



Philipp Gatti Bsc.

**Beitrag zur Erhebung des Ist-Zustandes der
Datenlandschaft und Beurteilung der Datenqualität in der
Instandhaltung am Beispiel der Verbund Hydro Power
GmbH**

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Institut für Innovation und Industrie Management
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Ramsauer

Graz, 2023

Gleichheitsgrundsatz

Aus Gründen der Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit darauf verzichtet, geschlechtsspezifische Formulierungen zu verwenden. Es wird ausdrücklich festgehalten, dass die bei Personen verwendeten maskulinen Formen für beide Geschlechter zu verstehen sind.

Danksagung

Allen voran möchte mich herzlich bei allen Personen bedanken, die mir bei meiner Masterarbeit geholfen haben. Besonderer Dank gebührt Dipl. Ing. Dr. Josef Mayrhuber, der mir die Möglichkeit gegeben hat, mein Praktikum bei der Verbund Hydro Power GmbH zu absolvieren und mich als Firmenbetreuer während der Arbeit tatkräftig unterstützt hat. Seine Ratschläge und Hilfe waren äußerst wertvoll und haben maßgeblich zur erfolgreichen Durchführung meiner Arbeit beigetragen.

Ebenfalls möchte ich mich bei em.o Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Hubert Biedermann herzlich bedanken. Er hat meine Arbeit betreut und seine Expertise großzügig mit mir geteilt. Ohne seine Anleitung und Unterstützung wäre die Fertigstellung meiner Masterarbeit nicht möglich gewesen.

Nochmals herzlichen Dank an alle Beteiligten.

Kurzfassung

Die vorliegende Masterarbeit widmet sich der Thematik der Instandhaltung im Kontext der datengestützten Entscheidungsfindung. Besonderes Augenmerk liegt auf den Instandhaltungsstrategien, den für deren Umsetzung erforderlichen Daten und den Informationssystemen, die in diesem Zusammenhang von Bedeutung sind.

Ziel dieser Arbeit ist es die gegenwärtige Datenlandschaft hinsichtlich wichtiger Aspekte wie Datenerhebung, Speicherung, Auswertbarkeit und andere zu analysieren. Eine Bewertung der vorgefundenen Daten wurde unter Anwendung eines Reifegradmodells durchgeführt. Vor diesem Hintergrund erfolgt zunächst eine eingehende theoretische Abhandlung der Grundlagen im Bereich der Instandhaltungsstrategien. Der Begriff "Daten" wird definiert und in entsprechende Kategorien unterteilt, relevante Informationssysteme werden vorgestellt, und zusätzlich wird der Aufbau sowie das angewandte Reifegradmodell detailliert beschrieben.

Das Hauptziel des Reifegradmodell ist es, die Qualität der vorhandenen Daten und des Datenprozesses zu bewerten. Dabei zeigt sich, dass an einem Standort die Nutzung des SAP-Systems bereits weit fortgeschritten ist. Dort strebt man danach, sämtliche Aktivitäten, die den Zustand des Kraftwerks und seiner Anlagen beeinflussen, in SAP durch Meldungen und Aufträge zu dokumentieren. Diese Anwendung des Systems führt zu einer Verbesserung im Reifegradmodell. Im Gegensatz dazu ist an einem anderen Kraftwerksstandort die Implementierung von SAP noch nicht weit fortgeschritten und die gesammelten Informationen werden vorwiegend auf dem internen Server erfasst.

Aus dem Vergleich des Ist-Zustandes zu einem definierten Soll-Zustand ergeben sich für die Kraftwerksstandorte Verbesserungspotenziale, die abschließend diskutiert werden. So können zum Beispiel die gespeicherten Bewegungsdaten an einem untersuchten Standort als Ergänzung für zustandsorientierte, datenbasierte und potenziell prädiktive Instandhaltungsstrategien dienen. Alternativ könnten sie in ein Zielsystem, wie beispielsweise ein Asset Operations and Maintenance (AOM)-System, integriert werden, um daraus Handlungsempfehlungen für die Instandhaltung abzuleiten. Diese Arbeit betont somit, wie die Standardisierung und Optimierung von Instandhaltungsdaten und -prozessen erhebliches Potenzial zur Steigerung der Effizienz in der Instandhaltung und fundierten Entscheidungsfindung bergen.

Abstract

The present master's thesis delves into the topic of maintenance in the context of data-driven decision-making, with a particular focus on maintenance strategies, the necessary data for their implementation, and the information systems relevant to this context.

The objective of this work is to analyze the current data landscape concerning crucial aspects such as data collection, storage, interpretability, and others. An evaluation of the encountered data was performed using a maturity model. Against this backdrop, a comprehensive theoretical discussion of the fundamentals in the field of maintenance strategies is initially presented. The term "data" is defined and categorized, relevant information systems are introduced, and the structure, as well as the applied maturity model, are detailed.

The main goal of the maturity model is to assess the quality of existing data and the data process. It reveals that at one location, the utilization of the SAP system is already well advanced. There, efforts are made to document all activities influencing the condition of the power plant and its facilities in SAP through reports and orders. This application of the system contributes to an improvement in the maturity model. In contrast, at another power plant site, the implementation of SAP is not yet well advanced, and collected information is predominantly recorded on the internal server.

Comparing the current state to a defined target state identifies improvement potentials for power plant sites, which are discussed conclusively. For instance, stored movement data at one examined site could serve as a supplement for condition-based, data-driven, and potentially predictive maintenance strategies. Alternatively, they could be integrated into a target system, such as an Asset Operations and Maintenance (AOM) system, to derive maintenance recommendations. This work emphasizes how the standardization and optimization of maintenance data and processes hold significant potential for enhancing efficiency in maintenance and informed decision-making.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	5
1.1	Ausgangssituation und Zielsetzung.....	6
1.2	Methodische Vorgehensweise	8
1.3	Aufbau der Arbeit	8
2	Instandhaltung.....	10
2.1	Asset Management	10
2.2	Instandhaltung als Teil des Anlagenlebenszyklus	13
2.3	Konzepte und Strategien der Instandhaltung	15
2.3.1	Reaktive Instandhaltung.....	17
2.3.2	Präventive Instandhaltung.....	19
2.3.3	Zustandsorientierte Instandhaltung	21
2.4	Anpassung des Strategiemixes.....	30
3	Der Produktionsfaktor „Daten“	35
3.1	Daten, Informationen und Wissen	35
3.2	Datenmanagement.....	37
3.3	Einteilung der Daten.....	39
3.3.1	Bestandsdaten	39
3.3.2	Auftrags- und Bewegungsdaten	40
3.3.3	Prozess- und Steuerungsdaten.....	42
3.4	Informationssysteme in der Instandhaltung.....	44
4	Datenanalytik.....	52
4.1	Business Analytics	52
4.2	Big Data	56
4.3	Reifegradmodell nach Bernerstätter.....	59
5	Das Unternehmen	64
5.1	Einführung.....	64
5.1.1	Kraftwerk Villach	65
5.1.2	Kraftwerk Melk	66

5.2	Aktueller Instandhaltungsprozess.....	68
5.3	Informationssysteme	69
5.3.1	SAP-EAM.....	70
5.3.2	Kraftwerks-Kennzeichensystem KKS.....	74
6	Reifegradbewertung	78
6.1	Kraftwerk Villach.....	78
6.1.1	Bestandsdaten	78
6.1.2	Auftrags- und Bewegungsdaten	83
6.2	Kraftwerk Melk.....	89
6.2.1	Bestandsdaten	89
6.2.2	Auftrags- und Bewegungsdaten	93
6.3	Soll-Zustand	97
6.3.1	Bestandsdaten	97
6.3.2	Auftrags- und Bewegungsdaten	100
7	Potenziale.....	104
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	109
9	Literaturverzeichnis	111
10	Abbildungsverzeichnis.....	116
11	Tabellenverzeichnis.....	118
12	Abkürzungsverzeichnis.....	119
Anhang	i

1 **Einleitung**

Unternehmen stehen vor stetig wachsenden Herausforderungen: Traditionelle Märkte wandeln sich unter dem Einfluss von Plattformen, während neue Technologien und Arbeitsmethoden die Zeiträume für Innovation verkürzen. Gleichzeitig zwingen der Klimawandel und die Knappheit von Ressourcen Unternehmen dazu, neue, nachhaltige Wirtschaftsansätze zu verfolgen. In dieser dynamischen Umgebung sind Qualitäten wie Krisenbewältigung, die Fähigkeit zur schnellen Reaktion und Anpassungsfähigkeit von entscheidender Bedeutung, um die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens zu sichern. Industrie 4.0 hat die vierte industrielle Revolution eingeläutet, die die Zukunftsfabrik in eine hochvernetzte, intelligente und autonome Einheit verwandelt hat. Diese neue Art der Fertigung ermöglicht eine außerordentliche Flexibilität bei der Nutzung von Ressourcen. Die Zusammenarbeit zwischen Menschen und Maschine erfordert eine steigende Anpassungsfähigkeit, bietet jedoch auch die Aussicht auf eine erfüllende und verbesserte Arbeitswelt für Menschen.¹

Die wachsende Bedeutung des Bereichs Instandhaltung wird in Anbetracht dieser Entwicklung besonders deutlich. Dies liegt daran, dass in einer Situation mit minimalen Lagerbeständen und geringem Umlauf die Zuverlässigkeitsanforderungen an Maschinen und Anlagen stetig steigen, um eine kontinuierliche Lieferbereitschaft zu gewährleisten. Zudem trägt die steigende Komplexität von Maschinen und die verstärkte Vernetzung von Anlagen dazu bei, dass die Zuverlässigkeit abnimmt. Dies führt zu einem Spannungsfeld, da einerseits höhere Leistungsstandards von der Instandhaltung erwartet werden, andererseits aber auch eine Reduzierung der Instandhaltungskosten angestrebt wird.²

Die Verknüpfung anspruchsvoller Instandhaltungsbedingungen und hoher Ansprüche an die Verfügbarkeit von Anlagen führt üblicherweise zu einem erhöhten Arbeitsaufwand und somit zu erheblichen Mehrkosten für die Wartung. Die Instandhaltungsausgaben für Branchen mit dezentralem Anlagenvermögen variieren je nach Branche, Art und Alter der Anlagen sowie den getätigten Investitionen, liegen jedoch im Allgemeinen zwischen 20 und 60 Prozent der gesamten Betriebsausgaben. In den vergangenen Jahren wurde der Verbesserung der Arbeitsproduktivität und somit der Reduzierung der Instandhaltungskosten weniger Beachtung geschenkt, obwohl hier großes Potenzial besteht.³

¹ Vgl. (Kagermann, 2020, S. 5)

² Vgl. (Pawellek, 2016, S. 1)

³ Vgl. (Stern, et al., 2020, S.4)

1.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Die Geschichte der VERBUND reicht bis in das Jahr 1947 zurück, als das Unternehmen als Österreichische Elektrizitätswirtschafts-AG gegründet wurde. Seit seinen Anfängen hat VERBUND aktiv an der Gestaltung der Energiezukunft im europäischen Raum mitgewirkt und frühzeitig auf Wasserkraft als erneuerbare Energiequelle gesetzt. Heute, mehr als sieben Jahrzehnte später, ist VERBUND der größte und umweltfreundlichste Stromerzeuger in Österreich, da nahezu 100 % des erzeugten Stroms aus erneuerbaren Energien stammen.⁴ Die VERBUND Hydro Power GmbH (VHP) ist ein Tochterunternehmen von VERBUND, ansässig in Wien, das sich auf die zentrale Planung, Errichtung, Betriebsführung, Instandhaltung und das Management der Wasserkraftwerke von VERBUND konzentriert.⁵

Die VHP agiert als Eigentümer und Betreiber von kapitalintensiven Anlagen an verschiedenen Standorten. Die derzeitige Struktur resultiert aus Fusionen und der Integration mehrerer Vorläufergesellschaften, die zu einer Betreibergesellschaft verschmolzen wurden und nun zentral gesteuert werden. Die bestehende Struktur mit lokaler Betriebsorganisation und zentraler Planung hat sich im Rahmen mehrerer Organisationsprojekte und Effizienzsteuerungsprogramme entwickelt. Diese gewachsene Struktur spiegelt sich in zahlreichen Strukturen und Prozessen wider. Bestrebungen zur Vereinheitlichung und Verschlankung der Struktur und Prozesse sind erkennbar.

Des Weiteren verfolgt die VHP das vorrangige Ziel, aktiv zur Realisierung der Klimawende beizutragen und die Investitionen für umweltfreundliche Energiequellen zu verstärken. Insbesondere im Bereich der Wasserkraft liegt der Schwerpunkt auf der Erhöhung der Effizienz durch die Integration digitaler Fortschritte.⁶

In diesem Zusammenhang strebt die VHP mit dem Digitalisierungsprojekt "Asset Operation & Maintenance System" (AOM) eine Transformation von erfahrungsbasierten Entscheidungen in der Instandhaltung hin zu datenbasierten Entscheidungen an. Dieser Schritt soll in absehbarer Zukunft zu einer Umstellung von präventiven, periodischen Instandhaltungsmaßnahmen auf zustandsorientierte und zeitlich abgestimmte Maßnahmen führen. Ein solcher Wandel verspricht den Instandhaltungsprozess effektiver zu gestalten und Mitarbeiter von redundanten Aufgaben zu entlasten, was potenziell die Produktivität steigern kann. Die VHP möchte die Entwicklung

⁴ Vgl. (Verbund, 2023)

⁵ Vgl. (Verbund, 2023)

⁶ Vgl. (Verbund, 2023)

administrativer und operativer Prozesse an den unterschiedlichen Kraftwerksstandorten mit Hilfe digitaler Informations- und Unterstützungssysteme vorantreiben. Von der Arbeitsvorbereitung über die Planung, Einteilung und Durchführung bis zur Dokumentation und Rückmeldung sollen die Mitarbeiter EDV gestützte Hilfe erhalten. Ziel ist es, die Arbeitsabläufe dadurch zu standardisieren und zu verschlanken.

In einer Zeit, in der Daten und Informationen zunehmend an Bedeutung gewinnen und als essenzielle Grundlage moderner Instandhaltungsstrategien gelten, ist die interne Erkennung und Identifikation dieser instandhaltungsrelevanten Daten essenziell. Die gegenwärtige Situation soll systematisch erfasst und strukturiert dargestellt werden, insbesondere im Bezug auf vorhandene Daten und Datenquellen, die für die Bewertung von Anlagenzuständen sowie die Planung und Steuerung von Maßnahmen relevant sind. Dadurch soll die Ist-Situation im Hinblick auf zustandsrelevante Daten veranschaulicht und ein umfassendes Bild der vorhandenen Datenlandschaft bzw. -struktur geschaffen werden.

Darüber hinaus ist eine umfassende Analyse des Daten-Reifegrads im Unternehmen sowie der aktuellen Datenqualität für das AOM-System erforderlich. Diese Analyse dient als Ausgangspunkt, um den Ist-Zustand des Datenprozesses zu ermitteln und mit einem angestrebten Soll-Zustand zu vergleichen. Daraus ergeben sich potenzielle Verbesserungsbereiche und präzise Projektziele zur weiteren Digitalisierung und Effizienzsteigerung.

Eine zentrale Frage dieser Arbeit ist inwiefern die Qualität und Nutzung der aktuellen instandhaltungsrelevanten Daten zur Verbesserung eines digitalen vorausschauenden Instandhaltungssystems beitragen kann. Es wird analysiert, wo und in welcher Form die Daten gesammelt und gespeichert werden und ob sie für ein solches System geeignet sind. Die Potenziale zur Qualitätsverbesserung werden ermittelt, indem der aktuelle Ist-Zustand mit einem definierten Soll-Zustand verglichen wird. Dieser Vergleich soll den Prozess der Digitalisierung in einem geordneten Rahmen vorantreiben.

Dieser Wandel steht im Einklang mit den aktuellen Herausforderungen, denen Unternehmen gegenüberstehen, um ihre Instandhaltungspraktiken von zeitlich periodisch orientierten Ansätzen auf eine datenbasierte, kosteneffiziente und zeitpunkt-orientierte Instandhaltung umzustellen. Eine präzise Zustandsüberwachung und hochwertige Datenqualität spielen dabei eine zentrale Rolle, da sie die Grundlage für eine optimale Instandhaltungsplanung und -budgetierung bilden. Diese Transformation ist für Unternehmen in der heutigen digitalen Wirtschaftswelt von entscheidender Bedeutung.

1.2 Methodische Vorgehensweise

Um in diesen Forschungsprozess einzutauchen, wurde zunächst eine theoretische Grundlagenrecherche im Bereich der Instandhaltung und des Datenmanagements durchgeführt. Auf Basis dieses Wissens wurde mittels Interviews, Fragebögen und Betriebsbesichtigungen mit den Betriebsmeistern und -ingenieuren in den ausgewählten Kraftwerken die Dokumentation des Instandhaltungs- und Datenprozesses erhoben. Zusätzlich erfolgte die Überprüfung der bereitgestellten Informationen in den Datenbanken von SAP, auf den betrieblichen Servern und im Archiv.

Im Anschluss wurde das Reifegradmodell von BERNERSTÄTTER ⁷ angewandt, das den Datenprozess in sechs Reifegradkategorien unterteilt und seinen Zustand bewertet. Der Zustand kann anschließend in vier Reifegrade eingeteilt werden, basierend auf einer detaillierten Analyse des Verständnisses des Instandhaltungsprozesses. Dies ermöglichte eine Bewertung des Ist-Zustands und diente gleichzeitig als Ausgangspunkt für die Definition des Soll-Zustands. Durch den Vergleich von Ist- und Soll-Zustand wurden die identifizierten Verbesserungspotenziale ermittelt, die im Kapitel 7 der Arbeit diskutiert werden.

Das Reifegradmodell wurde in zwei Wasserkraftwerken an verschiedenen Standorten durchgeführt, um mögliche Unterschiede des Datenprozesses aufzuzeigen. Es ist wichtig anzumerken, dass die Datenlandschaft im Konzern nicht einheitlich ist, da an den einzelnen Kraftwerksstandorten der Instandhaltungs- und auch der Datenprozess historisch gewachsen ist.

1.3 Aufbau der Arbeit

In Kapitel 1 dieser Arbeit erfolgt eine eingehende Darlegung der Ausgangssituation sowie der formulierten Zielsetzungen. Anschließend wird die methodische Vorgehensweise und die Struktur der Arbeit präsentiert. Kapitel 2 widmet sich der Instandhaltung in produzierenden Industrieunternehmen und bietet eine umfassende Darstellung der traditionellen Instandhaltungsstrategien. In Anbetracht der voranschreitenden Digitalisierung und der rasanten Entwicklungen im Technologiebereich gewinnt der Produktionsfaktor "Daten und Informationen" in der Instandhaltung zunehmend an Bedeutung. Kapitel 3 vertieft dieses Konzept und bietet eine theoretische Grundlage sowie eine detaillierte Klassifizierung von Daten. Kapitel 4 gewährt einen Einblick in

⁷ Vgl. (Bernerstätter R., 2019)

gängige Datenanalyseverfahren in der Instandhaltung und stellt das angewandte Reifegradmodell zur Bewertung der Daten vor. Diese ersten vier Kapitel bilden den theoretischen Teil der Arbeit.

Der praktische Teil startet mit Kapitel 5, in dem die VHP und die beiden relevanten Kraftwerksstandorte sowie die dort derzeit verwendeten Informationssysteme für die Instandhaltung vorgestellt werden. Der zentrale Schwerpunkt dieser Arbeit, die Evaluierung des Reifegrads der Bestands- und Bewegungsdaten, erfolgt in Kapitel 6. Hier wird ebenfalls der angestrebte Soll-Zustand des Datenprozesses erläutert. Kapitel 7 beleuchtet die aus den Unterschieden zwischen Ist- und Soll-Zustand resultierenden Potenziale und bietet konkrete Empfehlungen zur Optimierung des Datenprozesses in der Instandhaltung. Den Abschluss dieser Arbeit bildet Kapitel 8, das eine umfassende Zusammenfassung der Ergebnisse und Erkenntnisse präsentiert.

2 Instandhaltung

Im folgenden Kapitel wird zunächst eine Einführung in das Asset Management gegeben. Dabei liegt ein besonderes Augenmerk auf der Instandhaltung, die eine entscheidende Rolle im Lebenszyklus eines Assets einnimmt. Eine grundlegende Definition des Begriffs "Instandhaltung" wird vorgenommen, und die drei klassischen Strategien – reaktiv, präventiv und zustandsorientiert – werden eingehend erläutert. Es ist von essentieller Bedeutung zu begreifen, dass in einem Unternehmenskontext stets ein Strategiemix existiert und nicht ausschließlich eine einzige Strategie vorherrscht. Angesichts der raschen und kontinuierlichen Veränderungen der Rahmenbedingungen in der Industrie erfordert die Instandhaltungsstrategie eine dynamische Anpassung. Dieser Prozess muss gezielt und mit minimalem Aufwand erfolgen, was eine methodische Herangehensweise erfordert. Dazu gehören unter anderem die Bestimmung der Kritikalität von Anlagen, die Identifikation von Schwerpunktanlagen, begleitet von detaillierten Analysen, sowie eine Erfolgskontrolle.

2.1 Asset Management

Industrielle Produktionsunternehmen stehen vor diversen Herausforderungen, die einerseits durch die hohe Marktdynamik, gekennzeichnet durch kürzere Produktlebenszyklen und stark schwankenden Bedarf, bedingt sind. Hierbei wird eine Forderung nach quantitativer und qualitativer Flexibilität bei gleichzeitiger Betonung wettbewerbsdifferenzierender Produktqualität gestellt. Andererseits stehen Unternehmen vor der Erschöpfung bzw. Reduzierung physischer Ressourcen, strengeren Gesetzen und Vorschriften sowie einem generellen Mangel an materiellen und immateriellen Ressourcen. In diesem Kontext wird neben der Ausrichtung auf Effizienz auch die Verantwortungs- und Nachhaltigkeitsorientierung zu einer entscheidenden Prämisse unternehmerischen Handelns im gegenwärtigen Wirtschaftsumfeld.⁸

Dieser umfassende und langfristige Nachhaltigkeitsgedanke erweitert den Bezugsrahmen des Managements in produzierenden Unternehmen erheblich und beeinflusst maßgeblich das Anlagenmanagement (Asset Management) und die

⁸ Vgl. (Biedermann H. , 2022, S. 11)

Instandhaltung, die primär für die Erhaltung oder Wiederherstellung der Substanz der Ressource "Anlage" (Asset) verantwortlich sind. Die Steigerung der Bedeutung des Ressourcenmanagements für Anlagen als strategische Kernkompetenz ist eine Folge des zunehmenden Fokus auf nachhaltiges Wirtschaften. Es geht nicht mehr nur um die effiziente Bewirtschaftung von Anlagen, sondern auch verstärkt um die Minimierung des Ressourcenverbrauchs.⁹

Dadurch gewinnt das Asset Management vor allem in produzierenden, anlageintensiven Betrieben stark an Bedeutung.

