzen

## Maximum-Material-Bedingung

Bitte beantworten Sie die nachstehenden Reifegradstufen.

Wählen Sie bei den einzelnen Reifegradstufen diejenigen Anforderungen aus, die von Ihnen erfüllt werden.

## 1. Anforderungen für Reifegradstufe 1

- Reifegradstufe 1 ist nicht relevant
- Anforderung 1
- Anforderung 2
- Anforderung 3

## 2. Anforderungen für Reifegradstufe 2

- technische und wirtschaftliche Gründe, die das Unabhängigkeitsprinzip außer Kraft setzen verstehen
- Wirksames Maximum-Material-Größenmaß kennen und berechnen
- Maximum-Material-Bedingung MMR nach 2692 verstehen inkl. Zeichnungseintragung

## 3. Anforderungen für Reifegradstufe 3

- Prüfung der Elemente, Lehre, wirksamer Grenzzustand
- Möglichkeiten der Anwendung kennen: Geradheit, Ebenheit, Rechtwinkligkeit, Position, Koaxialität, Symmetrie (Geometrielemente Zylinder Parallelebenenpaare)
- in Übungsbeispielen anwenden, Zeichnungseintragung erläutern

## 4. Anforderungen für Reifegradstufe 4

- Kennen der Reziprozitätsbedingung, Bedingungen für die Anwendung, Zeichnungseintragung
- in verschiedenen Anwendungsfällen wirksames Maximum-Material-Größenmaß berechnen
- Anwendung des MMR und RPR in firmenspezifischen Spezifikationen

## 5. Anforderungen für Reifegradstufe 5

- Beratung zur Nutzung MMR Spezifikation vs. Hüllbedingung
- Beratung zur Nutzung MMR oder Hüllbedingung vs. Unabhängigkeitsprinzip
- Schulung zur Zeichnungseintrag und Berechnung Wirksames Maximum-Material-Größenmaß

## Indikator-Reifegradstufe

1

&lt;- Zurück

Weiter -&gt;

## Fragebogen Kategorie 12.3: Messunsicherheit, Konformität

## Dimension-Verifikation

## Messunsicherheit; Konformität

Bitte beantworten Sie die nachstehenden Reifegradstufen.

Wählen Sie bei den einzelnen Reifegradstufen diejenigen Anforderungen aus, die von Ihnen erfüllt werden.

## 1. Anforderungen für Reifegradstufe 1

- Reifegradstufe 1 ist nicht relevant
- Vorhandensein von Messunsicherheit, Betrachten der Einflüsse
- Rückverfolgbarkeit erklären und verstehen, Notwendigkeit zuverlässige Messergebnisse
- Toleranzen entsprechend festlegen

## 2. Anforderungen für Reifegradstufe 2

- Begriff Messunsicherheit erklären
- Kalibrierung einfacher Messgeräte verstehen
- Zusammenhänge zwischen Standardunsicherheit, Wahrscheinlichkeitsverteilung und Fehlergrenzen erläutern

## 3. Anforderungen für Reifegradstufe 3

- Messunsicherheit nach GUM: Notwendigkeit, Vorteile, Vorgehensweise
- Kalibrierung CMM
- Kalibrierung, Normale, Prüfkörper

## 4. Anforderungen für Reifegradstufe 4

- Methoden zur Bewertung der Unsicherheit von Koordinatenmessungen erläutern (Empfindlichkeitsanalyse, Verwendung von kalibrierten Werkstücken, Verwendung von Computersimulationen)
- Methoden zur Bewertung verstehen (Typ A, Typ B, Monte Carlo), Einflussgrößen abschätzen
- Vorgehen Kalibrierung im Unternehmen

## 5. Anforderungen für Reifegradstufe 5

- Anforderung 1
- metrologische Rückführketten (Kalibrierhierarchie) für berührende und berührungslose Messung erkennen und umsetzen
- Schulung zu GUM

Indikator-Reifegradstufe

3

&lt;- Zurück

Weiter -&gt;

Ausgabe der Handlungsempfehlung

	B	C	D	E	F
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					

	Dimension	Dimensions-Reifegrad	Handlungsempfehlung
1.:	<b>Konzepte des GPS-Systems</b>	3	Sie haben die Reifegradstufe 3 erreicht und sind somit ein Erfahrener. Die nachfolgenden Stufen wurden nicht oder nur teilweise von Ihnen erfüllt. Um die nächste Reifegradstufe erfüllen zu können, sollten Sie im nächsten Schritt die Kompetenzen auf firmenspezifische Beispiele übertragen.
2.:	<b>Größenmaße</b>	1	Sie haben die Reifegradstufe 1 erreicht und sind somit ein Einsteiger. Sie besitzen grundlegendes Wissen zu Größenmaßen und können diese von Abständen unterscheiden. Die nachfolgenden Stufen wurden nicht oder nur teilweise von Ihnen erfüllt. Um die nächste Reifegradstufe zu erreichen, müssen Sie sich Kompetenzen zu den Modifikationssymbolen aneignen und die Hüllbedingung erklären können.
3.:	<b>allgemeine Regeln geometrischer Tolerierung</b>	2	Sie haben die Reifegradstufe 2 erreicht und sind somit ein Fortgeschrittener. Die nachfolgenden Stufen wurden nicht oder nur teilweise von Ihnen erfüllt. Um die nächste Reifegradstufe erfüllen zu können, sollten Sie weitere Kompetenzen zu den allgemeinen Regeln geometrischer Tolerierung erlernen und dies in Übungsbeispielen anwenden.
4.:	<b>Bezüge</b>	5	Sie haben die höchste Reifegradstufe 5 erreicht und sind somit ein Master. Sie sind der Lage Bezugssysteme und Bezugsstellen bei allen Bauteilen und Baugruppen zu bilden und können Ihre Kollegen dahingehend schulen und beraten. Eine weitere Handlungsempfehlung ist nicht notwendig.
5.:	<b>Formtolerierung</b>	3	Sie haben die Reifegradstufe 3 erreicht und sind somit ein Erfahrener. Die nachfolgenden Stufen wurden nicht oder nur teilweise von Ihnen erfüllt. Um die nächste Reifegradstufe erfüllen zu können, sollten Sie im nächsten Schritt die Kompetenzen auf firmenspezifische Beispiele übertragen.
6.:	<b>Richtungstolerierung</b>	2	Sie haben die Reifegradstufe 2 erreicht und sind somit ein Fortgeschrittener. Die nachfolgenden Stufen wurden nicht oder nur teilweise von Ihnen erfüllt. Um die nächste Reifegradstufe erfüllen zu können, sollten Sie weitere Kompetenzen zur Richtungstolerierung erlernen und dies in Übungsbeispielen anwenden.
7.:	<b>Ortstolerierung</b>	0	Sie haben noch keine Kompetenzen zur Ortstolerierung im ISO GPS-System erworben.
8.:	<b>Lauftolerierung</b>	1	Sie haben die Reifegradstufe 1 erreicht und sind somit ein Einsteiger. Sie sind in der Lage das Gerlernte wieder zugeben und besitzen ein allgemeines Wissen über die 3D-Rauheit. Die nachfolgenden Stufen wurden nicht oder nur teilweise von Ihnen erfüllt. Um die nächste Reifegradstufe erfüllen zu können, sollten Sie im nächsten Schritt ...

← ... 2D 3D Messung Messgeräte Messunsicherheit; Konformität Ergebnis Handlungsempfehlung