Nach der Norm ISO 55 000 ist ein Asset *„ein Element, ein Gegenstand oder eine Einheit, welche(s)(r) einen möglichen oder tatsächlichen Wert für eine Organisation besitzt. Dieser Wert variiert zwischen verschiedenen Organisationen und ihren Stakeholdern und kann materieller oder immaterieller Art, finanzieller oder nicht finanzieller Art sein.“*¹⁰

Des Weiteren bedarf es einer optimalen Verwaltung und Steuerung dieser Assets in einem Unternehmen. Diese Disziplin wird als Asset Management bezeichnet und wird nach BSI PAS-55-1:2017 folgendermaßen definiert:

*"Systematische und koordinierte Aktivitäten und Praktiken, durch die eine Organisation ihre Vermögenswerte und Vermögenssysteme, deren damit verbundene Leistung, Risiken und Ausgaben über deren Lebenszyklen hinweg optimal und nachhaltig verwaltet, um ihre organisatorische Strategie umzusetzen." Ein Lebenszyklus (LC) kann als "Zeitintervall verstanden werden, das mit der Identifizierung des Bedarfs an einem Vermögenswert beginnt und mit der Außerbetriebnahme des Vermögenswerts oder etwaiger damit verbundener Verpflichtungen endet."*¹¹

BIEDERMANN erweitert diese Definition und betont verstärkt die ressourcenschonende und -erhaltende Perspektive bei der Betrachtung der Ressource Anlage. Er unterstreicht, dass Managementaktivitäten unter Berücksichtigung der Mitarbeiter, der Gesellschaft, der umgebenden Umwelt und als nachhaltige Unternehmensfunktion im Einklang mit den vorhandenen Ressourcen gestaltet werden sollten.¹²

Die Verantwortung der Anlagenwirtschaft liegt darin, *„dass das Unternehmen über die Anlagen verfügt, die es zur Erreichung seiner Ziele und zur Erfüllung seiner Aufgaben*

⁹ Vgl. (Biedermann H. , 2022, S. 11)

¹⁰ (ISO 55000:2014, S.2)

¹¹ (BSI PAS-55-1:2017, S.3)

¹² Vgl. (Biedermann H. , 2022, S. 13)

benötigt. Dazu bedient sich die Anlagenwirtschaft des Asset Managements: der Leitung, Planung, Organisation und Kontrolle der Realisierung der am Anlagenlebenszyklus orientierten Maßnahmenkomplexe und Aktivitätsfelder.“¹³

Die Lebensdauer von Assets, definiert als der Zeitraum von ihrer Entwicklung/Bereitstellung bis zu ihrem Ende, ist ein zentraler Faktor bei der Beschreibung von Vermögenswerten. Der Lebenszyklus eines Assets beginnt bereits mit der Konzeption des Bedarfs. Ab dem Zeitpunkt, an dem die Idee und das Projekt für ein benötigtes Asset entstehen, beginnt es fiktiv zu existieren. Für physische Assets lassen sich verschiedene Phasen des Lebenszyklus identifizieren, welche in Abbildung 1 ersichtlich sind. Von der Projektidee über die Formulierung von Zielen und einschränkenden Rahmenbedingungen durchläuft das Asset die Phasen Übergabe, laufender Betrieb, Instandhaltung und Verbesserung. Am Ende des Lebenszyklus stehen Entsorgung, Stilllegung oder Verkauf.¹⁴

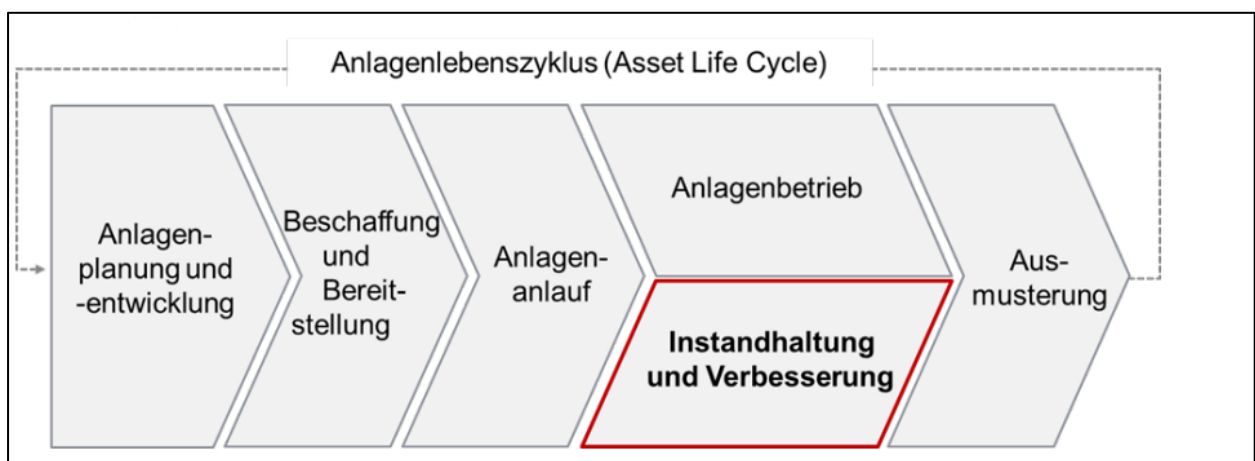


Abbildung 1: Anlagenlebenszyklus¹⁵

Ein Fokus dieser Arbeit liegt in der in Abbildung 1 hervorgehobenen Phase der „Instandhaltung und Verbesserung“. Das Forschungsziel besteht darin, die verfügbaren Daten für die Instandhaltung der VHP auf etwaiges Optimierungspotenzial zu untersuchen. Daher wird diese spezifische Phase des Lebenszyklus im Detail erläutert.

¹³ (Schröder, 2010, S. 26)

¹⁴ Vgl. (Biedermann H. , 2022, S. 13)

¹⁵ Quelle: (Biedermann H. , 2022, S. 14)

2.2 Instandhaltung als Teil des Anlagenlebenszyklus

Ein zentrales Aktivitätsfeld des Asset Managements liegt in der effektiven Anlagennutzung. Um diese Leistungsfähigkeit beizubehalten, ist es unabdingbar, die Erhaltung der Anlagenfunktion gleichzeitig zur Nutzung sicherzustellen. Dies erfordert ein äußerst flexibles Managementinstrumentarium in der Anlagenwirtschaft. Alle Maßnahmen, die darauf abzielen, die Funktionsfähigkeit der Anlage zu konservieren, wiederherzustellen und zu optimieren, gehören in den Bereich der Instandhaltung.¹⁶

Nach DIN 31051:2012 ist die Instandhaltung *„die Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen, sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Einheit, die dem Erhalt oder der Wiederherstellung ihres funktionsfähigen Zustands dient, sodass sie die geforderte Funktion erfüllen kann [...] und lässt sich in 4 Grundmaßnahmen unterteilen.“*¹⁷

Wartung - „Maßnahmen zur Verzögerung des Abbaus des vorhandenen Abnutzungsvorrats.“

Inspektion - „Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes einer Betrachtungseinheit einschließlich der Bestimmung der Ursachen der Abnutzung und dem Ableiten der notwendigen Konsequenzen für eine künftige Nutzung.“

Instandsetzung - „Maßnahmen zur Rückführung einer Betrachtungseinheit in den funktionsfähigen Zustand, mit Ausnahme von Verbesserungen.“

Verbesserung - „Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements zur Steigerung der Funktionssicherheit einer Betrachtungseinheit, ohne die von ihr geforderte Funktion zu ändern.“¹⁸

Das Aufgabenspektrum der Instandhaltung in Zusammenhang mit dem Abnutzungsvorrat wird in Abbildung 2 dargestellt. Wie daraus hervorgeht, ist die Aufgabe der Inspektion das Erfassen der Menge des Abnutzungsvorrats bzw. die Abweichung vom Soll-Zustand. Hier werden noch keine Aktivitäten zur Verbesserung oder zum Erhalt des Abnutzungsvorrats durchgeführt. Diese werden erst im Zuge der Wartung vollzogen. Aufgabe der Instandsetzung ist die Wiederherstellung des Abnutzungsvorrats auf den Soll-Zustand, idealerweise erfolgt diese vor dem Erreichen der Schadensgrenze. Die Erhöhung der qualitativen und quantitativen Leistungsfähigkeit einer Anlage nennt man

¹⁶ Vgl. (Schröder, 2010, S. 28)

¹⁷ (DIN31051:, 2012, S. 4)

¹⁸ (DIN31051:, 2012, S. 4)

Verbesserung.¹⁹ Dabei zielt die Verbesserung auf eine „Erhöhung der Technologieattraktivität und auf den Erhalt bzw. die Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens“²⁰ ab.

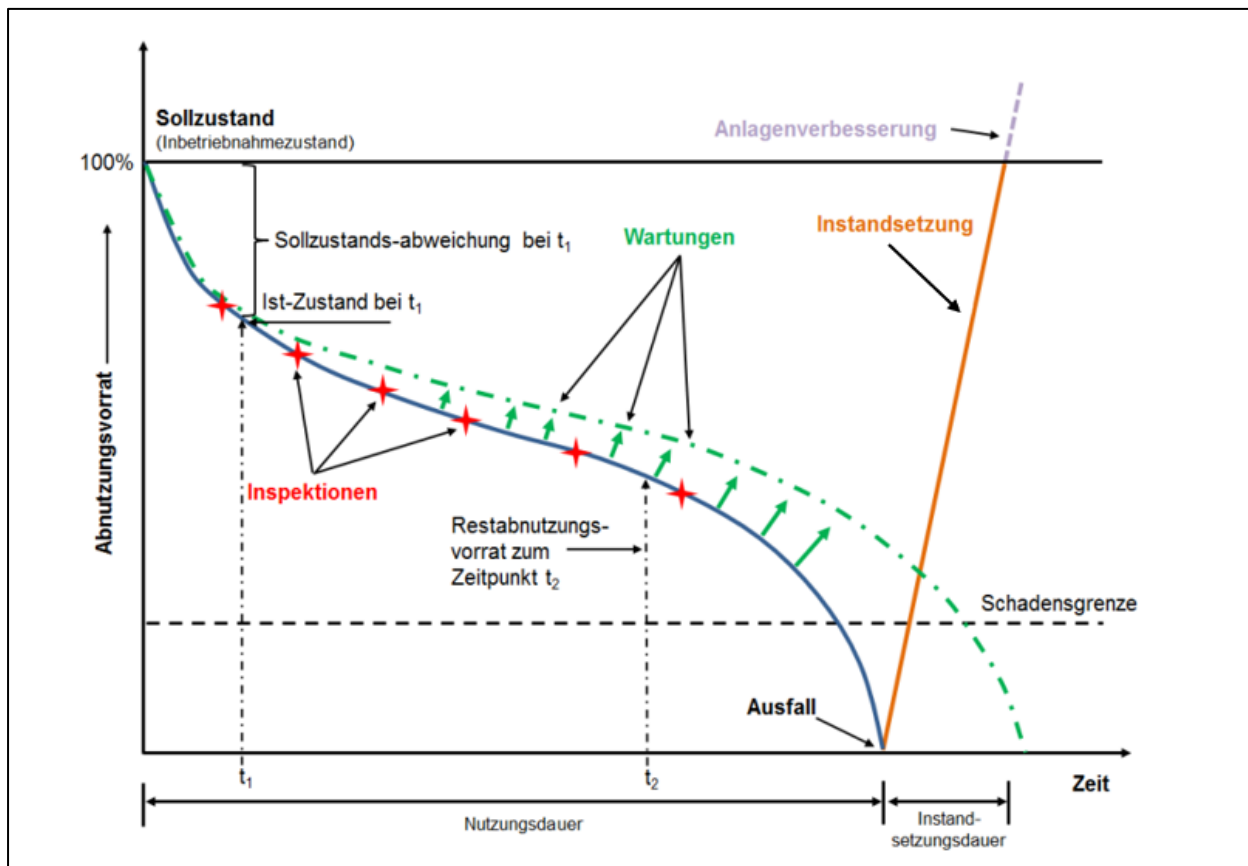


Abbildung 2: Abbaukurve des Abnutzungsvorrats²¹

Um die Instandhaltungsmaßnahmen effektiv und effizient auszuüben gibt es mehrere Instandhaltungskonzepte und -strategien, auf welche folglich eingegangen wird.

¹⁹ Vgl. (Biedermann & (Hrsg.) Oberhofer, 2008, S. 21)

²⁰ (Biedermann & Kinz, 2021, S. 20)

²¹ Quelle: (Zopf, 2015, S. 11)

2.3 Konzepte und Strategien der Instandhaltung

In der Literatur zur Instandhaltung werden nicht nur die eigentlichen Instandhaltungsmaßnahmen, sondern auch übergeordnete Instandhaltungsstrategien und -konzepte behandelt. Instandhaltungskonzepte umfassen eine Vielzahl von Instandhaltungsstrategien und -aktivitäten sowie die Entscheidungsstruktur, nach der diese geplant und umgesetzt werden.²²

Diese Konzepte prägen die unternehmerische Philosophie, die der Instandhaltung zugrunde liegt, und sind notwendig, um die Komplexität der Instandhaltung zu bewältigen. Aus diesem Grund werden Instandhaltungskonzepte auch als Managementkonzepte bezeichnet, welche die Art und Weise bestimmen, wie die Instandhaltung durchgeführt wird.²³

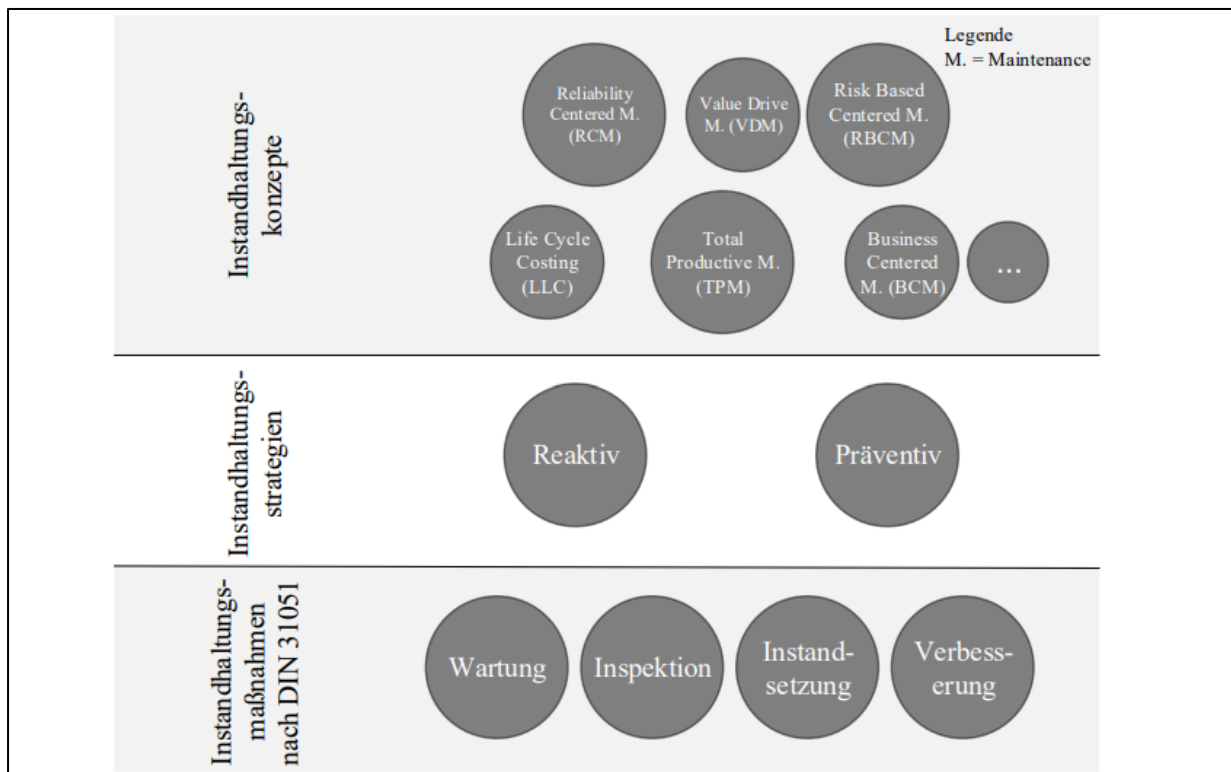
Diese Konzepte legen auch fest, wann welche Instandhaltungsstrategie angewendet werden sollte, um optimale Ergebnisse gemäß dem jeweiligen Konzept zu erzielen.²⁴

Die Ebenen und die Abgrenzung zwischen Instandhaltungskonzepten, -strategien sowie -maßnahmen werden in Abbildung 3 dargestellt. Im Weiteren wird näher auf die unterschiedlichen Strategien eingegangen, da ein zentrales Ziel dieser Arbeit darin besteht, die Eignung des Daten- und Informationsbestands der VHP für eine spezifische Strategie zu erörtern. Dabei wird darauf hingewiesen, dass die Strategien in dieser Arbeit später um die zustandsorientierte Strategie erweitert wird. Es wird jedoch auf die Vorstellung und ausführliche Diskussion der Instandhaltungskonzepte in dieser Arbeit verzichtet, da diese den vorgesehenen Umfang überschreiten würden.

²² Vgl. (Pintelon & Parodi-Herz, 2008, S. 27)

²³ Vgl. (Pawellek, 2016, S. 4f.)

²⁴ Vgl (Reidt, 2019, S. 46)

Abbildung 3: Überblick Instandhaltungsbegriffe²⁵

Laut MATYAS definieren Instandhaltungsstrategien Vorschriften, die festlegen, zu welchen Zeitpunkten und an welchen Teilen oder Komponenten bestimmte Handlungen ausgeführt werden sollen. Diese Regeln zielen darauf ab, eine optimale Balance zwischen Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Anlagenverfügbarkeit zu erreichen. Das Ziel besteht darin, die Kosten zu minimieren und die Anlagenverfügbarkeit zu maximieren, wobei diese Entscheidung in einem komplexen Wechselspiel zwischen diesen Faktoren getroffen wird.²⁶

In der Literatur sind diverse Autoren auf unterschiedliche Instandhaltungsstrategien eingegangen. In dieser Untersuchung werden die drei fundamentalen Strategien, nämlich die reaktive, die präventive und die zustandsorientierte Instandhaltung als wichtigste Vertreter identifiziert und sind in Abbildung 4 dargestellt. Die zustandsorientierte Instandhaltung wird folglich noch in Condition Monitoring sowie in die prädiktive Instandhaltung unterteilt.

²⁵ Quelle: (Reidt, 2019, S. 46)

²⁶ Vgl. (Matyas, 2002, S. 13)

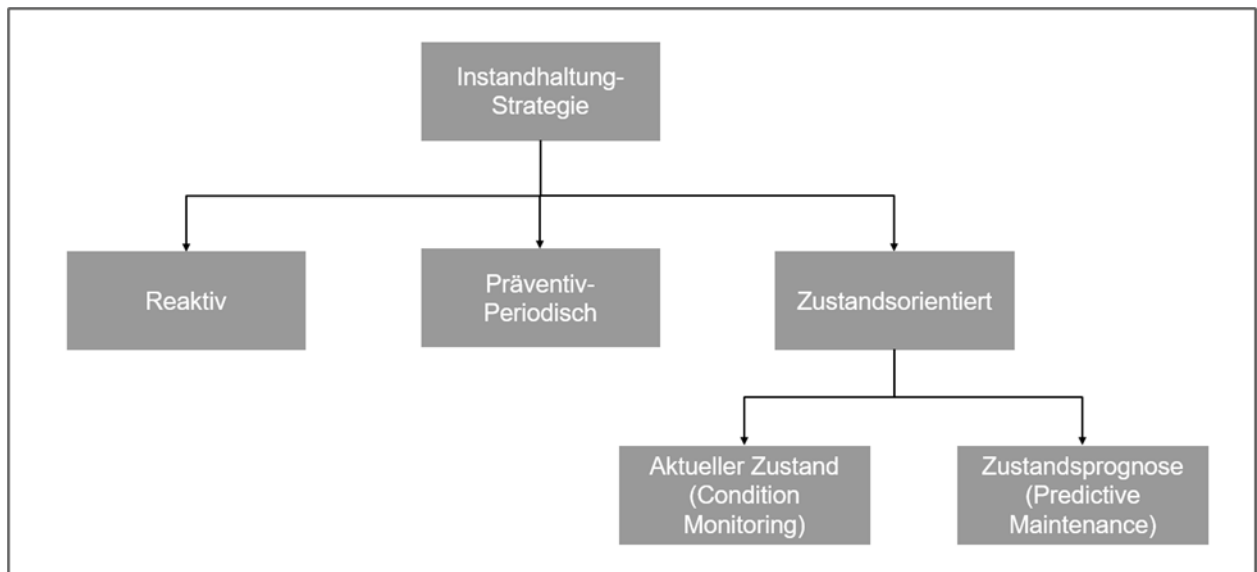


Abbildung 4: Instandhaltungsstrategien²⁷

Folglich wird näher auf die einzelnen Strategien eingegangen und Vor- sowie Nachteile erläutert.

2.3.1 Reaktive Instandhaltung

Reaktive Instandhaltung kann als eine "Run-to-Failure"-Methode der Instandhaltung beschrieben werden. Die Anlage wird betrieben, bis ein Ausfall auftritt. Anschließend wird die ausgefallene Anlage repariert oder ersetzt. Instandsetzungsmaßnahmen werden also erst ergriffen, nachdem die Anlage ihre Funktionsfähigkeit verloren hat.²⁸

Bei reaktiver Instandhaltung können vorübergehende Reparaturen durchgeführt werden, um die Ausrüstung wieder in Betrieb zu nehmen, wobei permanente Reparaturen auf einen späteren Zeitpunkt verschoben werden.²⁹

Diese konservative Strategie ermöglicht es den Abnutzungsvorrat eines Assets optimal auszuschöpfen und dabei die Ausgaben des Betriebs zu minimieren. Des Weiteren ist der planerische Aufwand der Instandhaltung für das Wartungspersonal äußerst gering und folglich kann diese Strategie bei jedem Bauteil angewendet werden.

Die Maßnahmen sind vor allem für Einheiten geeignet, die innerhalb des Produktionsprozesses eine geringere Relevanz haben, weniger stark beansprucht

²⁷ Quelle: In Anlehnung an (Reidt, 2019, S. 53)

²⁸ Vgl. (Schröder, 2010, S. 108)

²⁹ Vgl. (Swanson, 2001, S. 238)

werden oder in Fällen, in denen die Anwendung der anderen beiden Strategien aufgrund der gegebenen Rahmenbedingungen nicht möglich ist.³⁰

Zusätzlich wird diese Herangehensweise bei Komponenten angewendet, deren Ausfallverhalten schwer vorhersehbar ist oder bei welchen eine vorzeitige Ersetzung aufgrund ihrer kostspieligen Anschaffung wirtschaftlich unrentabel sind.³¹

Die reaktive Strategie bringt jedoch auch enorme Mängel mit sich. Schwankende Produktionskapazitäten, überdurchschnittlich hohe Produktion fehlerhafter Teile, sowie hohe Lagerkosten für Ersatzteile sind logische Folgen des „Run-to-Failure“-Betriebs. Als größter Nachteil sind hier die hohen Ausfall- und Mehrkosten bei Versagen kritischer Anlagen zu nennen.

Hinsichtlich der Mitarbeiter erfordert die schadensorientierte Strategie nur ein begrenztes Verständnis des Systems und nur geringe methodische Fähigkeiten. Sie stellt jedoch hohe Anforderungen an die Flexibilität und die Fähigkeit zur schnellen Reaktion nach einem eingetretenen Schadensfall.³²

In

³⁰ Vgl. (Strunz, 2005, S. 296)

³¹ Vgl. (Biedermann H. , 2022, S. 15)

³² Vgl. (Zielowski, 2006, S. 135)

Tabelle 1 werden in Anlehnung an STRUNZ die Vor- und Nachteile erläutert

Durch die ständige Verbesserung der Sensoren und der immer größer werdenden Möglichkeiten der Datengenerierung bzw. -nutzung, findet der ausfallorientierte Ansatz in Industrieunternehmen, und speziell für kritische Anlagen, kaum mehr Verwendung und steht auch nicht im Sinne des Wandels hin zu Industrie 4.0.

Tabelle 1: Reaktive Instandhaltung Vor- und Nachteile ³³

Vorteile	Nachteile
Vollständige Ausnutzung des Abnutzungsvorrates	Reaktives Verhalten
Geringer bzw. kein Planungsaufwand	Hohe Ausfall- und Mehrkosten bei Versagen kritischer Anlagen
	Ausfall entzieht sich dem Einfluss des Betreibers
	Folgeschäden und Störungen im Produktionsablauf oder auch gesundheitliche Schäden
	Überschreitung von Toleranzgrenzen durch erhöhte Abnutzung
	Fehlerhafte Instandhaltung und erneuter Ausfall durch Zeitdruck
	Längere und häufigere Ausfälle
	Hohe Lagerhaltungskosten für die erforderliche Ersatzteilbevorratung

2.3.2 Präventive Instandhaltung

Die präventive Instandhaltung, die in der Literatur auch als vorbeugende/zeitabhängige/geplante Instandhaltung bekannt ist, ist eine Strategie, bei der die Instandsetzung basierend auf vorher festgelegten Zeitabständen planmäßig erfolgt und technisch vorbereitet wird.³⁴

Es werden aufgrund geschätzter Wahrscheinlichkeiten, dass die Ausrüstung innerhalb eines bestimmten Zeitraums ausfallen könnte, entsprechende Instandhaltungsmaßnahmen regelmäßig zu festgelegten Zeitpunkten ausgeführt.³⁵

Die Instandsetzung erfolgt zu festgelegten Zeitpunkten. Dies kann entweder basierend auf der erbrachten Produktionsleistung (z.B. Volumen pro Jahr, Gewicht pro Jahr, Kilometer pro Jahr, Stunden pro Jahr) oder auf der hergestellten Produktionsmenge oder

³³ Quelle: In Anlehnung an (Omer, 2015, S. 18) und (Biedermann H. , 2022, S. 15)

³⁴ Vgl. (Strunz, 2005, S. 296f.)

³⁵ Vgl. (Swanson, 2001, S. 238)

Stückzahl (z.B. Stück pro Jahr) erfolgen. Diese Strategie wird vorwiegend in Bereichen angewendet, in denen der Ausfall der Anlage zu erheblichen Produktionsverlusten und/oder einer erhöhten Gefährdung von Personen und der Umwelt führen kann.³⁶

Um die präventive Methode erfolgreich anzuwenden, ist es erforderlich, über Informationen des Anlagenzustandes zu verfügen, einschließlich Kenntnisse über die Verwendungsdauer sowie aktuelle Sensor- und Inspektionsdaten von Maschinen und Anlagen.³⁷

Diese Informationen tragen zu einer optimalen Anpassung der Instandhaltungsintervalle bei. Dennoch bleibt die Festlegung der Intervalle mit einem gewissen Risiko behaftet, da die Instandhaltungsmaßnahmen von zahlreichen Einflussfaktoren abhängen und auch die Ausfallzeiten der Anlagen variieren können. Abbildung 5 soll diesen Umstand verdeutlichen und gibt einen Überblick der Einflussfaktoren.

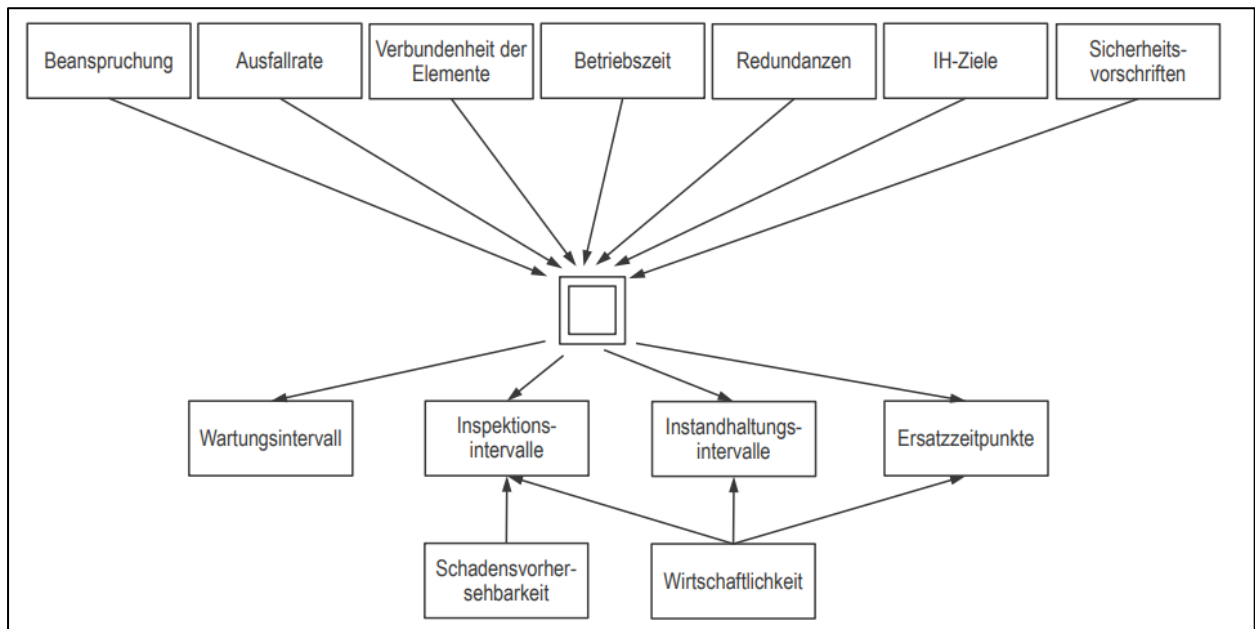


Abbildung 5: Einflussfaktoren der Planungsintervalle³⁸

Diese Strategie kann teuer sein, wenn Teile vorzeitig ausgetauscht werden müssen, bevor der verfügbare Nutzungsvorrat vollständig aufgebraucht ist. Dies bedeutet, dass Komponenten ausgetauscht werden, obwohl sie noch nicht erheblich beschädigt sind. Die Hauptvorteile dieser Strategie sind eine sehr präzise Planung der

³⁶ Vgl. (Strunz, 2005, S. 297)

³⁷ Vgl. (Biedermann H. , 2022, S. 33)

³⁸ Quelle: (Biedermann H. , 2022, S. 18)

Instandsetzungsarbeiten, eine einfache Logistik für Ersatzteile und relativ kurze Ausfallzeiten.³⁹

Eine genaue Auflistung der Stärken und Schwächen der präventiven Instandhaltung sind der

Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2: Präventive Instandhaltung: Vor- und Nachteile⁴⁰

Vorteile	Nachteile
Hohe Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Betrachtungseinheit	Suboptimale Nutzung des Abnutzungsvorrats durch vorbeugenden Austausch von Komponenten.
Ökonomisch vorteilhafter als reaktive Instandhaltung, wenn die Ausfallkosten hoch oder die Anschaffungskosten für Bauteile niedrig sind.	Umfangreiche Betriebsunterbrechungen während einer Periode aufgrund nicht optimierter zeitgesteuerter Instandhaltung.
Vermeidung der Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit benachbarter Elemente und Anlagen	Problemhafte und aufwändige Ermittlung elementbezogener Ausfalldaten. Verschleißfortschritt selten konstant.
Kostenvorteile durch geringere Kapitalbindung bei geplanter Ersatzteilbevorratung (kein Liquiditätsentzug)	Mehrverbrauch an Ersatzteilen
Vermeidung von Störungen und gesundheitlichen Schäden	Anstieg der Ausfallrate infolge von Montage-, Demontage-, und Inbetriebnahme-Fehlern bei zu häufigem Instandhalten
Reduziertes Ausfallrisiko führt zu einer Minderung des Bedarfs an Ersatzteilen für folgeschädigte Anlagen	Erschwerte Schwachstellenanalyse
Bessere Material- und Ersatzteilbestandsplanung und Lagerhaltung	Hohe Planungskosten

2.3.3 Zustandsorientierte Instandhaltung

Wie in Abbildung 4 ersichtlich, erfolgt in dieser Studie eine Differenzierung der zustandsorientierten Instandhaltung in „Condition Based Maintenance“ und „Predictive

³⁹ Vgl. (Strunz, 2005, S. 297)

⁴⁰ Quelle: In Anlehnung an (Omer, 2015, S. 19) und (Biedermann H. , 2022, S. 20)

Maintenance“. Diese Unterscheidung ist vonnöten, da die Ausrichtung der „Condition Based Maintenance“ auf den gegenwärtigen Zustand einer Anlage gerichtet ist, währenddessen die Zustandsprognose als zentrales Element der „Predictive Maintenance“ betrachtet wird. Angesichts des rasanten technologischen Fortschritts gewinnt die zustandsorientierte Instandhaltung in der Industrie zunehmend an Bedeutung und wird als äußerst vielversprechend im Kontext des Wandels hin zu Industrie 4.0 betrachtet.

2.3.3.1 Condition Based Maintenance

In der Literatur auch als „Condition Based Monitoring“ bekannt, richtet diese Form der zustandsorientierten Instandhaltung ihren Fokus auf den aktuellen Zustand der betrachteten Einheit. Komponenten oder Teile werden erst ausgetauscht, wenn ein bestimmter Verschleißgrad oder eine vordefinierte Nutzungsschwelle erreicht wird.⁴¹

Durch den Einsatz effizienter Überwachungs- und Diagnosesysteme wird eine zeitnahe Benachrichtigung über Abweichungen von den geforderten Leistungsniveaus der Anlage erreicht. Hierdurch wird eine flexible Anpassung der Instandhaltungsintervalle an den Nutzungsvorrat ermöglicht.⁴²

Die Erfassung des Zustandes kann auf direktem Wege durch Inspektionen oder auf indirektem Wege anhand gesammelter Qualitätsdaten erfolgen. Inspektionen, einschließlich der entsprechenden Messungen und Kontrollen, können von qualifiziertem Personal, mithilfe mobiler Geräte oder durch integrierte Sensoren durchgeführt werden. Eine indirekte Zustandserkennung kann mittels Qualitätsdaten festgestellt werden, beispielsweise durch die Analyse der Streuung von Messwerten zur Ableitung des Verschleißgrades einzelner Anlagenkomponenten.⁴³

Der entscheidende Vorteil dieser Strategie erfolgt dann, wenn der Abnutzungsvorrat der einzelnen Komponenten weitgehend ausgeschöpft wird. Dies führt zu einer erheblichen Reduzierung der Ausfallwahrscheinlichkeit im Vergleich zur reaktiven Instandhaltung.

Die Inspektionsstrategie zielt darauf ab, den aktuellen Zustand einer Betrachtungseinheit regelmäßig zu erfassen und den Verlauf der Abnutzung zu bewerten. Durch umfassende und kontinuierliche Dokumentation und Bewertung können Fehler frühzeitig erkannt und

⁴¹ Vgl. (Strunz, 2005, S. 297)

⁴² Vgl. (Matyas, 2002, S. 17)

⁴³ Vgl. (Biedermann & Kinz, 2021, S. 55)

Schäden besser diagnostiziert werden, wodurch Ausfälle weitgehend vermieden werden können.⁴⁴

Zusammenfassend beinhaltet das Condition Monitoring die Erfassung, Verarbeitung, Analyse und Interpretation von Daten sowie die Auswahl geeigneter Instandhaltungsmaßnahmen. Dies erfordert beträchtliche Investitionen in die Beschaffung entsprechender Mess- und Prüftechnik sowie die Einstellung hochqualifizierter Mitarbeiter mit einem tiefen Verständnis des Systems und ausgeprägten methodischen Fähigkeiten.⁴⁵

2.3.3.2 Predictive Maintenance

Ein entscheidender und hervorzuhebender Aspekt ist die Entwicklung der zustandsorientierten Instandhaltung im Kontext der technologischen Fortschritte seit der Einführung von Industrie 4.0. Dank verschiedener Data-Mining-Techniken und immer leistungsfähigeren Informationssystemen ist es nun möglich, Fehler- und Zustandsprognosen basierend auf den gesammelten Daten zu erstellen.⁴⁶ Dieser Sachverhalt wird in dieser Arbeit auch als "Predictive Maintenance" oder als "vorausschauende/prädiktive Instandhaltung" tituliert und gewinnt in der Industrie zunehmend an Bedeutung.

Wie bereits angedeutet, baut die prädiktive Instandhaltung auf dem Konzept des Condition Monitoring auf und nutzt eine Vielzahl von Methoden sowie Ansätzen zur Zustandsüberwachung. Hierbei kommen on-premise- und Cloud-Analytics-Lösungen zum Einsatz, um mithilfe von Echtzeit-Analysemethoden und maschinellem Lernen Ausfallzeitpunkte vorherzusagen. Das Hauptziel dieser Strategie besteht in der Steigerung der Wirtschaftlichkeit durch eine erhöhte Zuverlässigkeit und Kostensenkung.⁴⁷

Ähnlich wie bei der zustandsorientierten Instandhaltung, soll der Abnutzungsvorrat vollständig ausgeschöpft werden. Gleichzeitig wird angestrebt, jeden Fehler oder möglichen Ausfall zu vermeiden oder zu beheben, bevor er überhaupt auftritt. Der prinzipielle Aufbau eines Prädiktiven Managementsystems soll in Abbildung 6 dargestellt werden.

⁴⁴ Vgl. (Strunz, 2005, S. 297f.)

⁴⁵ Vgl. (Omer, 2015, S. 20)

⁴⁶ Vgl. (Reidt, 2019, S. 52f.)

⁴⁷ Vgl. (Biedermann H., 2022, S. 31)

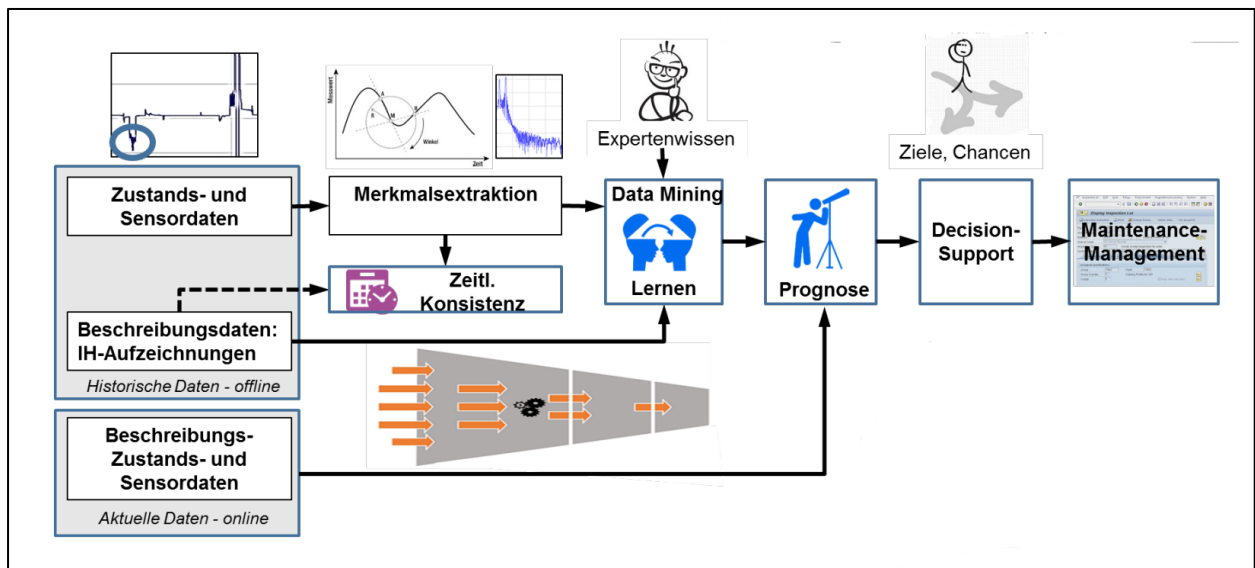


Abbildung 6: Prinzipieller Aufbau prädiktiver Instandhaltung⁴⁸

Des Weiteren unterteilt BIEDERMANN die prädiktive Instandhaltung in die Anwendungsvarianten Typ A und Typ B. Typ A ermöglicht mithilfe statischer Regeln die Identifikation von Ausfallzeitpunkten. Die berechneten Werte führen zu einer Bewertung der Abnutzung beziehungsweise des Risikos und geben Aufschluss darüber, wie kritisch der Zustand der Anlage ist. Typ B hingegen ermöglicht durch dynamische Modelle die Vorhersage von Ausfallwahrscheinlichkeiten. Hierbei werden aktuelle Sensorwerte zu Bauteilen, die Belastung von Bauteilen während der Produktion sowie die Historie von Störungen und durchgeführten Instandhaltungsmaßnahmen berücksichtigt. Die errechneten Werte beziehen sich auf die Restnutzungsdauer von Anlagen und geben an, in welchem Zeitintervall die Instandhaltung geplant werden sollte.⁴⁹

Obwohl die Anfangsinvestitionen für Überwachungs- und Diagnosesysteme hoch sind, haben die Anwendungen gezeigt, dass sie die Instandhaltungskosten senken können. Zudem führt dies zu einer Steigerung der Betriebssicherheit und zu einer Verringerung sowohl der Häufigkeit als auch der Schwere von Systemausfällen.

Als Beispiel wird hier der Ausfall mehrerer Bauteile eines Generators in einem Laufkraftwerk genannt. Sollte dieser Ausfall unerwartet in Zeiten großer Wasserfördermengen geschehen, würde das erhebliche Ertragsverluste nach sich ziehen. Die Verluste werden umso größer, je länger das Personal auf die benötigten Ersatzteile warten muss. Wenn kritische Abnutzungserscheinungen bei Inspektionen

⁴⁸ Quelle: (Biedermann H. , 2022, S. 30)

⁴⁹ Vgl. (Biedermann H. , 2022, S. 32)

gefunden werden und man vor Eintritt eines Totalausfalls die Teile tauscht, vermeidet man somit wirtschaftliche Verluste.

Weitere Vor- und Nachteile der zustandsorientierten Instandhaltung sind in der Tabelle 3 aufgelistet.

Tabelle 3: Zustandsorientierte Instandhaltung: Vor- und Nachteile⁵⁰

Vorteile	Nachteile
Vermeidung von Störungen im Produktionsablauf	Hoher Investitionsaufwand für messtechnische Einrichtungen, Informationsverarbeitung und -transfer
Ermöglicht die Dynamisierung von Inspektionsintervallen	Hoher Inspektionsaufwand
Verhindern von möglichen Gesundheitsschäden, die sich als Folge eines Schadensfalls ergeben könnten.	Hoher Planungsaufwand für Strategieentwicklung
Optimale Ausnutzung des Abnutzungsvorrates	Hoher Personalaufwand für Messerfassung und -transfer
Optimale Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit infolge des Frühwarnsystems, Minimierung der Ausfälle	Fortgeschrittene Qualifikation der Instandhalter für die Verarbeitung von Messwertdaten und die Erstellung von Planungsunterlagen.
Optimale Ersatzteilplanung und dadurch verringerte Kapitalbindung	Nicht bei allen Komponenten möglich
Optimale Organisation und Kapazitätsplanung, dadurch bessere Ausnutzung der Instandhaltungskapazitäten	
Kostensenkung durch Restnutzungsdauerprognose und Fehlerfrüherkennung	

An dieser Stelle wird noch auf eine ergänzende Strategie, und zwar der Verbesserungsorientierten Instandhaltungsstrategien hingewiesen. Die verbesserungsorientierte Instandhaltung stellt eine Weiterentwicklung des klassischen Instandhaltungsansatzes dar, indem sie über das bloße Beheben von Störungen hinausgeht. Ihr Hauptziel besteht in der nachhaltigen Beseitigung von Schwachstellen sowie der umfassenden Ausschöpfung von Verbesserungspotenzialen. Ein besonderes

⁵⁰ Quelle: In Anlehnung an (Omer, 2015, S. 21) und (Biedermann H. , 2022, S. 25ff.)

Merkmal dieser Strategie liegt in ihrer Anwendbarkeit in Verbindung mit jeder Instandhaltungsstrategie, idealerweise als integraler Bestandteil jeder dieser Strategien. Die Vorteile dieser Herangehensweise umfassen eine nachhaltige Schwachstellenbeseitigung, eine Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit und eine Reduktion der Instandhaltungskosten. Es ist jedoch zu beachten, dass die verbesserungsorientierte Instandhaltung ihre volle Effektivität vor allem bei bekannten Schwachstellen entfaltet. Des Weiteren kann sie nicht in allen Fällen als wirtschaftlich betrachtet werden. Trotz dieser Herausforderungen stellt diese Strategie eine bedeutende Möglichkeit dar, um die Leistungsfähigkeit von Anlagen langfristig zu steigern und eine nachhaltige Instandhaltung zu gewährleisten.⁵¹

Im Kontext der zu formulierenden Instandhaltungsstrategien spielt die Anforderung an die gesammelten Daten und Informationen eine entscheidende Rolle. Die Komplexität und die Anforderungen an die bereitgestellte Daten- und Informationsgrundlage steigen von der reaktiven über die präventive bis zur zustandsorientierten Instandhaltung. Die benötigten Daten und das erforderliche Wissen für die einzelnen Strategien sind in Abbildung 7 dargestellt. Dabei zeigt sich, dass die reaktive Instandhaltung keine spezifische Datengrundlage für eine erfolgreiche Durchführung erfordert. Im Gegensatz dazu benötigt die zeitlich periodische Instandhaltung Bauteilinformationen des Herstellers, um das Wartungsintervall festzulegen. Für eine laufleistungsorientierte präventive Instandhaltung muss die Frage nach der aktuellen Anlagenutzung geklärt werden, wofür neben Herstellerangaben auch aktuelle Daten aus Inspektionen, von eingesetzten Sensoren und Expertenwissen über die Anlage erforderlich sind. Die zustandsorientierte Instandhaltung erfordert zusätzliche Informationen, um aussagekräftige Zustandsaussagen über das betrachtete Bauteil treffen zu können. Hierbei müssen historische Daten gesammelt und datenanalytisches Know-how integriert werden, um die Informationen optimal auswerten zu können. Die prädiktive Instandhaltung stellt die anspruchsvollste Form dar und benötigt eine umfassende Datengrundlage. Diese umfasst Informationen des Herstellers, historische sowie aktuelle Daten, Expertenwissen und Data-Mining-Techniken sowie einen Algorithmus, um eine valide Prognose über den zukünftigen Zustand eines Bauteils erstellen zu können.⁵²

⁵¹ Vgl. (Biedermann H. , 2022, S. 34) und (Biedermann & Kinz, 2021, S. 56)

⁵² Vgl. (Biedermann H. , 2022, S. 33)

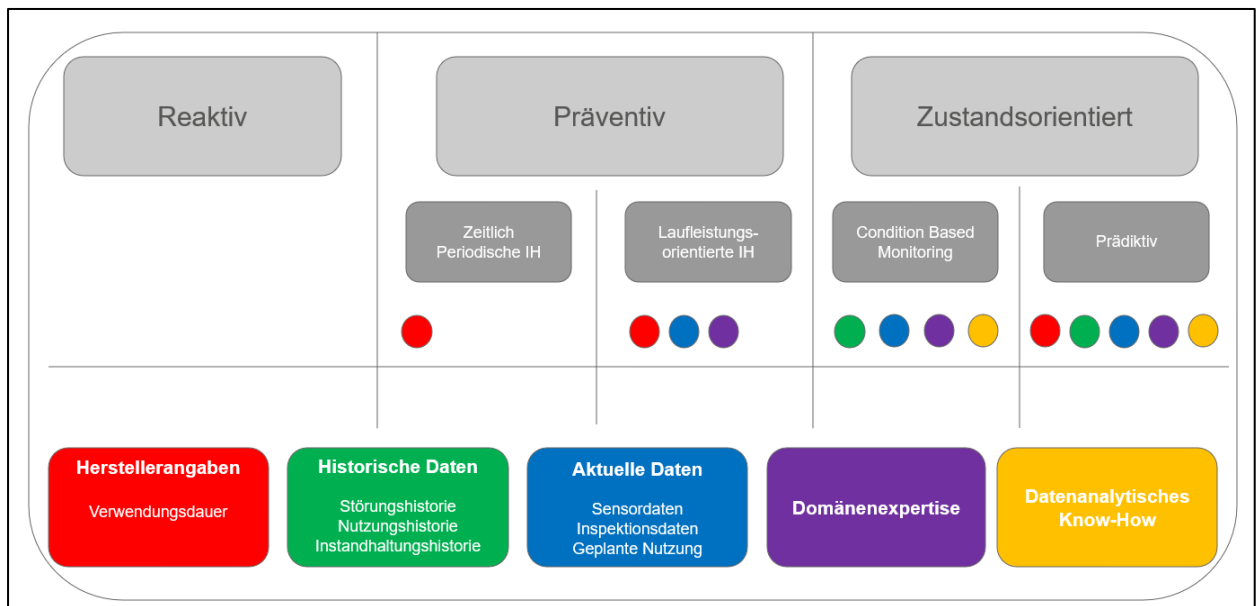
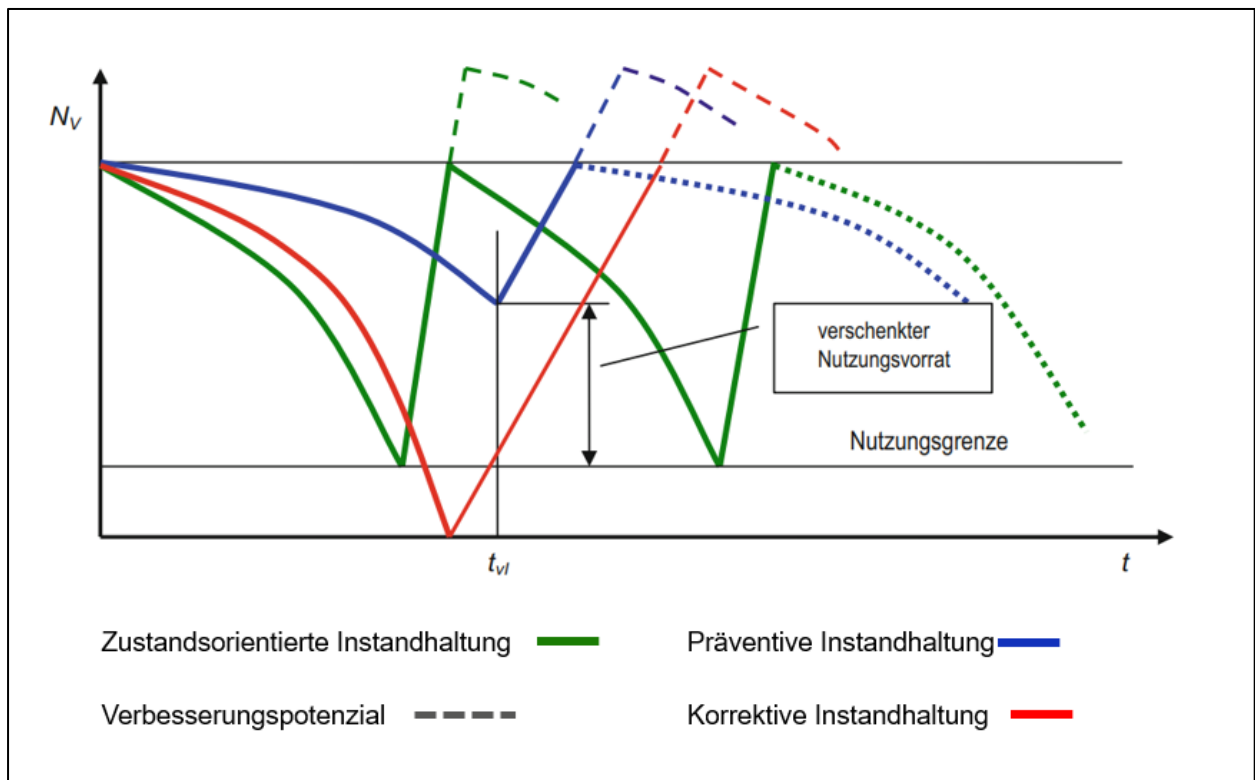


Abbildung 7: Datengrundlage für Instandhaltungsstrategie⁵³

Schlussendlich lassen sich sämtliche in der Praxis angewandten Instandhaltungsstrategien auf die drei klassischen Strategien zurückverfolgen, deren zeitliche Abnutzungsverläufe in Abbildung 8 dargestellt werden.

⁵³ Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Biedermann H. , 2022, S. 33)

Abbildung 8: Verlauf des Abnutzungsvorrats ⁵⁴

Es lässt sich erkennen, dass die reaktive bzw. schadensorientierte Instandhaltung den Abnutzungsvorrat vollständig ausnutzt und die Reparatur erst bei vollständigem Versagen durchführt.

Die präventive Instandhaltung kann den Abnutzungsvorrat nicht voll ausschöpfen und die Instandsetzungsmaßnahmen werden in der Regel zu früh durchgeführt. Der Abnutzungsvorrat wird vorbeugend auf das Ausgangsniveau oder auch ein verbessertes Ausgangsniveau gehoben.

Die zustandsorientierte Instandhaltung strebt einen maximalen Ertrag des Nutzungsvorrats an. Die Instandsetzung sollte gerade noch vor Überschreiten der Grenze geschehen, sodass wirtschaftliche Verluste vermieden werden können.

Alle Strategien weisen jedoch ein Verbesserungspotenzial, welches den Abnutzungsvorrat über das Ausgangsniveau steigern und durch Anwendung der Schwachstellenbeseitigung ausgenutzt werden kann.

Es ist wichtig anzumerken, dass in Betrieben in der Regel eine Kombination aus verschiedenen Instandhaltungsstrategien zur Anwendung kommt. Die Abwägung des

⁵⁴ Quelle: In Anlehnung an (Strunz, 2005, S. 300)

geeigneten Mix aus Strategien stellt in der Praxis eine fortwährende Herausforderung dar und sollte Anlagenspezifisch festgelegt werden. Eine ideale Balance zwischen zu viel und zu wenig Instandhaltung, zwischen Kosten und Nutzen sowie zwischen Risiko und Sicherheit führt zu einem anhaltend variablen Spannungsfeld bei der Festlegung der Strategie. Die Strategie orientiert sich in der Regel an den Gesamtkosten, die in Verbindung mit technischem Versagen zu den tatsächlichen Betriebsausgaben führen.⁵⁵

⁵⁵ Vgl. (Reichel, et al. 2009, S. 138)

2.4 Anpassung des Strategiemixes

Die Ausarbeitung der Instandhaltungsstrategie erfolgt auf der strategischen Ebene. Die Instandhaltungsstrategieplanung hat signifikanten Einfluss auf die Effektivität der Instandhaltung, indem sie anlagenspezifisch die optimale Strategiekombination unter den aktuellen Bedingungen für die Zielerreichung festlegt. Aufgrund der kontinuierlichen Veränderungen der Rahmenbedingungen erfordert die Instandhaltungsstrategie eine dynamische Anpassung. Diese Anpassung muss gezielt und mit minimalen Aufwänden erfolgen, da ansonsten die Umsetzung im strategischen Regelkreis an zeitlichen Ressourcen scheitern könnte. Gemäß BIEDERMANN und KINZ empfiehlt sich eine methodische Herangehensweise für die dynamische Anpassung des Instandhaltungsmixes. Dieser Prozess ermöglicht eine gezielte Ausrichtung begrenzter Ressourcen auf die wichtigsten Anlagen in Bezug auf Wertschöpfungsorientierung und Risikovermeidung. Die strukturierte Vorgehensweise besteht aus fünf Schritten, wie in der Abbildung 9 dargestellt und im Folgenden erläutert wird.⁵⁶

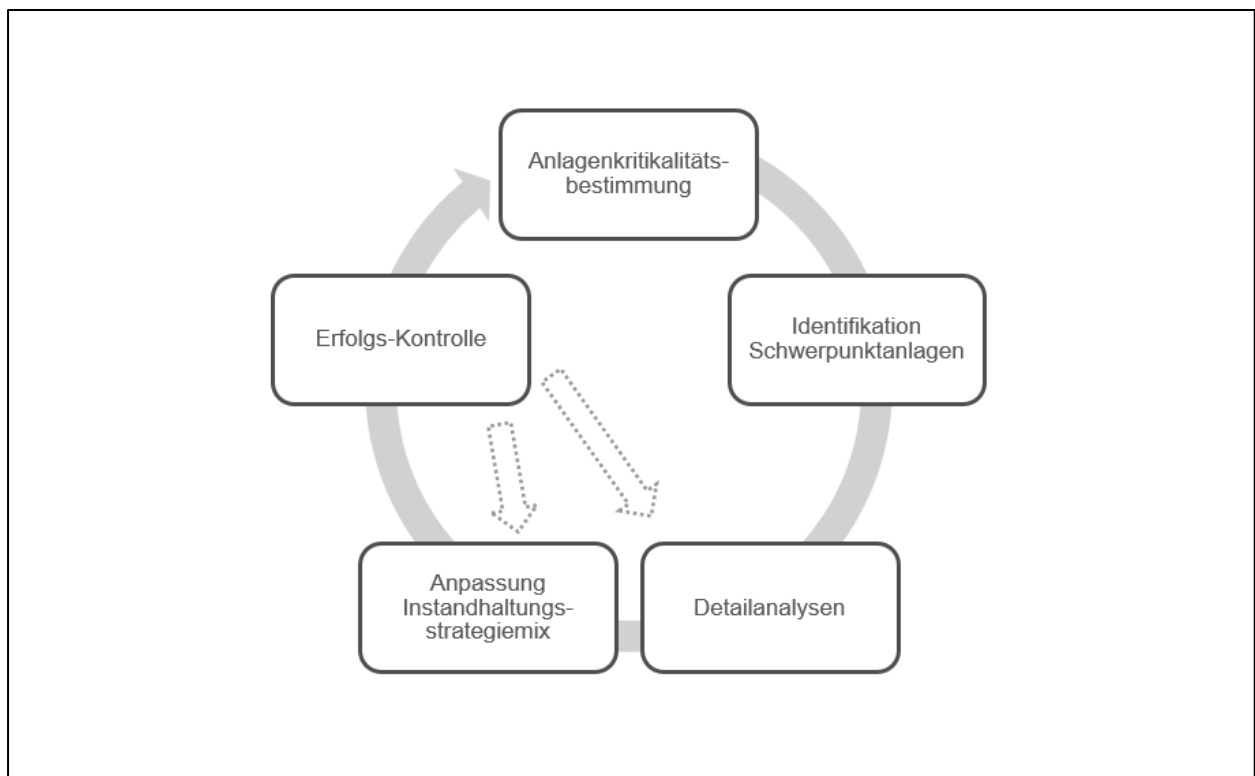


Abbildung 9: Regelkreis des Instandhaltungsmixes⁵⁷

⁵⁶ Vgl (Biedermann & Kinz, 2021, S. 56f.)

⁵⁷ Quelle: eigene Darstellung

1. Anlagenkritikalitätsbestimmung

Zur effektiven Gestaltung des Instandhaltungsmanagements ist es entscheidend, begrenzte Ressourcen auf die wichtigsten Tätigkeitsfelder zu konzentrieren. Die Bewertung sämtlicher Instandhaltungsobjekte nach Kritikalitätsaspekten ermöglicht eine Priorisierung und bildet den ersten Schritt zur Optimierung des Instandhaltungsstrategiemixes. Die Kritikalität eines Systems quantifiziert die Schwere eines möglichen Versagens und unterstützt die Identifikation sowie Priorisierung von Anlagen innerhalb eines Produktion-Systems. Die Beurteilung der Kritikalität zielt darauf ab, die Bedeutung und die Auswirkungen eines potenziellen Fehlers im operationellen Kontext eines Produktion-Systems zu analysieren. Die Erfahrungsbewertung durch das operative Personal kann subjektiv und kontextabhängig sein, weshalb eine strukturierte Anlagenbewertung vorteilhaft ist. Diese bietet rechtzeitige Anpassung an sich ändernde Umfeldbedingungen, Berücksichtigung aller Einflussgrößen und identifiziert auch bisher unterschätzte kritische Anlagen. Die strukturierte Bewertungsmethodik, wie die Kriterienbewertung, ermöglicht eine quantifizierte Vergleichbarkeit der Anlagen und eine dynamische Anpassung an Veränderungen. Durch die Entwicklung eines maßgeschneiderten Kriterienbewertungsmodells kann eine objektive und vergleichbare Bewertung aller Anlagen erreicht werden. Dabei sind die regelmäßige Reflexion und Anpassung des Modells an aktuelle Anforderungen entscheidend.⁵⁸

2. Identifikation von Schwerpunktanlagen

Im zweiten Schritt der Optimierung des Instandhaltungsstrategiemix werden diejenigen Anlagen ausgewählt, die das größte Potenzial zur Erhöhung des Wertschöpfungsbeitrags durch Veränderung der Instandhaltungsstrategie aufweisen. Hierzu erfolgt ein Vergleich der direkten Instandhaltungskosten mit dem Anlagenindex im Anlagen-Prioritätsportfolio. Anhand des Verhältnisses von Instandhaltungskosten zu Anlagenkritikalität können Anlagen mit Verdacht auf "Overmaintenance" oder "Undermaintenance" identifiziert werden. Das Anlagen-Prioritätsportfolio ermöglicht eine differenzierte Betrachtung, indem es Anlagen in Quadranten einteilt und damit den Analysebedarf für jede Gruppe aufzeigt. Anlagen in den Quadranten II, III und IV sind besonders aufschlussreich und erfordern eine detaillierte Analyse, um das Potenzial für Wertschöpfungssteigerungen zu

⁵⁸ Vgl. (Biedermann & Kinz, 2021, S. 168 ff.)

identifizieren. Die benötigten Analysen im jeweiligen Quadranten werden in Abbildung 10 dargestellt.⁵⁹

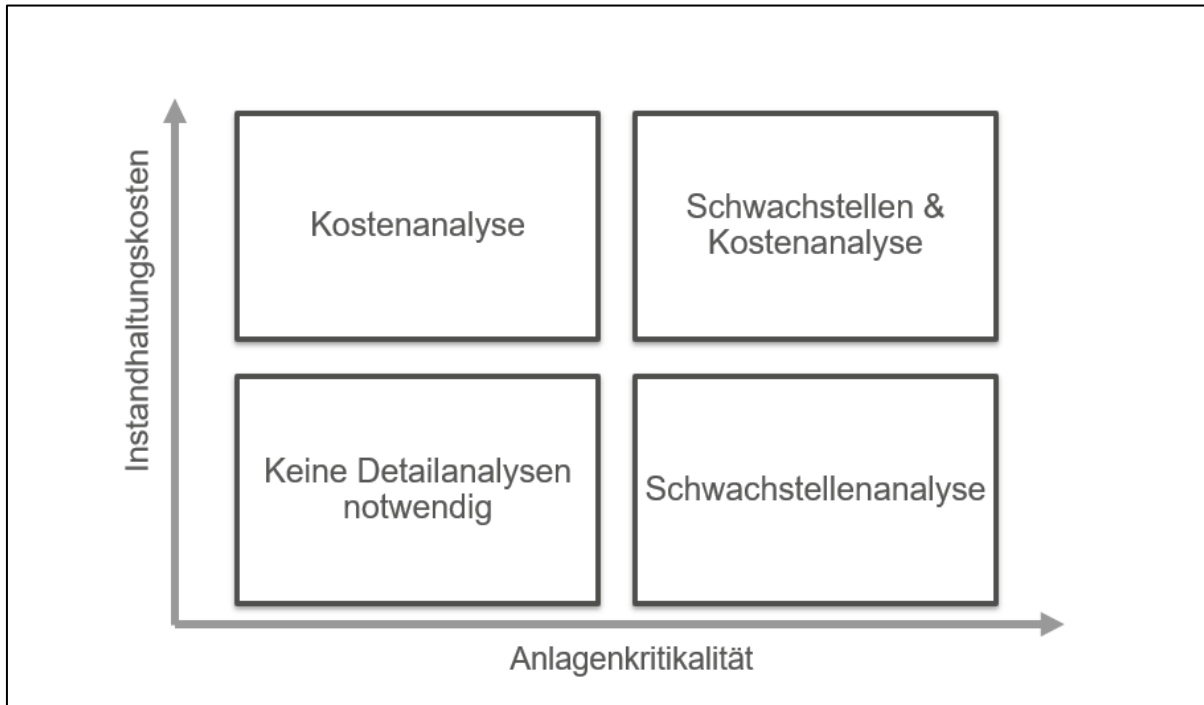


Abbildung 10: Analysebedarf der Schwerpunktanlagen⁶⁰

3. Detailanalyse der Schwerpunktanlagen

Die Schwerpunktanlagen werden anhand eines Prioritätsportfolios analysiert, das die Ressourcenoptimierung durch die Identifikation weniger wichtiger Anlagen vor aufwändigeren Analysen unterstützt. Erfahrungen zeigen, dass etwa 70% bis 80% der Anlagen im unauffälligen Bereich des Portfolios liegen und daher geringes Potenzial für Strategieoptimierung bieten. Die Strukturierung komplexer Anlagen erfolgt in Teilanlagen, Baugruppen und einzelne Bauelemente. Die Kostenanalyse konzentriert sich auf Anlagen im auffälligen Kostenbereich des Portfolios. Größere Kostenverursacher werden näher analysiert, und eine differenzierte Betrachtung von geplanten und ungeplanten Kosten ist sinnvoll. Die Schwachstellenanalyse umfasst die Identifikation von Ursachen und die Analyse von unbefriedigenden Situationen. Die Auslegung kann enger sein, indem sie sich auf Störungen oder Schäden konzentriert, oder umfassender, indem sie verschiedene Schwachstellenarten berücksichtigt. Die Analyse kann kenngrößenbezogen, schadensstatistikbezogen

⁵⁹ Vgl. (Biedermann & Kinz, 2021, S. 179ff.)

⁶⁰ Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Biedermann & Kinz, 2021, S. 181)

oder kausalitätsbezogen erfolgen, wobei letztere auch vorbeugende Ansätze einbezieht. Die Schwachstellenanalyse ist entscheidend für hochkritische Anlagen und basiert auf einer Bewertung von Kriterien, Instandhaltungs-Controlling-Kennzahlen und anderen relevanten Datenquellen.⁶¹

4. Anpassung Instandhaltungsstrategiemix

Nach Auswertung der Schwachstellenanalyse und der Identifikation von Schwachstellen einer Anlage erfolgt die Anpassung des Strategiemixes. Dabei wird versucht die Strategie einer Anlage zu optimieren und den Wertschöpfungsbeitrag zu maximieren.⁶²

5. Erfolgskontrolle

Nach der Umsetzung der Maßnahmen im Strategieoptimierungsprozess erfolgt eine jährliche Erfolgskontrolle auf der strategischen Ebene des Instandhaltungsmanagements. Während der jährlichen strategischen Planungsphase, in der die Instandhaltungsstrategie, Ressourcen und das Budget geplant werden, wird das Anlagen-Prioritätsportfolio neugestaltet. Veränderungen in der Position der Anlagen darin geben Auskunft darüber, ob die neue Instandhaltungsstrategie die erwarteten Effekte erzielt hat. Das Instandhaltungs-Controlling ermöglicht zudem eine laufende Bewertung der Wirksamkeit des Strategiemix anhand von Kennzahlen wie OEE, Anlagenverfügbarkeit und Instandhaltungskosten. Dabei ist zu beachten, dass positive Effekte, besonders durch organisatorische Veränderungen, nicht unmittelbar, sondern erst nach einer gewissen Zeitspanne ersichtlich werden. Bei festgestellten Abweichungen initiiert das Instandhaltungs-Controlling Maßnahmen auf operativer, operativ-strategischer oder strategischer Ebene. Diese können eine vollständige Neuauflage des Strategieoptimierungsprozesses, erneute Detailanalysen oder die Entwicklung/Auswahl alternativer Instandhaltungsmaßnahmen beinhalten. Diese dynamischen Reaktionen gewährleisten eine fortlaufende Anpassung des Instandhaltungsstrategiemix mit dem Ziel, die Wertschöpfungsorientierung zu steigern.⁶³

⁶¹ Vgl. (Biedermann & Kinz, 2021, S. 181ff.)

⁶² Vgl. (Biedermann & Kinz, 2021, S. 207f.)

⁶³ Vgl. (Biedermann & Kinz, 2021, S. 197ff.)

Abschließend wird in diesem Abschnitt explizit auf die Relevanz von Daten bei der Auswahl der richtigen Instandhaltungsstrategie hingewiesen. Grundsätzlich

Die präzise Mischung der Instandhaltungsstrategien variiert je nach den spezifischen Anlagen und ihrem jeweiligen Anforderungsprofilen in unterschiedlichen Szenarien. Es ist in unmissverständlicher Deutlichkeit ersichtlich, dass eine gründliche Analyse von Daten von entscheidender Bedeutung ist, um die zustandsorientierte Instandhaltung und insbesondere die Predictive Maintenance erfolgreich zu implementieren. Dies schließt die Datenerfassung und -analyse aus verschiedenen Blickwinkeln, die Identifikation unterschiedlicher Datenquellen, die Fähigkeit zur effizienten Nutzung dieser Daten und deren nahtlose Integration in bestehende Daten- und Informationssysteme mit ein.⁶⁴

Die Datenbeschaffung ist eine Sache, ihre Integration und vor allem die Fähigkeit, daraus relevante Erkenntnisse zu gewinnen, eine andere. Aus diesem Grund trifft die Idee der vorausschauenden Instandhaltung zwar immer noch auf Widerstand, jedoch ist ein eindeutiger Aufwärtstrend erkennbar. Eine sinnvolle Implementierung von Predictive Maintenance erfordert, dass Unternehmen und beteiligte Abteilungen wie IT und Datenwissenschaftler über notwendige Kompetenzen im Bereich Big Data, Business Intelligence und Data Warehousing verfügen. Eine weitere essenzielle Voraussetzung ist eine bedingungslose Fokussierung auf die Qualität der Daten.⁶⁵

Wie gerade erläutert, ist eine fortschrittliche Instandhaltung ohne eine qualitativ hochwertige Daten- und Informationsgrundlage nicht realisierbar. Aus diesem Grund wird im kommenden Kapitel der Produktionsfaktor „Daten“ näher betrachtet.

⁶⁴ Vgl. (Factorynet, 2023)

⁶⁵ Vgl. (Factorynet, 2023)

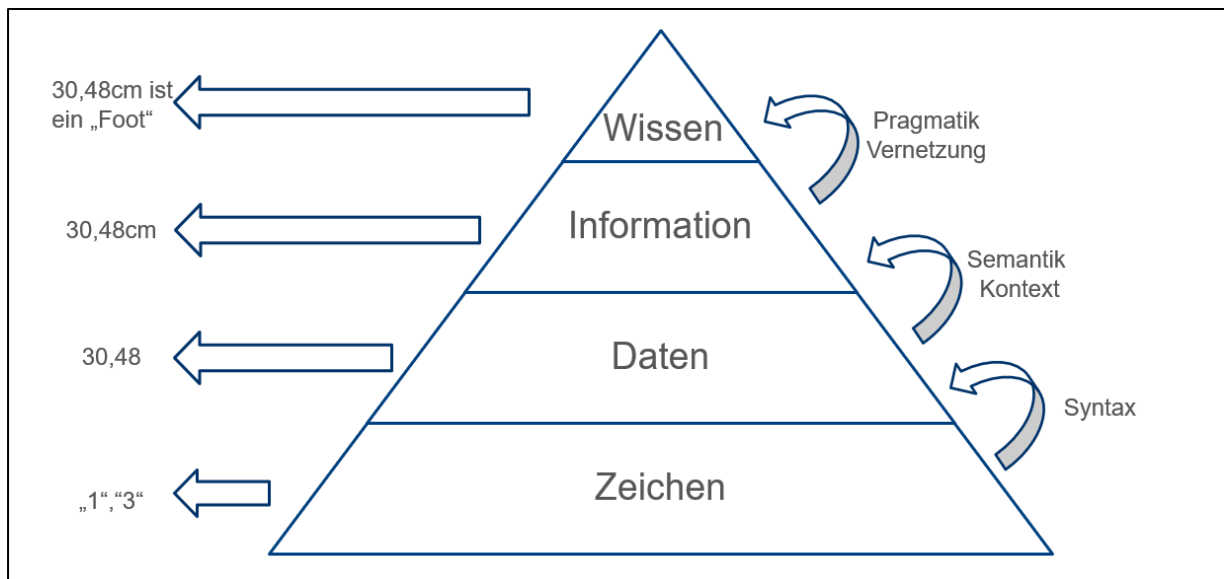
3 Der Produktionsfaktor „Daten“

In diesem Kapitel wird die wachsende Bedeutung von Daten und Informationen als zusätzlicher Produktionsfaktor im Kontext der vierten industriellen Revolution thematisiert. Das Kapitel beginnt mit einer Unterscheidung zwischen Daten, Informationen und Wissen mithilfe der Wissenspyramide. Anschließend wird das Datenmanagement beschrieben, das als die Gesamtheit der Prozesse und Organisationseinheiten definiert wird, die der Planung, Beschaffung, Organisation, Nutzung und Entsorgung von Unternehmensdaten dienen. Dann wird die Einteilung der Daten vorgenommen. Schließlich werden verschiedene Informationssysteme im Bereich der Instandhaltung vorgestellt. Die Funktionalitäten und Ziele dieser Systeme werden zum Schluss erläutert, um zu zeigen, wie sie die Instandhaltungsprozesse und die Effizienz verbessern können.

3.1 Daten, Informationen und Wissen

Die drei Begriffe Daten, Informationen und Wissen haben im Datenmanagement eine hohe Bedeutung und können voneinander abgegrenzt werden. Ein in der Literatur weit verbreiteter Versuch der Begriffsabgrenzung stellt die Wissenspyramide dar.

In Abbildung 11 erkennt man die eindeutige Abgrenzung von Zeichen, Daten, Information und Wissen. Die kleinste Einheit der Datenelemente in der Wissenspyramide sind die Zeichen. Mittels syntaktischer Regeln werden diese Zeichen zu Aussagen angeordnet. Die angeordneten Zeichen bilden die Grundlage der Daten. Daten sind messbar, anordbar und strukturierbar. Durch semantische Zuordnung erhalten diese Aussagen bzw. Daten Bedeutung, was zur Entstehung der folgenden Ebene führt: Informationen. Informationen ermöglichen es beispielsweise, komplexe Probleme zu erklären und damit Ziele zu erreichen. Den Gipfel der Wissenspyramide bildet das Wissen. Dieses entsteht durch das Verknüpfen von Informationen anhand von Erfahrungen, Wertvorstellungen und fachlichem Know-how. Wissen übertrifft Informationen in seiner Komplexität und gilt gleichzeitig als eine der wertvollsten Ressourcen eines Unternehmens. Anhand von Wissen können fundierte Entscheidungen getroffen und gezielte Aktionen eingeleitet werden.

Abbildung 11: Wissenspyramide⁶⁶

Der Zusammenhang der Begriffe lässt sich anhand eines Zahlenbeispiels darstellen. Zeichen sind in diesem Beispiel Zahlen und ein Beistrich. 30,48 ist eine Zahl, welche ohne Kontext keine Bedeutung hat. Erst wenn man dieser Zahl ein Längenmaß zuordnet, erhält man eine Information. Durch die Vernetzung mehrerer Informationen entsteht das Wissen, dass das metrische Längenmaß 30,48cm dem Anglo-amerikanischen Längenmaß „1 ft“ (Foot) entspricht.

Daten, Informationen und Wissen unterliegen einem Zyklus, in dem sie entstehen und verschwinden. Sie werden erzeugt, gespeichert, in vielfältiger Weise genutzt, weitergegeben und schließlich auch wieder entfernt. Eine bedeutende Herausforderung besteht darin, die Menge an Daten, Informationen und Wissen effektiv zu kontrollieren. Es gilt, einen angemessenen Vorrat an Elementen aus diesen Bereichen zu gewährleisten, um sowohl einen Mangel als auch eine "Überflutung" der Suchenden zu vermeiden. Letzteres würde dazu führen, dass wesentliche Inhalte in der Masse untergehen und nicht gefunden werden können. Daher erfordern sämtliche Speicher von Daten, Informationen und Wissen klare Richtlinien. Diese definieren, welche Inhalte aufgenommen werden sollen, wie sie genutzt werden können und wann sie entfernt werden müssen.⁶⁷ Diese Richtlinien, sowie weitere fundamentale Prozesse mit dem Umgang von Daten werden im Datenmanagement beschrieben.

⁶⁶ In Anlegung an (Bodendorf, 2006, S. 1)

⁶⁷ Vgl. (Bodendorf, 2006, S. 2)

3.2 Datenmanagement

Nach DIPPOLD wird unter Datenmanagement *„einerseits alle Prozesse, welche der Planung, Beschaffung, Organisation, Nutzung und Entsorgung der Unternehmensressource Daten dienen, und andererseits die Organisationseinheiten, welche für diese Prozesse gesamthaft verantwortlich sind“*, verstanden.⁶⁸

Das Feld des Datenmanagements umfasst sämtliche geschäftlichen und technologischen Aspekte in Bezug auf Daten. Dazu gehören die Gestaltung von Datenmodellen, die Verwaltung von Daten, technische Aspekte wie Datenverarbeitungsmethoden und Datensicherheit, die Aufrechterhaltung von Datenkonsistenz sowie Maßnahmen zur Datensicherung wie beispielsweise Backups. Ebenfalls einbezogen werden Services für datenbezogene Nutzer. Das Hauptziel des Datenmanagements besteht darin, die Bereitstellung und Nutzung von Daten im Unternehmenskontext zu gewährleisten. Dies beinhaltet die Gewährleistung von Datenqualitätsaspekten wie Genauigkeit, Konsistenz, Aktualität, Anwendungsrelevanz und die Zusammenhänge zwischen den Daten. Infolgedessen zielt das Datenmanagement darauf ab, die Qualität der bereitgestellten Informationen zu verbessern und unterstützt darüber hinaus die effiziente Entwicklung von Anwendungssystemen durch den Einsatz von Datenbanken sowie geeigneten Modellierungsverfahren.⁶⁹

Die Hauptaufgaben des Datenmanagements konzentrieren sich auf verschiedene Kernbereiche. Dazu gehört die Ausarbeitung einer klaren Strategie. Diese legt fest, welche Daten in welcher Art und Weise für spezifische Systeme und Aufgaben zur Verfügung gestellt werden sollen. Zudem beinhaltet sie die Zuweisung von Verantwortlichkeiten innerhalb der Organisation für die Pflege und Erfassung der Daten, sowie die sorgfältige Abstimmung und präzise Bereitstellung der Daten in einer einheitlichen Form.

Betrachtet man Daten als die Basis für die Generierung von Informationen als unternehmensinternen Produktionsfaktor, ergeben sich bedeutsame Implikationen:⁷⁰

- **„Entscheidungsgrundlage:** *Daten bilden Entscheidungsgrundlagen und sind somit in allen Organisationsfunktionen von Bedeutung.*
- **Qualitätsanspruch:** *Daten können aus unterschiedlichen Quellen zugänglich gemacht werden; die Qualität der Information ist von der Verfügbarkeit, Korrektheit*

⁶⁸ (Dippold, et al., 2005, S. 21)

⁶⁹ Vgl. Biethan und Rohrig 1990; Meier 1994, zitiert nach (Krcmar, 2015, S. 178f.)

⁷⁰ Vgl. (Meier & Kaufmann, 2016, S. 2)

und Vollständigkeit der Daten abhängig können aus unterschiedlichen Quellen stammen. Die Qualität der bereitgestellten Informationen hängt von der Verfügbarkeit, Richtigkeit und Vollständigkeit der zugrunde liegenden Daten ab.

- **Investitionsbedarf:** *Durch das Sammeln, Speichern und Verarbeiten von Daten fallen Aufwand und Kosten an.*
- **Integrationsgrad:** *Aufgabengebiete und -träger jeder Organisation sind durch Informationsbeziehungen miteinander verknüpft, die Erfüllung ist damit in hohem Maße vom Integrationsgrad der Daten abhängig.“*

Bei Betrachtung als wichtiger Produktionsfaktor sollen Daten und in weiterer Folge das Datenmanagement als essenzielle Managementaufgabe betrachtet werden. Dies erfordert die geplante, gesteuerte, überwachte und kontrollierte Verwaltung dieser Ressource. Des Weiteren stellt diese Veränderung im Unternehmen eine grundlegende Umstellung dar. Neben den Betrieb der Informations- und Kommunikationsinfrastruktur muss auch die Strukturierung der Datenströme in Betracht gezogen werden.⁷¹

Datenmanagement ist ein komplexer Prozess, der nicht ad hoc umsetzbar ist. Es unterscheidet sich wesentlich von anderen Managementaufgaben und der damit einhergehenden Ressourcenverteilung. REDMAN definiert sechs Eigenschaften, welche diesen Umstand beschreiben:

1. **Abstrakt und nicht direkt sichtbar:** Daten sind abstrakt und können nicht direkt wahrgenommen werden.
2. **Leicht vielfältigbar und verteilbar:** Im Gegensatz zu materiellen Ressourcen können Daten einfach vervielfältigt und nahezu unbegrenzt verteilt werden.
3. **Nicht "verbrauchbar":** Daten bleiben vorhanden. Ihr Nutzen kann sich über den Lebenszyklus verändern, sowohl positiv als auch negativ.
4. **Nicht austauschbar:** Daten sind nicht austauschbar, da ihre Aussagekraft aus den Unterschieden zwischen ihnen resultiert. Die Analyse konzentriert sich auf diese Unterschiede, nicht auf Gemeinsamkeiten.
5. **Kein Markt und Preis:** Es gibt in der Regel keinen Markt für Daten, auf dem sie gekauft und verkauft werden, und dementsprechend existiert kein fester Preis. Die Wertbestimmung ist schwierig und subjektiv.
6. **Dynamisch:** Daten sind dynamisch und verändern sich schneller als viele andere Ressourcen.⁷²

⁷¹ Vgl. (Meier & Kaufmann, 2016, S. 2f.)

⁷² Redman, T. C. (1996) zitiert nach (Dippold, et al., 2005, S. 245)

3.3 Einteilung der Daten

In der Literatur findet man unterschiedliche Einteilungen von Daten. In dieser Arbeit werden diese nach dem Vorbild von BALZER und SCHORN gegliedert. Demzufolge können sie in die drei folgenden Kategorien eingeteilt werden:⁷³

- Bestandsdaten
- Auftrags- und Bewegungsdaten und
- Prozess- und Steuerungsdaten

Es können im Rahmen eines gesamten Geschäftsprozesses weitere Daten gesammelt werden, allerdings decken diese drei Kategorien die wichtigsten Informationen im Assetmanagement von Infrastrukturanlagen ab. Aus diesem Grund eignen sie sich für das Themengebiet dieser Masterarbeit und werden folglich genauer beschrieben.

3.3.1 Bestandsdaten

„Die Bestandsdokumentation wird dadurch charakterisiert, dass die Daten und Unterlagen einer geringen Fluktuation unterliegen und über die Lebensdauer von Anlagen, Kundenanschlüssen und auch Organisationsformen stabil sind. Sie wächst mit der Erweiterung der Infrastruktur, mit der Verwendung neuer Materialien oder bei der Erweiterung des Lieferantenkreises und stellt in gewisser Weise auch die Geschichte des Infrastrukturunternehmens dar.“⁷⁴

Sie werden in der Literatur auch manchmal als Stammdaten bezeichnet und dienen der Erkennung, Beurteilung und Beschreibung von Anlagen. In Tabelle 4 werden die relevantesten Daten der Bestandsdokumentation aufgelistet. Wie aus der Definition schon zu entnehmen ist, sind diese Daten langlebig und werden nur bei Bedarf erweitert. In vielen Bereichen der produzierenden Industrie und auch in der Literatur werden diese Informationen als „Stammdaten“ zusammengefasst.

⁷³ Vgl. (Balzer & Schorn, 2020, S. 367ff.)

⁷⁴ (Balzer & Schorn, 2020, S. 367)

Tabelle 4: Bestandsdaten⁷⁵

Technische Anlagenbeschreibung
<ul style="list-style-type: none"> • Pläne CAD, 3D-Modelle • Datenblätter, Type, Baujahr, Hersteller
Herstellerunterlagen
<ul style="list-style-type: none"> • Pläne, Garantien, Vertragsunterlagen • Betriebshandbücher
Anlagenstruktur/Infrastruktur
<ul style="list-style-type: none"> • Anlagenhierarchie • Vernetzung, Verknüpfung
Materialressourcen
<ul style="list-style-type: none"> • Reservegeräte • Fertigungshilfsmittel, Betriebsausrüstung
Organisationsinformationen
<ul style="list-style-type: none"> • Zuständigkeitsverteilung, Verantwortung • Kostenstellenplan, Verrechnungshierarchie
Externe Kontakte, Lieferanten
<ul style="list-style-type: none"> • Adressen, Verträge • Auflagen, Festlegungen

Wie in Unterkapitel 1.1 schon erwähnt, ist es das Ziel dieser Arbeit, die Qualität der Daten in Hinblick auf ein vorausschauendes Instandhaltungssystem zu beurteilen. Bestandsdaten eignen sich nicht zur Beurteilung des aktuellen Zustands einer Anlage. Sie beschreiben die technischen Grundeigenschaften oder auch die Anlagenstruktur und haben ihren größten Nutzen, wenn sie schnell und logisch abrufbar sind. Die Eignung dieser Daten für „Predictive Maintenance“ wird in Unterkapitel 6.1 näher erläutert.

3.3.2 Auftrags- und Bewegungsdaten

„Die Bewegungsdaten von technischen Anlagen sind kurzfristigen Anpassungen unterworfen und werden mit dem normalen Betrieb gepflegt. Hier laufen die Informationen zusammen, die mit Arbeitsaufträgen entstehen und die bei der

⁷⁵ Quelle: (Balzer & Schorn, 2020, S. 369)

*Arbeitsausführung gewonnen werden. Sie stellen die Betriebsdokumentation dar und sind damit auch der Nachweis der gesetzes- und normkonformen Betriebsweise des Infrastruktursystems. Darüber hinaus liefern die Bewegungsdaten die Basis für die darauf aufsetzenden Prozess- und Steuerungsdaten.“*⁷⁶

Die genaue Einteilung ist Tabelle 5 zu entnehmen. Im Gegensatz zu der Bestandsdokumentation treten Bewegungsdaten in größeren Mengen auf und unterliegen einer intensiveren Änderungsfrequenz.⁷⁷

Tabelle 5: Auftrags und Bewegungsdaten⁷⁸

Zustandsinformationen <ul style="list-style-type: none"> • Inspektions-, Wartungsprotokolle • Rangliste Erneuerung, Restlebensdauer • Systematische Fehlerinformationen
Arbeitsabläufe <ul style="list-style-type: none"> • Einzelaufträge, Vorgänge • Arbeitspläne, Workflow
Arbeitsressourcen <ul style="list-style-type: none"> • Betriebs- u. Bereitschaftspersonal • Planung, Projektierung und Bau
Zeitinformationen <ul style="list-style-type: none"> • Durchführungsnachweis, Termin, Start- Endtermin • Periodendauer, Zyklen
Status, Verfügbarkeit <ul style="list-style-type: none"> • Freigabe Auftrag, Arbeitsgenehmigung erteilt • Arbeitsfortschritt eines Auftrags
Bau- und Betriebskosten <ul style="list-style-type: none"> • Plan-/Ist – Obligo • Material, Dienstleistungen, Eigenleistungen

⁷⁶ (Balzer & Schorn, 2020, S. 369)

⁷⁷ Vgl. (Otto & Hinderer, 2009, S. 23))

⁷⁸ Quelle: (Balzer & Schorn, 2020, S. 368)

Im Kontext der prädiktiven Prozessreife für vorausschauende Instandhaltung nehmen Bewegungsdaten eine bedeutsame Stellung ein. Die Informationen darüber, welche Wartungs-, Reparatur- oder Austauscharbeiten in der Vergangenheit an einer Anlage durchgeführt wurden, üben einen maßgeblichen Einfluss auf den gegenwärtigen Zustand dieser Anlage aus. Es ist von essenzieller Bedeutung, dass diese Daten systematisch erfasst und standardisiert gepflegt werden, da nur auf dieser Grundlage die Fundamente für eine vorausschauende Instandhaltung gelegt werden können.

3.3.3 Prozess- und Steuerungsdaten

*„Aus den Prozess- und Steuerungsinformationen und insbesondere aus deren Entwicklung über Arbeitszyklen und Geschäftsjahre gewinnt das Anlagenmanagement seine Grunddaten zur Weiterentwicklung und Anpassung seiner Strategien und zur Beauftragung der ausführenden operativen Einheiten. Dabei werden alle Strategien von der Instandhaltung über Erneuerung und Entwicklung von einzelnen Betriebsmitteln bis hin zum gesamten Infrastruktursystem analysiert. Es handelt sich hierbei um den Kontrollmechanismus, ob die mit den Strategien verbundenen Ziele erreicht werden können bzw. ob in der Planung oder in der operativen Umsetzung Korrekturen erforderlich sind.“*⁷⁹

Folglich werden die Prozessdaten in Tabelle 6 aufgelistet.

⁷⁹ (Balzer & Schorn, 2020, S. 369)

Tabelle 6: Prozess- und Steuerungsdaten⁸⁰

Prozessdaten, Sensordaten <ul style="list-style-type: none"> • Messwerte, Belastung, Abnutzung etc. • Alterungsverhalten, Zustandsentwicklung
Störungs- und Schadensdaten <ul style="list-style-type: none"> • MTBF (Mean Time Between Failure) • MTTR (Mean Time To Repair) • Spezifische Störungs- und Schadenshäufigkeit • Störungskosten zu Gesamtbudget
Ressourcen-Kennzahlen <ul style="list-style-type: none"> • Personalauslastung • Spezifische Auftragsdaten • Spezifische Bau- und Betriebskosten • Anlagenverfügbarkeit
Historie <ul style="list-style-type: none"> • Ein-/Ausbau • Betriebsmittelbezogene Lebensdauern • Objektbezogen IH-Kosten

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird der Fokus auf die Bestands- sowie auf die Auftrags- und Bewegungsdaten gelegt. Es ist jedoch an dieser Stelle anzumerken, dass aufgrund der vorliegenden Datenstruktur im untersuchten Betrieb die Daten der spezifischen Störungs- und Schadenshäufigkeit und der Anlagenverfügbarkeit als Bewegungsdaten angesehen werden und sehr wohl eine große Relevanz für die Arbeit haben. Sensordaten und die anderen Kategorien der Prozessdaten werden im weiteren Verlauf nicht mehr betrachtet, da sie im Unternehmen im Rahmen anderer Projekte behandelt werden.

⁸⁰ Quelle: (Balzer & Schorn, 2020, S. 368)

3.4 Informationssysteme in der Instandhaltung

Das rapide Wachstum von Daten plus der zunehmenden Digitalisierung und die damit verbundenen Entwicklungen wie die Einführung von Cyber-physischen Systemen, das Internet der Dinge (IoT) und die Umsetzung von Industrie 4.0 stellen Unternehmen in der produzierenden Industrie vor erhebliche Herausforderungen. Die Verwendung hochentwickelter Informationstechnologien erhöht die Komplexität und die Relevanz von technischen Assets und Maschinen im Bereich der Instandhaltung.⁸¹

Einerseits werden die Anforderungen an die Bediener von Maschinen stetig erhöht. Andererseits erfordern die Diagnose und Behebung von Fehlern immer umfangreicheres Wissen über den Aufbau von Maschinen und die zugrunde liegenden Systeme.

Allerdings führt dieser Fortschritt der Informationstechnologie auch zur breiten Integration von unterstützenden Informationssystemen. Im industriellen Alltag ist es oft erforderlich, auf eine Vielzahl von eben jenen Systemen in der Instandhaltung zuzugreifen, um die Arbeit effektiv durchführen zu können. Diese Systeme dienen als essenzielle Ressourcen, um Produktionsprozesse zu unterstützen und Instandhaltern notwendige Informationen bereitzustellen. Zum Beispiel stehen neben den üblichen Steuerungs- und Planungssystemen wie dem Computerized Maintenance Management System (CMMS) den Instandhaltern mobile Assistenzsysteme und Mobile Support Systems (MSS) zur Verfügung, die umfassende Informationen für ihre Aufgaben in einer übersichtlichen Darstellung bereitstellen. Des Weiteren ist es möglich, mithilfe von Condition Monitoring Systemen (CMS) Wartungspläne zu erstellen, die den aktuellen Verschleißzustand spezifischer Komponenten berücksichtigen. Ebenso werden Data-Mining-Techniken im Rahmen von „Predictive Maintenance“ zur Identifizierung bevorstehender Ausfälle eingesetzt.⁸²

Im Kontext des Daten- und Informationsmanagements bezieht sich der Begriff „Informationssystem“ auf den Umgang mit digital vorliegenden Daten und Informationen, die in Zusammenhang mit Instandhaltungsprozessen stehen. Innerhalb der Instandhaltung und im Austausch mit anderen Unternehmensabteilungen werden vielfältige IT-gestützte Systeme verwendet. Diese haben das Ziel, die Effizienz und Effektivität der Instandhaltung zu erhöhen und so die angestrebten Ziele zu erreichen.

Gemäß der Systematik nach REIDT lassen sich die für die Instandhaltung relevanten Informationssysteme in drei Hauptkategorien gliedern: Systeme, die den Datenaustausch im Kontext der Instandhaltung ermöglichen, Instandhaltungssysteme,

⁸¹Vgl. (Reidt, 2019, S. 1)

⁸² Vgl. (Reidt, 2019, S. 1f.)

die ihren Schwerpunkt auf die Instandhaltungsprozesse legen, sowie weitere verwandte Systembegriffe. Eine detaillierte Übersicht über diese Kategorien und die jeweiligen Informationssysteme wird in Abbildung 12 veranschaulicht.⁸³

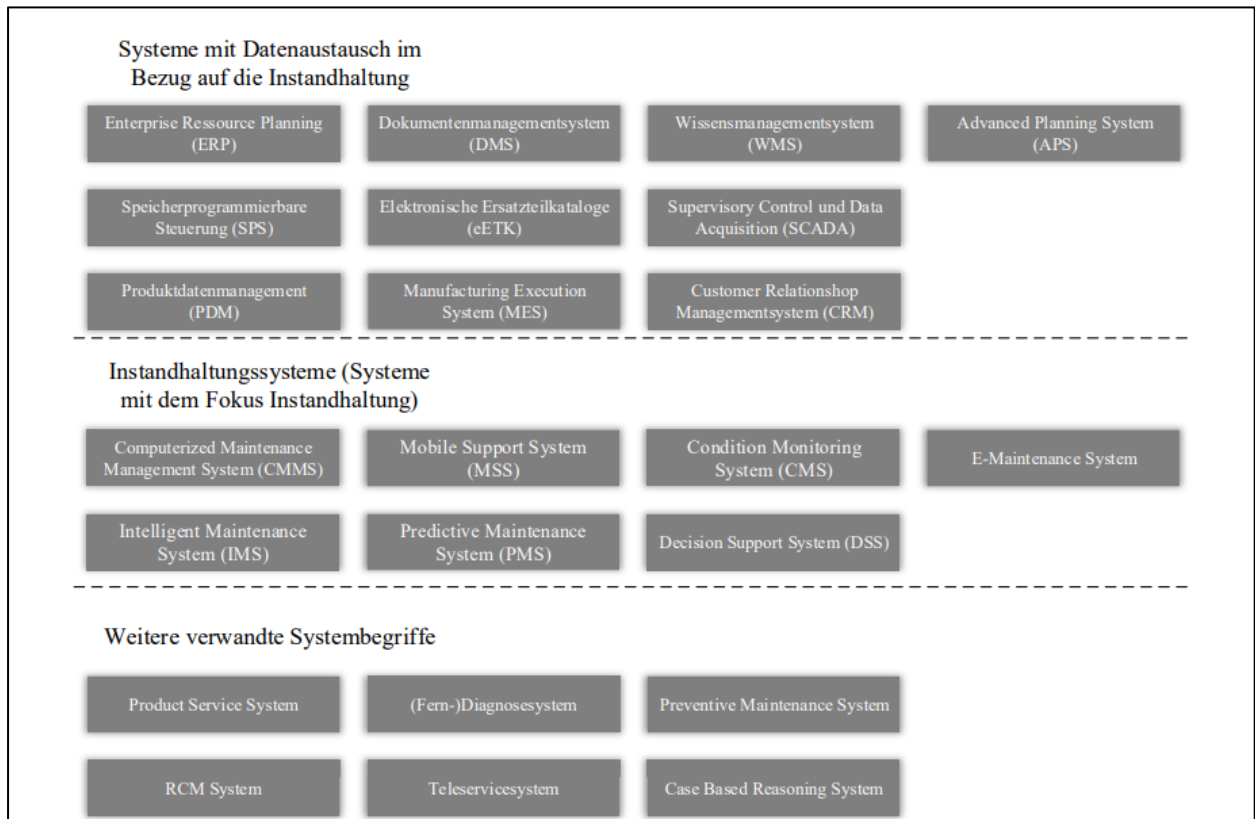


Abbildung 12: Informationssysteme⁸⁴

Nachfolgend werden für diese Arbeit relevante Informationssysteme kurz vorgestellt.

Enterprise Resource Planning - System (ERP)

Ein System mit Bezug auf die Instandhaltung ist das Enterprise Resource Planning (ERP)-System. Dieses unterstützt sämtliche betrieblichen Prozesse innerhalb eines Unternehmens und umfasst in der Regel Module für Bereiche wie Beschaffung, Produktion, Vertrieb, Anlagenwirtschaft, Personalwesen, Finanz- und Rechnungswesen sowie noch einige andere. Diese Module sind miteinander über eine gemeinsame Datenbasis verknüpft. Darüber hinaus bieten Instandhaltungsmodule die Möglichkeit,

⁸³ Vgl. (Reidt, 2019, S. 54)

⁸⁴ Quelle: (Reidt, 2019, S. 55)

spezielle Funktionen für die Instandhaltung direkt bereitzustellen. Die in ERP-Systemen integrierten Bestandteile werden häufig als Teil des Produktionsplanungs- und Steuerungssystems betrachtet, auch wenn sie separat vertrieben werden können. Im Rahmen von ERP-Systemen wird die Instandhaltung in der Regel als ein integraler Bestandteil der betrieblichen Geschäftsprozesse betrachtet und als nahtlose Fortsetzung der Wertschöpfung im Unternehmen verstanden. Die Instandhaltungsmodule verfügen über einen Funktionsumfang, der dem traditioneller Instandhaltungsmanagement-Systeme ähnelt.⁸⁵

Supervisory Control and Data Acquisition - System (SCADA)

SCADA-Systeme sind computergestützte Systeme, die speziell für die Erfassung und Analyse von Echtzeitdaten konzipiert wurden. Diese Softwarelösungen sind in erster Linie darauf ausgerichtet, angeschlossene speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) zu überwachen. SCADA-Systeme kommen in verschiedenen Industriezweigen zum Einsatz und fungieren als Netzleitsysteme, um Industrieanlagen zu überwachen, zu steuern und zu optimieren. Ihre Anwendungsbereiche erstrecken sich beispielsweise auf die Wasseraufbereitung, Energieerzeugungs- und Verteilungsanlagen, Smart Grids, sowie die Fahrzeugproduktion. Die herausragenden Merkmale von SCADA-Systemen liegen in ihrer Fähigkeit zur Überwachung und Steuerung, was sie zu wichtigen Werkzeugen im Bereich der Instandhaltung macht. Sie ermöglichen die Fernwartung von Anlagen und tragen so zur Effizienzsteigerung bei.⁸⁶

Dokumentenmanagement - System

Dokumentenmanagementsysteme (DMS) werden innerhalb von Unternehmen verwendet, um heterogene Dokumente in physischer oder digitaler Form zu verwalten. Grundsätzlich sollten DMS sämtliche Aspekte unterstützen, die für Unternehmen in Bezug auf die Erzeugung, den Empfang, die Ablage, die Verwaltung, das Wiederfinden und die Weiterverarbeitung von Dokumenten von Relevanz sind.⁸⁷

Um diese Ziele zu erreichen, stellen DMS laut HÄNSCH und ENDIG folgende Funktionen zur Verfügung:⁸⁸

⁸⁵ Vgl. (Reidt, 2019, S. 58)

⁸⁶ Vgl. (Reidt, 2019, S. 59f.)

⁸⁷ Vgl. (Götzer, Schneiderath, Maier, & Komke, 2004, S. 10)

⁸⁸ Vgl. (Hänsch & Endig, 2010, S. 273)

- Dokumentimport: Ermöglicht den Import sowohl digitaler Dokumente, die sich noch nicht im System befinden, als auch physischer Dokumente.
- Indizierung: Indexierung der Dokumente mithilfe von Stichworten oder Textinhalten.
- Verwaltung: Umfasst die sichere Speicherung von Dokumenten und ihren Metadaten, die Bereitstellung von Freigabe- und Änderungsmanagement sowie die Verwaltung verschiedener Versionen eines Dokuments mit Versionskontrolle.
- Archivierung: Beinhaltet die sichere Langzeitverwahrung von Dokumenten und Metadaten sowie die Verwaltung des Archivs und gegebenenfalls zugehöriger Sicherheitsmaßnahmen.
- Recherche: Stellt vielfältige Suchmechanismen bereit, um Dokumente schnell aufzufinden.
- Reproduktion: Ermöglicht das Anzeigen, die physische Wiedergabe und die Vervielfältigung von im System vorhandenen Dokumenten.
- Administration: Umfasst die Verwaltung des DMS. Dies schließt Funktionen wie die Festlegung von Zugriffsberechtigungen, Auswertungen sowie Sicherungs- und Wiederherstellungsprozessen von Dokumenten ein.

DMS sind oft Quellen wichtiger Informationen für die Instandhaltung, darunter fallen beispielsweise Wartungsprotokolle und Arbeitsanleitungen für Maschinen und Bauteile. Während Instandhaltungsaktivitäten werden diese Anleitungen und Wartungspläne benötigt, sofern sie im DMS verwaltet und aktuell gehalten werden. Die Verfügbarkeit und Aktualität solcher Informationen können einen signifikanten Beitrag zur Effizienz und Effektivität der Instandhaltungsprozesse leisten.

Produktdatenmanagement - System (PDM)

Dieses System implementiert das Produktdatenmanagement (PDM) und hat die Aufgabe, strukturierte Daten, die während des Produktentwicklungsprozesses anfallen oder bei Änderungen bestehender Abläufe auftreten, zu verwalten und sie in allen Phasen des Produktlebenszyklus zugänglich zu machen. Hierbei werden Daten und Dokumente gespeichert und verwaltet, die für die Produktdefinition, -charakterisierung und -präsentation von Bedeutung sind. PDM-Systeme sind als spezialisierte Kombinationen von Dokumentenmanagement- (DMS), Computer-Aided Design- (CAD) und ERP-Systemen entstanden, um die Herausforderung zu bewältigen, die

zunehmende Anzahl von CAD-Dokumenten parallel zu gescannten Papierdokumenten in einem herkömmlichen Zeichnungsarchiv zu verwalten.⁸⁹

Ein PDM-System verfolgt, gemäß HÄNSCH und ENDIG, folgende Ziele:⁹⁰

- Bereitstellung von Inhalten, Abhängigkeiten und Datenstrukturen, die ein Produkt charakterisieren.
- Suche, Übermittlung und Verwaltung von Informationen.
- Abbildung von Prozessen.
- Integration oder Verknüpfung mit anderen Informationssystemen.

Computerized Maintenance Management – Systeme (CMMS)

Die CMMS-Systeme fallen in die Kategorie der Informationssysteme mit Fokus auf die Instandhaltung.

Computerized Maintenance Management Systeme (CMMS), auch als "Instandhaltungsplanungs- und -steuerungssysteme (IPS)" bezeichnet, repräsentieren eine Generation von Informationssystemen, die speziell auf die Bedürfnisse der Instandhaltung ausgerichtet sind. CMMS-Systeme werden in erster Linie zur Unterstützung von Instandhaltungskonzepten wie TPM (Total Productive Maintenance) und RCM (Reliability Centered Maintenance) eingesetzt. Generell handelt es sich bei CMMS um Informationssysteme, die die Instandhaltung in den Bereichen Planung, Steuerung und Überwachung von Instandhaltungsaktivitäten, Arbeitsplanerstellung, Termin- und Kapazitätsplanung sowie Schwachstellenanalyse unterstützen.⁹¹

Die Hauptziele von CMMS sind die Steigerung der Material- und Anlagenverfügbarkeit, die Verbesserung der Instandhaltungseffizienz sowie die Senkung der Materiallagerbestände und Instandhaltungskosten. Dies wird durch verschiedene Funktionalitäten erreicht, wie sie von HÄNSCH und ENDIG dargelegt werden:⁹²

- Objektverwaltung: Hierbei handelt es sich um die Verwaltung von Informationen zu Maschinen und Anlagen, die Instandhaltungsbedarf aufweisen. Dies umfasst Daten zur Standortbestimmung und zur Historie der Anlagen und Maschinen.

⁸⁹ Vgl. (Reidt, 2019, S. 55f.)

⁹⁰ Vgl. (Hänsch & Endig, 2010, S. 275)

⁹¹ Vgl. (Reidt, 2019, S. 61)

⁹² Vgl. (Hänsch & Endig, 2010, S. 275)

- Auftragsplanung: In diesem Kontext erfolgt die Festlegung der erforderlichen Instandhaltungsaufträge sowie deren Art, sei es zustandsbasiert, störungsbasiert oder intervallbasiert.
- Auftragssteuerung: Dies beinhaltet die Verwaltung und Übersicht über aktuell laufende Instandhaltungsmaßnahmen sowie die Möglichkeit zur direkten Steuerung dieser Aktivitäten.
- Kostencontrolling: Diese Funktionen unterstützen die Planung, Steuerung und Kontrolle der Instandhaltungskosten.
- Ersatzteil- und Bestellwesen: Hierbei werden Prozesse zur Beschaffung von Ersatzteilen überwacht und gesteuert.
- Auswertungen, Analysen und Berichte: CMMS ermöglichen die Erstellung von Zustandsbeurteilungen, die Trends und Leistungskennzahlen abbilden.

Die Bedeutung von CMMS liegt somit in ihrer Fähigkeit, die Instandhaltungsprozesse zu optimieren und die Leistungsfähigkeit der Anlagen zu steigern, wodurch letztendlich die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens verbessert wird.

Mobile Support Systems (MSS)

Mobile Support Systems (MSS), auch als "mobile Assistenzsysteme" bezeichnet, stellen eine moderne Technologie dar, die Instandhalter bei ihren Aufgaben unterstützt. Dies erfolgt über mobile Endgeräte, in der Regel in Form von Apps, die unter anderem Checklisten oder Herstellerunterlagen bereitstellen und diese optisch ansprechend darstellen. MSS fungieren hauptsächlich als Daten-Aggregatoren und zeichnen sich durch eine bedienerfreundliche, intuitive Benutzeroberfläche aus. Diese Systeme sind neueren Ursprungs und werden maßgeblich durch die kontinuierliche Weiterentwicklung mobiler Endgeräte vorangetrieben. Die fortwährende Verbesserung von Geräten wie Smartphones und Tablets erweitert und verändert die Anwendungsmöglichkeiten von Informationssystemen erheblich. Diese Systeme haben das Potenzial, Instandhalter während ihrer Arbeit mit kontextsensitiven Informationen zu versorgen und ihre Arbeit somit zu erleichtern.⁹³

Condition Monitoring System (CMS)

Das CMS ist das klassische Informationssystem für die in Unterkapitel 2.3.3 vorgestellte zustandsorientierte Instandhaltung. Condition Monitoring Systeme (CMS) haben die

⁹³ Vgl. (Reidt, 2019, S. 61f.)

Aufgabe, Maschinen und Anlagen durchgehend zu überwachen. Diese Beobachtung beinhaltet die fortlaufende Erfassung von Ist-Werten während des Betriebs. Falls die gemessenen Ist-Werte eine erhebliche Abweichung vom Soll-Zustand aufweisen, generiert das CMS entsprechende Meldungen. Des Weiteren pflegt das CMS eine ständig aktualisierte Datenbank, die den aktuellen Anlagenzustand dokumentiert. Diese Daten sind äußerst hilfreich, um Fehler und Störungen frühzeitig zu identifizieren, was wiederum zu einer Reduzierung der Instandhaltungskosten und -dauer beiträgt.⁹⁴

Um diese Aufgaben zu bewältigen, bieten CMS gemäß HÄNSCH und ENDIG folgende Funktionalitäten:⁹⁵

- Erfassung von Messwerten
- Speicherung und Zusammenfassung dieser Messwerte
- Online-Überwachung und Verknüpfung der Messwerte in Echtzeit
- Auswertung der Messdaten
- Sammlung und Verarbeitung von Zusatzinformationen

Ein CMS ist üblicherweise in die Bereiche Software, Hardware und Remote Plattform gegliedert. Die Software umfasst die zuvor beschriebenen Funktionalitäten, während die Hardware die erforderlichen Mittel für die Datenerfassung und -auswertung bereitstellt. Die einzelnen Schritte können je nach Automatisierungsgrad entweder softwaregestützt oder vollautomatisch erfolgen. Die Remote Plattform ermöglicht den Fernzugriff aus internen oder gegebenenfalls externen Netzwerken.⁹⁶

Des Weiteren wird in mancher Literatur die Zustandsprognose einer Anlage als fixer und notwendiger Bestandteil eines CMS beschrieben. Es wird hier nochmals, wie schon in Unterkapitel 2.3.3 darauf hingewiesen, dass in dieser Arbeit Handlungsempfehlungen aufgrund komplexer Datenanalysen in den Bereich der „Predictive Maintenance“ fallen und nicht als Bestandteil von CMS angesehen wird.

Predictive Maintenance System (PMS)

Predictive Maintenance Systems (PMS) stellen eine verstärkte Betonung auf die präventive Fehlerprognose und -vermeidung mithilfe algorithmischer Ansätze. Dies äußert sich insbesondere in ihrer Fokussierung auf Algorithmen und Data-Mining-Techniken. Zustandsbewertungen von Anlagen oder Komponenten durch PMS erfolgen

⁹⁴ Vgl. (Reidt, 2019, S. 62)

⁹⁵ Vgl. (Hänsch & Endig, 2010, S. 272)

⁹⁶ Vgl. (Voigt, et al., 2013, S. 10)

in statistischer Hinsicht, was eine frühzeitige Identifikation möglicher Fehler ermöglicht. Dieser Bewertungsprozess stützt sich vornehmlich auf historische Daten, eigens definierte Zustandsparameter oder allgemeine statistische Methoden. Wichtig ist zu betonen, dass PMS in gewissem Maße Gemeinsamkeiten mit CMS aufweisen. Sie sind gleichermaßen auf aktuelle sowie vergangene Zustandsinformationen von Maschinen und Komponenten angewiesen, um prädiktive Analysen durchzuführen zu können. Während CMS diese Daten bereits als integralen Bestandteil ihrer Funktionalität verwenden und zunehmend auch Vorhersagen bezüglich des zukünftigen Zustands von Maschinen und Komponenten ermöglichen, besteht der markante Unterschied in der ursprünglichen Ausrichtung der jeweiligen Systeme. Bei CMS liegt der primäre Schwerpunkt auf der Zustandsbewertung, während PMS den Schwerpunkt auf die proaktive Fehlervorhersage legen.⁹⁷

⁹⁷ Vgl. (Reidt, 2019, S. 64)

4 Datenanalytik

Die Datenanalytik hat sich in den letzten Jahrzehnten als ein bedeutendes Instrument in der Unternehmenswelt etabliert. Dieses Kapitel bietet eine sachliche Einführung in die Thematik und stellt die Evolutionsstufen der Analytik vor. Zudem erfolgt die ausführliche Erläuterung des Begriffs "Big Data", der aufgrund des digitalen Wandels an Relevanz gewonnen hat. Hierbei werden die fünf grundlegenden Aspekte von Big Data beleuchtet. Abschließend wird das von Bernerstätter entwickelte Reifegradmodell für die Datenanalyse präsentiert, welches als essenzielle Grundlage zur Evaluierung des Zustands und der Prozesse im Datenmanagement innerhalb der VHP dient.

4.1 Business Analytics

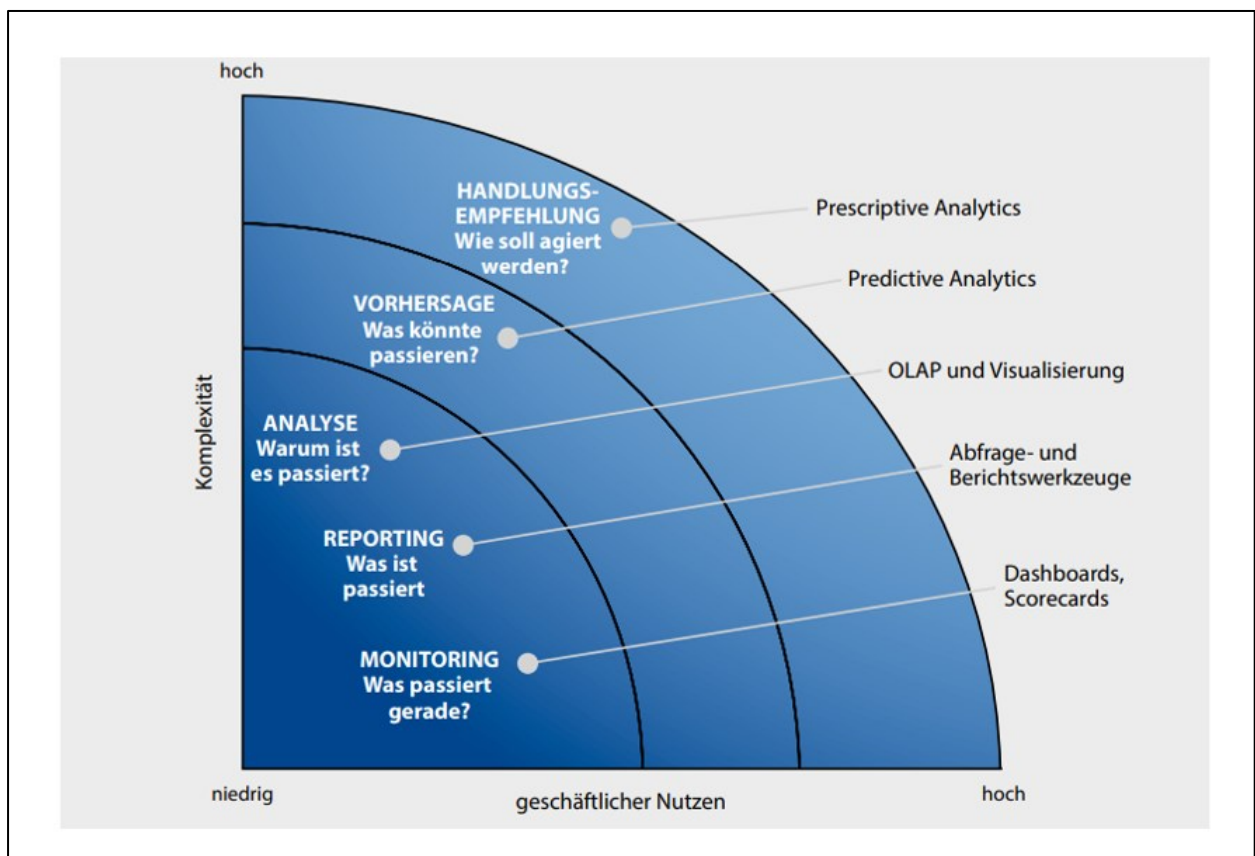
Analytics wird oft in Kombination mit anderen Begriffen verwendet, um spezifische Teilbereiche zu kennzeichnen oder eine genauere Schwerpunktsetzung vorzunehmen. Im unternehmerischen Kontext, insbesondere in Bezug auf die Entscheidungsunterstützung, spricht man von "Business Analytics". Diese Bezeichnung findet insbesondere dann Anwendung, wenn die analysierten Daten überwiegend aus internen Unternehmensquellen stammen und strukturiert sind. Dieser Schwerpunkt kann dem Bereich "Business Intelligence" (BI) zugeordnet werden.⁹⁸

BI ist ein etablierter Begriff in Unternehmen und umfasst das Streben nach Erkenntnissen, die wirtschaftlichen Nutzen generieren. BI zielt darauf ab, strategische, taktische und operative Entscheidungen in Unternehmen durch die richtige Aufbereitung von internen und externen Daten zu unterstützen. Die Definition von BI variiert, und BI konzentriert sich traditionell auf Monitoring und Reporting und hat einen stärkeren Fokus auf die Aufbereitung historischer Daten.⁹⁹

Die gebräuchlichste und bedeutsamste Unterscheidung im Bereich Business Analytics betrifft zweifellos die Art der behandelten Fragestellungen. In Abbildung 13 sind die resultierenden Evolutionsstufen von Analytics zusammengefasst, die nun näher erläutert werden.

⁹⁸ Vgl. (Lanquillon & Mallow, 2015, S. 56)

⁹⁹ Vgl. (Fels, et al., 2015, S. 255f.)

Abbildung 13: Evolutionsstufen¹⁰⁰

1. Monitoring

Die Monitoring-Analyse konzentriert sich auf die Erfassung und Überwachung von Daten. Unternehmen verwenden häufig grundlegende Dashboards und Berichte, um den aktuellen Status von Geschäftsprozessen zu verfolgen. Die Überwachung ermöglicht es Unternehmen, auf wichtige Ereignisse oder Entwicklungen in Echtzeit zu reagieren.

2. Reporting

Die Reporting Analyse oder auch „descriptive Analytics“ dient der Beschreibung und Zusammenfassung von Sachverhalten. Sie beantwortet die Frage "Was ist geschehen?" und ermöglicht allgemeine Erklärungen sowie Zeit- und Ortsangaben. Im Zusammenhang mit Echtzeitverarbeitung ist Monitoring ein wichtiger Aspekt, der darauf abzielt, aktuelle Ereignisse zu erfassen und zu überwachen.¹⁰¹

¹⁰⁰ Quelle: (Lehmann, 2012, S. 12)

¹⁰¹ Vgl. (Lanquillon & Mallow, 2015, S. 56f.)

3. Diagnostische Analyse

„Diagnostic Analytics“ zielt darauf ab, Ursachen für bestimmte Ereignisse zu analysieren und die Frage "Warum ist etwas geschehen?" zu beantworten. Diese Analyseform ermöglicht es, Korrelationen zu erkennen, auch wenn kausale Zusammenhänge oft schwer nachzuweisen sind. Fortgeschrittene statistische Methoden und Datenvisualisierung helfen dabei, tiefere Einblicke in Datenprozesse zu gewinnen.

4. Prädiktive Analyse

Die prädiktive Analyse geht einen Schritt weiter und prognostiziert zukünftige Ereignisse auf der Grundlage historischer Daten und Modellierung. Diese Analyse ermöglicht Einblicke in die Zukunft und fokussiert sich auf die Frage "Was könnte geschehen?" Diese Art der Analyse bezieht sich auf die Vorhersage unbekannter Werte, sei es in der Zukunft oder sogar für bereits vergangene oder gegenwärtige Daten.¹⁰²

Predictive Analytics spielt eine wichtige Rolle bei der Zustandsbewertung und Vorhersage. Hierbei werden Techniken wie maschinelles Lernen verwendet, um Prognosen und Wahrscheinlichkeiten zu generieren und helfen dabei, zukünftige Trends und Entwicklungen zu antizipieren.

Um die Begrifflichkeiten besser einzuordnen, ist es notwendig, eine klare Abgrenzung zwischen den beiden Termini "Predictive Maintenance" und "Predictive Analysis" zu ziehen. In dieser Arbeit bezieht sich "Predictive Maintenance" auf den Prozess der Zustandsbewertung einer Anlage unter Verwendung verschiedener Datenquellen. Auf der anderen Seite stellt "Predictive Analysis" eine Analysemethode für Zustandsdaten dar, die Techniken zur Vorhersage möglicher Zustände und Trends beinhaltet.

5. Präskriptive Analyse

Die höchste Evolutionsstufe ist die präskriptive Analyse, die Empfehlungen für zukünftige Handlungen anbietet. „Prescriptive Analytics“ liefert Handlungsanweisungen, um Geschäftsziele bestmöglich zu erreichen. Sie beantwortet die Frage "Was soll geschehen?" und stellt die höchste Form der Entscheidungsunterstützung dar. Diese Analyseform umfasst Empfehlungen, wie beispielsweise in Informationssystemen, und wird insbesondere in unerwarteten Situationen geschätzt. Dies geschieht durch

¹⁰² Vgl. (Lanquillon & Mallow, 2015, S. 56f.)

Kombination von prädiktiver Analyse mit Optimierungsmethoden, um die bestmöglichen Entscheidungen zu treffen.¹⁰³

Die schrittweise Vorgehensweise in der Instandhaltung zur Entwicklung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie erfordert nach BIEDERMANN eine systematische Herangehensweise an Fehlerdiagnose, Ursachenanalyse und Prognose. Die Fehlerdiagnose beginnt mit der Bestimmung von Schäden und Schwachstellen durch die Analyse von Abweichungen vom Soll-Zustand. Hierbei ist ein fundiertes Anlagenstrukturwissen unerlässlich und kann gegebenenfalls durch Prozesswissen ergänzt werden. Die Ursachenanalyse erfordert die Kombination von Anlagenstrukturwissen und Prozesswissen, wobei zur Interpretation von Verdachtshypothesen Domänenwissen erforderlich ist. Die Prognosephase ist besonders komplex, da dem Fehler vorausgehende Abnormitäten erkannt, modelliert und die Restlebenszeit prognostiziert werden müssen. Diese Aufgabe erfordert einen hohen Grad an Komplexität in der Datenverarbeitung und Analyse. Aus den Ergebnissen dieser Schritte können schließlich fundierte Handlungsempfehlungen abgeleitet werden, die eine präskriptive Instandhaltungsstrategie ermöglichen. Diese präskriptive Strategie zeichnet sich durch die Fähigkeit aus, vorbeugende Maßnahmen basierend auf den analysierten Daten und prognostizierten Entwicklungen zu empfehlen, um so die optimale Instandhaltungsstrategie zu gestalten.¹⁰⁴

BI und Big Data verfolgen vergleichbare Zielsetzungen, indem sie die Extraktion von Erkenntnissen anstreben, die einen ökonomischen Mehrwert für Unternehmen generieren. Während BI-Systeme in erster Linie auf die Nutzung interner, strukturierter Daten beschränkt sind, erstreckt sich der Anwendungsbereich von Big Data auf sämtliche Arten und Formen von Daten, die für ein Unternehmen von Bedeutung sein könnten. Sollte allein das Datenvolumen betrachtet werden, könnten BI-Lösungen durchaus angepasst werden, um dieser Herausforderung gerecht zu werden. Jedoch, angesichts der Diversität und der Geschwindigkeit, mit der diese Daten verarbeitet werden müssen, geraten herkömmliche BI-Systeme an ihre Grenzen und sind nicht mehr ausreichend leistungsfähig.¹⁰⁵

Während die oben genannten Evolutionsstufen traditionelle Datenanalyse beschreiben, hat die Einführung von Big Data eine Revolution in der Datenverarbeitung ausgelöst. Big Data bezieht sich auf die massive Menge an Daten, die in einer Vielzahl von Formaten und mit einer unvorstellbaren Geschwindigkeit generiert wird. Infolgedessen hat die

¹⁰³ Vgl. (Lanquillon & Mallow, 2015, S. 57f.)

¹⁰⁴ Vgl. (Biedermann H. , 2022, S. 39)

¹⁰⁵ Vgl. (Fels, et al., 2015, S. 276)

Datenanalytik in den letzten Jahren einen Paradigmenwechsel erfahren. Unternehmen sind nun in der Lage, nicht nur auf strukturierte Daten zuzugreifen, sondern auch auf unstrukturierte und semi-strukturierte Datenquellen, darunter soziale Medien, Sensoren und mehr. Der Übergang zu Big Data erfordert fortgeschrittene Analysemethoden und Technologien, um den maximalen Nutzen aus diesen riesigen Datenmengen zu ziehen. Darum wird im anschließenden Unterkapitel auf den Begriff „Big Data“ näher eingegangen.

4.2 Big Data

Big Data hat in den letzten Jahren einen erheblichen Einfluss auf Unternehmen, Organisationen und die Gesellschaft als Ganzes gehabt. Dieser Begriff bezieht sich auf die immense Menge und Vielfalt von Daten, die aus verschiedenen Quellen stammen und in einem bisher unvorstellbaren Umfang generiert werden. Die Herkunft dieser Daten reicht von sozialen Medien und IoT-Geräten bis hin zu unternehmensinternen Datenbanken. Big Data Analytics befasst sich mit der Analyse von diesen großen Datenmengen und ist ein entscheidendes Element in der modernen Datenverarbeitung. Es ermöglicht Unternehmen die Erfassung, Analyse und Gewinnung wertvoller Erkenntnisse aus umfangreichen Datensätzen. Um ein tieferes Verständnis dieser komplexen Disziplin zu fördern, haben Experten die "5 V's" entwickelt, die verschiedenen Aspekte von Big Data Analytics definiert. Diese werden in Abbildung 14 dargestellt.

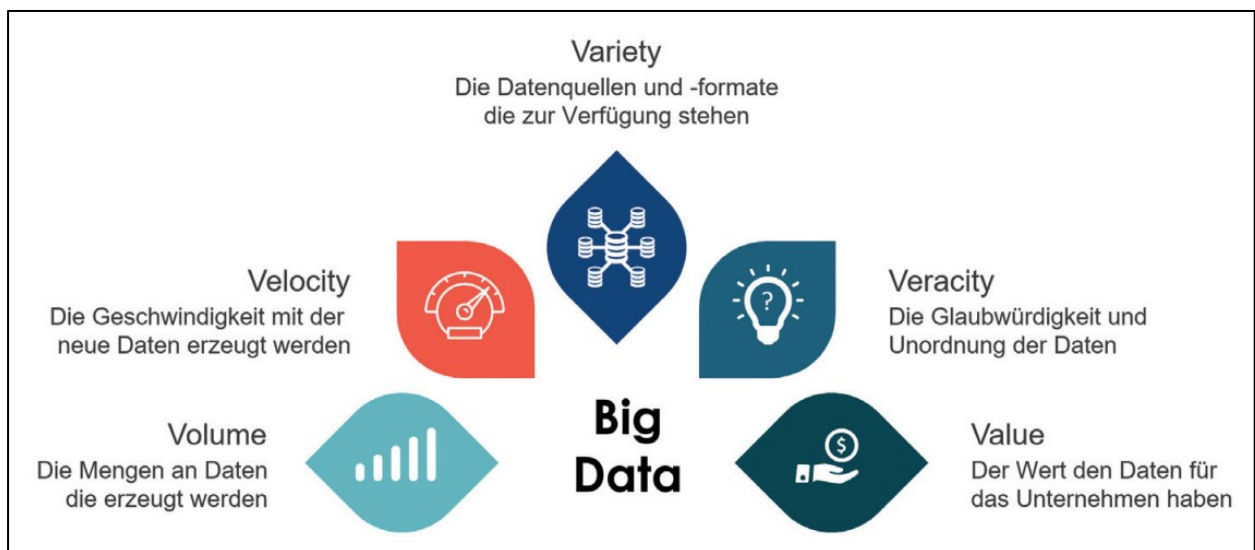


Abbildung 14: Die fünf Aspekte von Big Data¹⁰⁶

Näher betrachtet, beschreiben die fünf Aspekte von Big Data nach MEIER ET AL. folgende Eigenschaften: ¹⁰⁷

1. Umfang (Volume)

Das erste "V" bezieht sich auf das Datenvolumen. In der Welt des Big Data handelt es sich um riesige Datenmengen, die oft im Terabyte- bis Zettabyte-Bereich liegen. Diese Mengen sind weitaus größer als das, was herkömmliche Datenverarbeitungssysteme bewältigen können (Megabyte = 10^6 Byte, Gigabyte = 10^9 Byte, Terabyte = 10^{12} Byte, Petabyte = 10^{15} Byte, Exabyte = 10^{18} Byte, Zettabyte = 10^{21} Byte). Der Umfang der Daten stellt eine der zentralen Herausforderungen in der Big Data Analytics dar.

2. Vielfalt (Variety)

Das zweite "V" betont die Vielfalt der Daten. Big Data Analytics erfordert die Verarbeitung von Daten in verschiedenen Formaten, darunter strukturierte, semi-strukturierte und unstrukturierte Daten. Dies schließt Texte, Grafiken, Bilder, Audio und Video ein. Die Fähigkeit, diese Vielfalt zu bewältigen und daraus sinnvolle Erkenntnisse zu gewinnen, ist von entscheidender Bedeutung für den Erfolg von Big Data-Analysen.

¹⁰⁶ Quelle: (Bernerstätter R. , 2018, S. 37)

¹⁰⁷ Vgl (Meier & Fasel, 2016, S. 6f.) und (Meier & Kaufmann, 2016, S. 12f.)

3. Geschwindigkeit (Velocity)

Das dritte "V" unterstreicht die Geschwindigkeit, mit der Daten erfasst und analysiert werden müssen. In einigen Szenarien erfordert Big Data Analytics die Echtzeitanalyse von Datenströmen (Data Streams), um sofortige Einblicke zu ermöglichen. Dies ist insbesondere in Anwendungsfällen wie der Überwachung von Sensoren und anderen IoT-Geräten von großer Bedeutung.

4. Wert (Value)

Das vierte "V" hebt hervor, dass Big Data Analytics darauf abzielt, den Wert eines Unternehmens oder einer Organisation zu steigern. Investitionen in Personal und technische Infrastruktur sollten gezielt dort getätigt werden, wo sie einen tatsächlichen Mehrwert generieren können. Dies erfordert ein klares Verständnis dafür, wie Datenanalysen dazu beitragen können, die Unternehmensziele zu erreichen.

5. Aufrichtigkeit (Veracity)

Der fünfte "V" betont die Bedeutung der Datenqualität. Da viele Daten in Big Data-Analysen unklar oder ungenau sein können, sind spezielle Algorithmen und Methoden erforderlich, um die Aussagekraft und Qualität der Ergebnisse zu bewerten. Dabei ist zu beachten, dass umfangreiche Datenbestände nicht zwangsläufig eine bessere Auswertungsqualität garantieren. Veracity bezieht sich auf die Notwendigkeit, die unterschiedlichen Qualitätsstufen der Daten bei der Analyse zu berücksichtigen und geeignete Maßnahmen zur Datenbereinigung und -verbesserung zu ergreifen.

Die Integration und Berücksichtigung dieser 5 V's sind entscheidend, um die Herausforderungen und Chancen von Big Data Analytics erfolgreich zu bewältigen und umfassende Erkenntnisse aus den immer weiterwachsenden Datenmengen zu gewinnen. Die richtige Balance zwischen Volumen, Vielfalt, Geschwindigkeit, Wert und Aufrichtigkeit ist der Schlüssel zu effektiven und wertvollen Datenanalysen in der heutigen digitalen Ära.

In diesem Kontext gewinnen Reifegradmodelle im Bereich der Datenanalyse und im Umgang mit Big Data an Bedeutung. Diese Modelle dienen Unternehmen dazu, ihre Fähigkeiten schrittweise zu entwickeln und den Wert der enormen Datenmengen, die in der digitalen Welt generiert werden, effektiver zu nutzen.

Ein Reifegradmodell stellt ein strukturiertes Instrument dar, das Unternehmen dabei unterstützt, den aktuellen Reifegrad ihrer Fähigkeiten in den Bereichen Datenanalyse und Big Data zu bewerten. Es liefert eine klare Roadmap, um den Fortschritt zu verfolgen und die Effizienz des gesamten Datenanalyseprozesses zu steigern. Auf diese Weise ermöglichen Reifegradmodelle Unternehmen, ihre Prozesse im Datenmanagement und in der -qualität zu verbessern und sich besser den Herausforderungen der digitalen Ära zu stellen.

Als besonders geeignetes Modell für die spezifische Aufgabenstellung hat sich das Reifegradmodell von BERNERSTÄTTER bewährt und wird daher im Folgenden präsentiert.

4.3 Reifegradmodell nach Bernerstätter

Für diese Arbeit von sehr hoher Relevanz ist das Reifegradmodell nach BERNERSTÄTTER. Dieses wird in Kapitel 6 angewandt und bildet die Grundlage zur Abbildung des Datenprozesses zweier Kraftwerksstandorte der VHP. Es wurde als Bewertungsmethode herangezogen, da es die Beurteilung von Bestandsdaten und Bewegungsdaten in einem sinnvollen Rahmen ermöglicht und die vorherrschende Evolutionsstufe der Datenanalytik festlegt. Bevor dieses Modell beschrieben wird, wird der Begriff des Reifegradmodells erläutert.

Laut AHLEMANN ET AL. gibt es keine eindeutige Definition des Begriffs „Reifegradmodell“ und dieses wird als Sonderform des Kompetenzmodells titulierte.¹⁰⁸

Ein Kompetenzmodell ist nach dem Software Engineering Institute ein Modell, das die wichtigsten Aspekte eines effizienten Prozesses für einen oder mehrere relevante Anwendungsbereiche enthält. Darüber hinaus beschreibt es, wie sich dieser Prozess im Laufe der Zeit von einer improvisierten, unreifen Form zu einer strukturierten, ausgereiften Form mit höherer Qualität und Wirksamkeit entwickelt.¹⁰⁹

Wie auch nach BERNERSTÄTTER wird in dieser Arbeit das Reifegradmodell in Bezug auf die Referenzmodelle angewendet, indem der datenanalytische Prozess anhand klar definierter Kategorien bewertet wird. Die Verbindung zwischen den Reifegradkategorien und der Reifegrade-Bewertungsskala hat zum Ziel, die Prozessbedingungen kontinuierlich zu optimieren. Dies ermöglicht eine effizientere Durchführung des

¹⁰⁸ Vgl. (Ahlemann, Schroeder, & Teuteberg, 2005, S. 12)

¹⁰⁹ Vgl. (CMMI Product Team, 2010, S. 436)

Prozesses durch Verbesserungen in den Bewertungskategorien und somit eine Steigerung der Qualität der Ergebnisse.¹¹⁰

Das Reifegradmodell wurde entwickelt, um die Daten-Analysefähigkeit eines Unternehmens hinsichtlich seiner prozessbezogenen Reife zu bewerten und der Aufbau wird im Folgenden beschrieben.

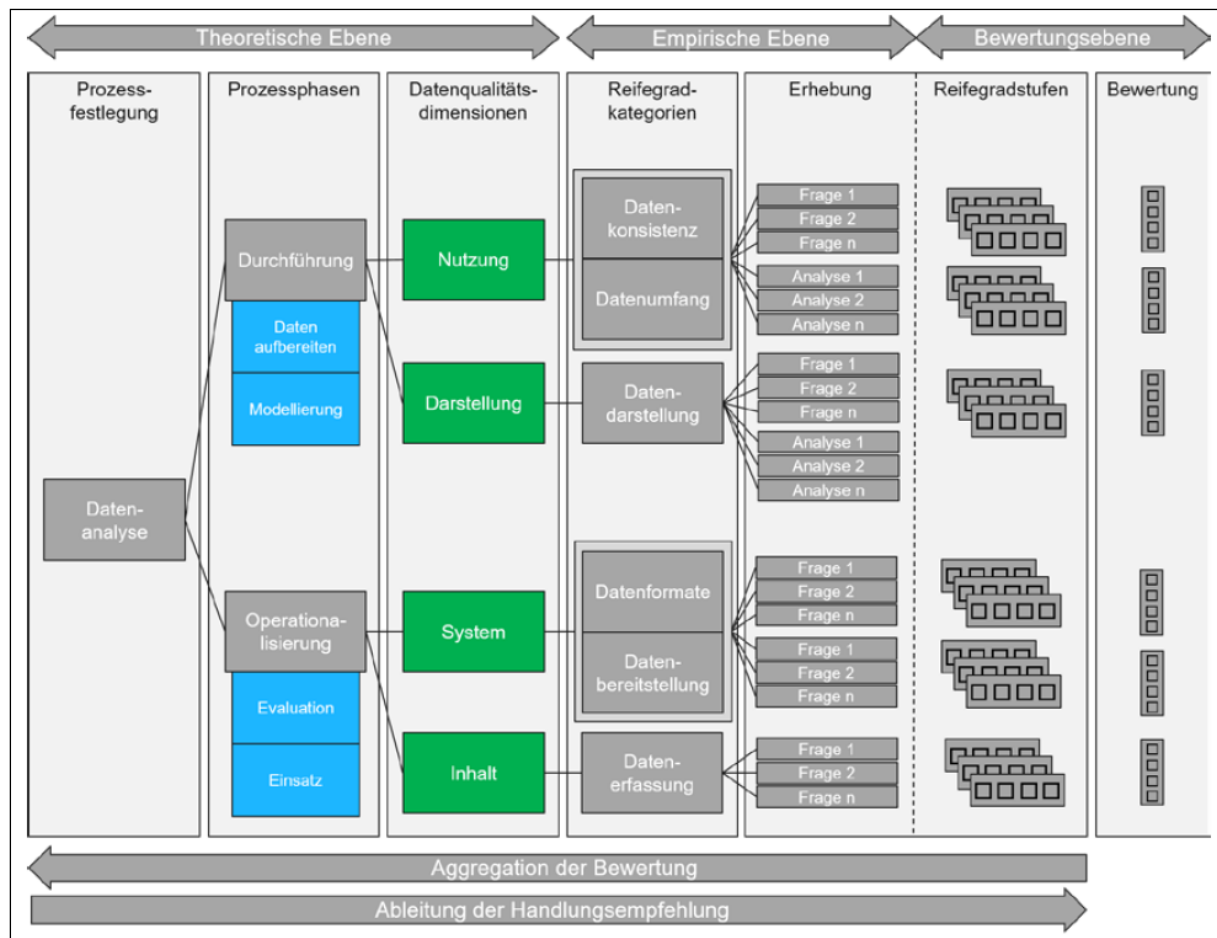


Abbildung 15: Struktur des Reifegradmodells¹¹¹

Abbildung 15 bietet eine übersichtliche Visualisierung der Struktur des Reifegradmodells. Deutlich wird, dass dieses Modell aus drei primären Ebenen besteht: der theoretischen Ebene, der empirischen Ebene und der Bewertungsebene. Diese Hauptkategorien sind weiterhin in sieben Subkategorien unterteilt, wobei die Zuordnung klar und eindeutig erkennbar ist. Als beispielhafte Zuordnung sei hier die theoretische Ebene genannt, die

¹¹⁰ Vgl (Bernerstätter R. , 2019, S. 14)

¹¹¹ Quelle: (Bernerstätter, 2019, S. 101)

sich in Unterebenen wie Prozessfestlegung, Prozessphasen und Datenqualitätsdimensionen gliedert.¹¹²

Primär widmet sich die theoretische Ebene dem datenanalytischen Problem, das zu Beginn des Datenprozesses auftritt. Data-Mining-Ziele werden von den strategischen Unternehmenszielen abgeleitet und definiert. Nach der Festlegung des zu untersuchenden Datenprozesses werden die Anforderungen an die Prozessphasen "Durchführung" und "Operationalisierung" festgelegt. Diese beiden Phasen orientieren sich maßgeblich am CRISP-DM-Modell¹¹³ und führen zur Bestimmung des Soll-Reifegrads. Während der Durchführungsphase werden spezifische Ziele und die erforderlichen Aktivitäten für die Datenanalyse definiert. Im Gegensatz dazu konzentriert sich die Phase der Operationalisierung auf die Umsetzung der Ziele und Aktivitäten, wobei auch der Einsatz und die Kosten der Datenanalyse abgeschätzt werden.

In der letzten Unterkategorie der theoretischen Ebene, nämlich den Datenqualitätsdimensionen, wird die Verbindung von der theoretischen Prozessebene zu den einzelnen Reifegradkategorien in der empirischen Ebene hergestellt. Diese Dimensionen beschreiben die Mindestanforderungen an die theoretische Ebene und fließen in die abschließende Reifegradbewertung ein, da sie die Gewichtung der Dimensionen festlegen.¹¹⁴

Die empirische Ebene, die als zweite Hauptebene fungiert, widmet sich der Erfassung der Prozessphasen, die in der theoretischen Ebene definiert wurden. Diese Erfassung erfolgt in sechs Reifegradkategorien, welche in Tabelle 7 beschrieben sind, und bildet die Grundlage für die abschließende Bewertung des Reifegrads des betrachteten Prozesses. Die Zuordnung des Reifegrads zu den einzelnen Kategorien erfolgt in dieser Arbeit durch Interviews mit Hilfe des im Anhang befindlichen Fragebogens.¹¹⁵ Eine ausführliche Erfassung des Datenprozesses wird in den Unterkapiteln 6.1 und 6.2 beschrieben und dargestellt.

¹¹² Vgl. (Bernerstätter R. , 2019, S. 100f.)

¹¹³ CRISP-DM Cross Industry Standard Process Data Mining. Nach Chapman, P. et al. (2000), S. 1. Ist dieses Modell dazu konzipiert, die Abwicklung von Projekten im Bereich der Datenanalyse in einem einheitlichen Rahmen zu unterstützen und die Erfolgsaussichten zu steigern.

¹¹⁴ Vgl. (Bernerstätter R. , 2019, S. 101ff.)

¹¹⁵ Vgl. (Bernerstätter R. , 2019, S. 117, 123)

Tabelle 7: Datenkategorien¹¹⁶

Datenkategorie	Beschreibung
Erfassung	Interpretiert, wie der Zustand eines Objektes, eines Prozesses oder der Umwelt in Daten umgewandelt wird.
Bereitstellung	Untersucht, wie erfasste Daten für die nachfolgende Verarbeitung zur Verfügung gestellt werden.
Formate	Protokolliert, wie die Daten notational und strukturell dargestellt werden.
Darstellung	Diese Kategorie konzentriert sich auf die Beurteilung der Datendarstellung innerhalb einer Datei. Dies schließt die Berücksichtigung der Datenstruktur, des Skalenniveaus und der Standardisierung mittels eines Codesystems ein.
Umfang	Bewertet, ob die Menge der Daten für eine Datenanalyse geeignet ist.
Konsistenz	Prüft, inwieweit die vorliegenden Daten die Realität widerspiegeln. Ein entscheidender Faktor in dieser Bewertung ist die zeitliche Erfassung der Daten.

Die abschließende Hauptebene ist die Bewertungsebene. Ihre Aufgabe besteht darin, die Anforderungen und die Daten, die aus den vorherigen Ebenen stammen, zu evaluieren und den sechs Reifegradkategorien einen entsprechenden Reifegrad zuzuordnen.

Die Reifegrade in diesem Kontext basieren auf der in Unterkapitel 4.1 vorgestellten Fähigkeit, datenanalytische Fragen zu beantworten, und spiegeln die Bandbreite des Datenmanagements und der Datenstruktur wider, von geringer Digitalisierung bis zur vollständigen Integration. Es wurden vier generische Reifegradstufen entwickelt, die sich an verschiedenen Datenanalysen orientieren. Wenn man die potenziellen Fragestellungen derselben betrachtet, ließen sich vier wesentliche Aspekte identifizieren:

¹¹⁶ In Anlehnung an (Bernerstätter R. , 2019, S. 117ff.)

- „Was ist geschehen?
- Warum ist etwas geschehen?
- Was wird geschehen?
- Was soll geschehen?“¹¹⁷

Um diese vier Fragen zu beantworten, ist eine zunehmende Komplexität in der Analyse erforderlich. Dies geht Hand in Hand mit einer Verbesserung des Datenniveaus und der Datensteuerung. Daher ergeben sich die vier Reifegradstufen des Modells, welche in Tabelle 8 abgebildet sind. Eine höhere Reifestufe kann nur dann erreicht werden, wenn die Anforderungen der niedrigeren Stufe in erheblichem Maße erfüllt sind. Im Reifegradmodell werden die zu erfüllenden Anforderungen für jede Datenkategorie in jeder Reifegradstufe ausführlich erläutert. Dies erleichtert die Bewertung des Reifegrads, selbst für Personen, die nicht mit der Thematik vertraut sind und Schwierigkeiten haben, sie zu verstehen.¹¹⁸ Die erzielten Ergebnisse können dann mit den Bewertungstabellen der Datenkategorien verglichen werden und führen zur Reifegradbewertung.

Tabelle 8: Reifegradstufen der Bewertungsebene¹¹⁹

Reife	Datenanalytischen Prozess	Reifegradstufe
Deskriptiv	Beschreibende Analysen	1
Diagnostisch	Analysen, welche Gründe für Ereignisse finden	2
Prädiktiv	Prognostische Analysen	3
Präskriptiv	Erweiterte prognostische Analysen unter Einbeziehung definierter Wahrscheinlichkeiten	4

¹¹⁷ (Bernerstätter R. , 2019, S. 96)

¹¹⁸ Vgl (Bernerstätter R. , 2019, S. 126ff.)

¹¹⁹ Tabelle in Anlehnung an (Bernerstätter R. , 2019, S. 126)

5 Das Unternehmen

Im vorliegenden Kapitel 5 werden zunächst grundlegende Informationen zur VERBUND Hydro Power GmbH (VHP) und ihrem Anlagenpark präsentiert. Dabei werden grundlegende Informationen zur VHP sowie ihren Laufwasserkraftwerken in Villach und Melk vorgestellt. Im Fokus steht die Darstellung des aktuellen Instandhaltungsprozesses, einschließlich der Bedeutung von Daten, die Rolle des SAP-EAM-Systems in der Instandhaltung und das Kraftwerks-Kennzeichensystem. Dieses Kapitel dient der Einführung in die zentralen Elemente der Instandhaltung bei der VHP und ihrem Beitrag zur Aufrechterhaltung eines effizienten Betriebs.

5.1 Einführung

Ursprünglich als „Österreichische Elektrizitätswirtschafts-AG“ im Jahre 1947 gegründet, stieg VERBUND in den letzten 75 Jahren zu Österreichs führendem Energieunternehmen auf und ist heute der größte Stromerzeuger aus Wasserkraft in Europa. Mit einem Umsatzerlös von 10,346 Milliarden Euro im Jahr 2022 zählt Verbund zu den größten Industrieunternehmen Österreichs. Die VERBUND Hydro Power GmbH (VHP) fungiert als Tochterunternehmen, das die Verantwortung für die Kraftwerke und die Stromerzeugung innerhalb des Konzerns trägt. Der Anlagenpark von VHP umfasst insgesamt 130 Wasserkraftwerke in den Ländern Österreich und Deutschland. Der Anlagenpark der VHP verfügt über 130 Wasserkraftwerke in Österreich und Deutschland, und erreicht eine Engpassleistung von 8417 MW mit einem Regelarbeitsvermögen von 29.334 GWh pro Jahr. Die zwei bekanntesten Vertreter der Wasserkraftwerke sind Laufwasserkraftwerke und Speicherkraftwerke.¹²⁰

In dieser Arbeit von großer Relevanz sind die Laufwasserkraftwerke, da beide auf Daten geprüfte Kraftwerke in dieser Arbeit diesen Typ aufweisen. Ein Laufwasserkraftwerk profitiert von dem Höhenunterschied des Wasserstandes in einem Fluss oberhalb und unterhalb einer Stauanlage. Der Primärenergieträger Wasser wird auf die Schaufeln einer Turbine gelenkt, wodurch diese in Rotation versetzt wird. Diese rotierende Bewegung wiederum treibt einen Generator an, der durch die Rotationsenergie den elektrischen Strom erzeugt.

¹²⁰Vgl. (Verbund.com, Laufkraftwerke-Verlässlichkeit als Kraft der Wende, 2023)

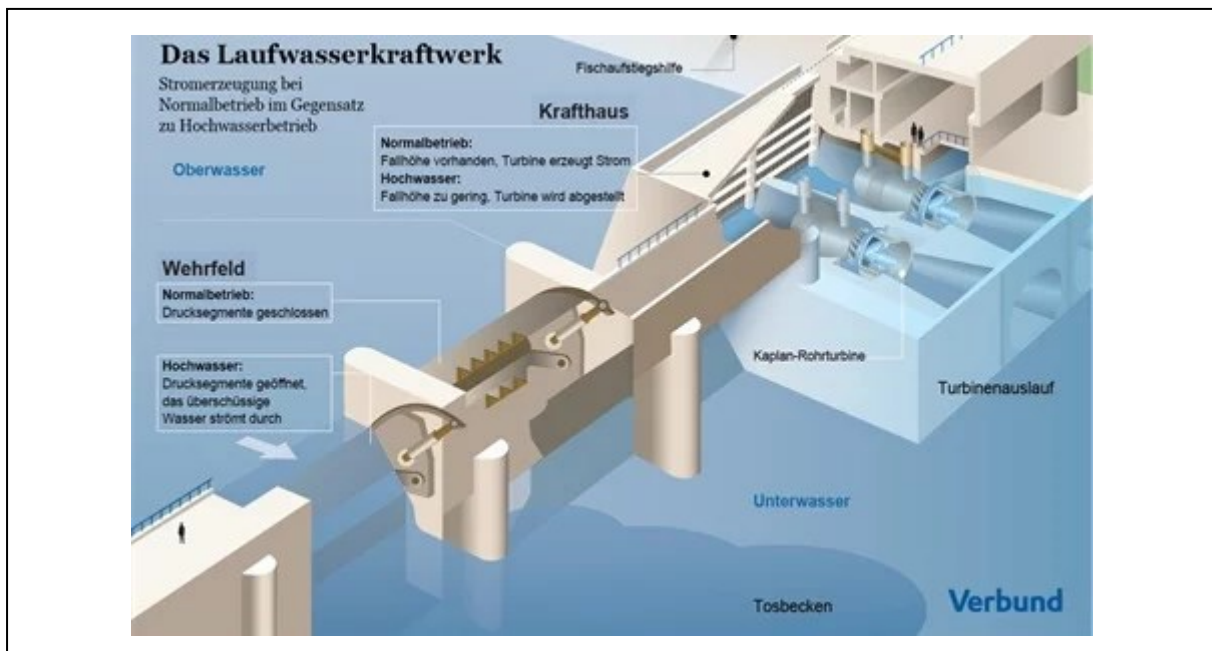


Abbildung 16: Normal- und Hochwasserbetrieb eines Laufwasserkraftwerks¹²¹

Abbildung 16 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Laufkraftwerks mit zwei Kaplan-Rohrturbinen und soll den Unterschied zwischen Normal- und Hochwasserbetrieb darstellen. Im Normalbetrieb wird das aufgestaute Wasser in das Krafthaus geleitet, wo es über die Turbinen läuft und daraus elektrischer Strom gewonnen werden kann. Die Wehrfelder sind geschlossen. Bei Hochwasser können diese geöffnet werden, sodass überschüssiges Wasser abtransportiert werden kann.

Da im Rahmen dieser Arbeit der Datenprozess der Kraftwerksstandorte Villach und Melk untersucht und bewertet wurde, werden diese Standorte zunächst vorgestellt und die wichtigsten technischen Daten werden erläutert.

5.1.1 Kraftwerk Villach

Das Laufkraftwerk Villach wurde im Zeitraum von 1981 bis 1984 errichtet und ist Teil der Kraftwerksgruppe "Drau". Dieses Kraftwerk folgt dem Konzept eines Pfeilerkraftwerks und verfügt über zwei Maschinensätze sowie drei Wehrfelder. Die Engpassleistung des Kraftwerks Villach beträgt 24,6 MW, und es erzeugt jährlich etwa 97 GWh elektrischen Strom.

¹²¹ Quelle: (Verbund.com, Laufkraftwerke-Verlässlichkeit als Kraft der Wende, 2023)

Die Turbinen des Kraftwerks Villach sind vertikale Kaplan-Turbinen, wie in Abbildung 17 dargestellt, und verfügen über eine Leistung von jeweils 12,5 MW bei einer Ausbaufallhöhe von 9,7 Metern. Diese Turbinen sind direkt mit einem Drehstromgenerator über eine Welle verbunden. Die Wehrfelder des Kraftwerks sind als Drucksegmentschütze mit aufgesetzten Stauklappen ausgeführt, was eine Verschlusshöhe von bis zu 11 Metern ermöglicht.

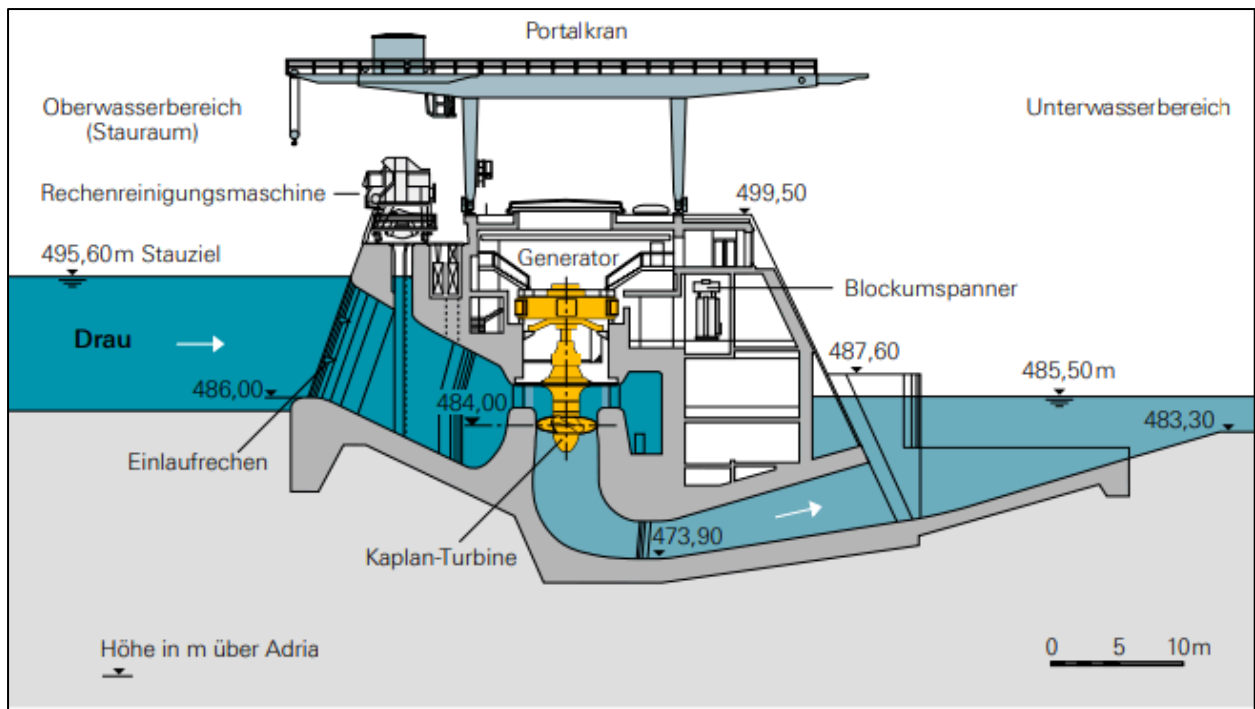


Abbildung 17: Villach Querschnitt Krafthaus¹²²

Zum Vergleich des Datenprozesses innerhalb der VHP wurde auch das Kraftwerk Melk bewertet, welches nachfolgend kurz beschrieben wird.

5.1.2 Kraftwerk Melk

Der Bau des Kraftwerks Melk wurde im Jahr 1979 initiiert und erfolgreich im Jahr 1982 abgeschlossen. Es handelt sich dabei um ein Niedrigbau-Kraftwerk, das zur Werksgruppe "Untere Donau" gehört. Das Kraftwerk besteht aus insgesamt neun Maschinensätzen und sechs Wehrfeldern und wurde linksufrig für den Schiffsverkehr mit zwei Schleusen ausgestattet. Es zeichnet sich durch eine Engpassleistung von 187 MW aus und generiert im Durchschnitt eines Regeljahres 1.221 GWh an elektrischem Strom.

¹²² Quelle: (Verbund- Wasserkraftwerke in Kärnten, 2023, S. 37)

Im Gegensatz zu anderen Kraftwerken, wie zum Beispiel dem in Villach, sind die Turbinen im Kraftwerk Melk als horizontale Kaplan-Rohrturbinen mit direkt gekoppelten Drehstromgeneratoren ausgeführt, wie in Abbildung 18 erkennbar ist.

Die sechs Wehrfelder stellen wiederum Drucksegmentstützen mit aufgesetzten Stauklappen dar und weisen eine große Ähnlichkeit zu den entsprechenden Strukturen in Villach auf.

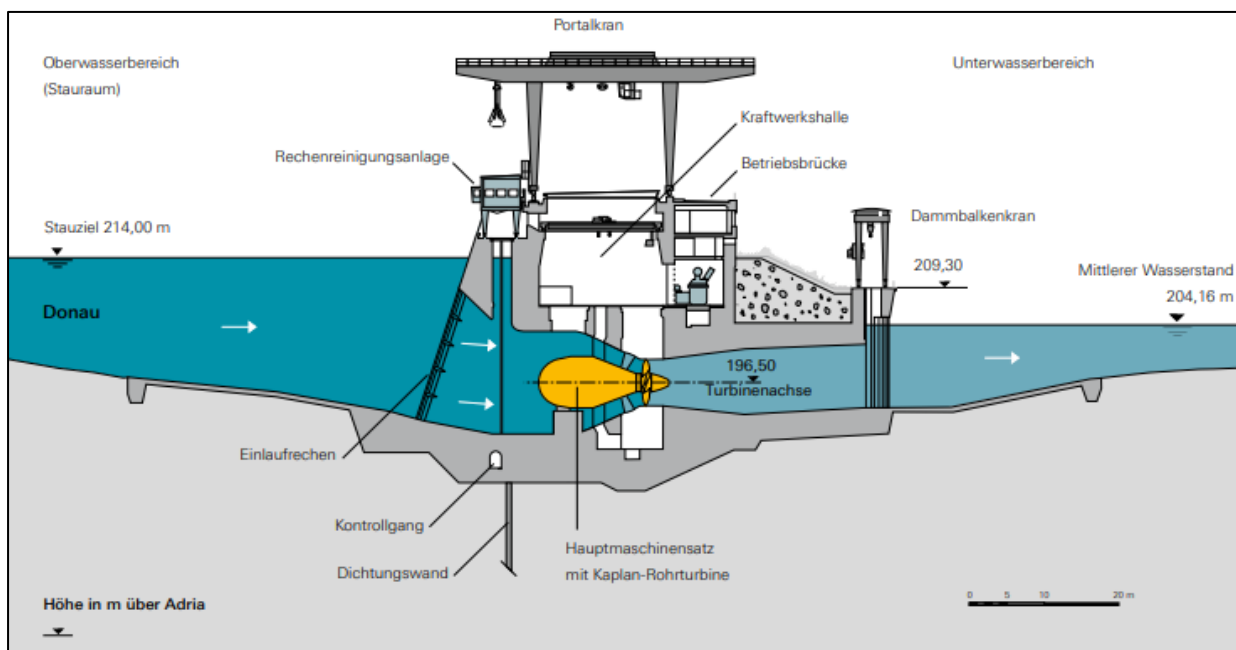


Abbildung 18: Melk Querschnitt Krafthaus¹²³

Die Instandhaltung von Wasserkraftwerken, insbesondere von Laufwasserkraftwerken, ist ein entscheidender und kontinuierlicher Prozess, der darauf abzielt, den störungsfreien Betrieb und die langfristige Integrität der Anlagen sicherzustellen. Dieser Prozess erfordert eine systematische Herangehensweise, um den laufenden Energieertrag und die Effizienz der Kraftwerke zu gewährleisten. Die Instandhaltungsmaßnahmen beinhalten sowohl vorbeugende als auch korrektive Maßnahmen, um den Verschleiß und die Alterung von Komponenten zu minimieren und mögliche Störungen zu beseitigen. Durch diese kontinuierliche Instandhaltung wird sichergestellt, dass die Wasserkraftwerke den Anforderungen des Energieversorgungsnetzes entsprechen. Das folgende Unterkapitel erläutert im Detail den Prozess der Instandhaltung und seine entscheidende Rolle im Betrieb von Wasserkraftwerken.

¹²³ Quelle: (Verbund-Wasserkraftwerke in Niederösterreich, 2023, S. 28)

5.2 Aktueller Instandhaltungsprozess

Wie bereits erwähnt ist die VHP für 130 Kraftwerken verantwortlich, die in neun Werksgruppen unterteilt sind. Diese Werksgruppen dienen als lokale Betriebsorganisationen und tragen die Verantwortung für den reibungslosen Betrieb der Kraftwerksanlagen. Dies umfasst nicht nur die eigentliche Stromerzeugung, sondern auch die Instandhaltung, Reparaturen und die Behebung von Störungen. Jede Werksgruppe verfügt über lokale Zentralwarten, in denen die Kraftwerke überwacht und gesteuert werden. In diesen Zentralwarten werden kontinuierlich aktuelle Parameter der Kraftwerksanlagen durch ein SCADA-System erfasst und anschließend gespeichert.

Die erfassten Daten sind vielfältig und reichen von externen Informationen wie Zu- und Abflüssen über Pegelständen bis hin zu internen Anlagendaten, die den Betriebszustand betreffen, wie Durchflussraten und Leistungsdaten. Darüber hinaus werden auch detaillierte Messwerte der Anlagenkomponenten erfasst, einschließlich Temperaturen, Füllstände und Drücke. Die gesamte Anlagenstruktur ist stark automatisiert und kann sowohl aus der Ferne als auch vor Ort gesteuert und überwacht werden. Die eigentliche Stromerzeugung erfolgt zentral durch eine Steuerstelle, die den Bedarf an Stromerzeugung und die Anpassung an die aktuellen Anforderungen des Energieversorgungsnetzes koordiniert.

Die Hauptaufgabe der jeweiligen Werksgruppen besteht darin, die Anlagen betriebsbereit zu halten und aufkommende Störungen kurzfristig zu beheben. Des Weiteren ist es das Ziel, dass durch Instandhaltungsmaßnahmen, regelmäßige Revisionen und Wartungsarbeiten die Anlagen langfristig in einem optimalen Zustand bleiben.

Bei Revision werden alle wesentlichen Anlagenkomponenten von Hauptmaschinensätzen (Turbine bzw. Generator) oder Wehranlagen überprüft, bewertet und gegebenenfalls erneuert, um einen störungsfreien Betriebszustand für die nachfolgende Periode sicherzustellen. In den 1990er Jahren wurden die Revisionen alle vier bis sechs Jahre durchgeführt. Mittlerweile wurde dieses Intervall aufgrund gesammelter Erfahrungswerte auf neun Jahre erhöht. Die Trockenlegung dauert in der Regel etwa 4-12 Wochen. Die Planung und Budgetierung dieser Maßnahmen erfolgt anhand von Erfahrungswerten aus ähnlichen Vorhaben und den Zustandsdaten des SCADA-Systems. Die Terminierung erfolgt in enger Abstimmung mit der zentralen Organisationsstruktur, was eine mehrjährige Vorausplanung ermöglicht und erfordert. Die detaillierte Planung der einzelnen Maßnahmen erfolgt in den jeweiligen Werksgruppen auf Grundlage von Erfahrungswerten aus vorangegangenen Unternehmungen.

Neben den periodisch geplanten Maßnahmen gibt es eine Vielzahl von Instandhaltungs- und Erneuerungsprojekten, die abhängig von Zustandsparametern oder spezifischem Bedarf durchgeführt werden. In der Regel werden diese von den örtlichen Betriebsorganisationen vorgeschlagen. Der Planungsvorschlag, der später in ein Budget einfließt, durchläuft einen zweistufigen bis mehrstufigen Prozess, bei dem sowohl zentrale als auch dezentrale Einheiten beteiligt sind.

Die Planung für größere technische Maßnahmen, wie Erneuerungen und Komponentenaustausch, erfolgt in enger Zusammenarbeit zwischen technischen Zentralabteilungen und den jeweiligen Betrieben. Dies stellt sicher, dass ein einheitlicher technischer Standard in der gesamten Organisation gewahrt bleibt.

Die Instandhaltungsplanung berücksichtigt nicht nur den Zeitplan, sondern auch den Zustand der Anlagenkomponenten, Alter und Verschleiß. Dies sind entscheidende Faktoren, um den Umfang der Instandhaltungsmaßnahmen und das Budget für diese Maßnahmen festzulegen. Die Planung ist eine Kombination aus zentralen Vorgaben und lokalen Erfahrungswerten.

Die vorliegende Arbeit legt auch einen Schwerpunkt auf die Bedeutung von Daten für die Instandhaltungsplanung. Die Daten zum Anlagenzustand, zu Betriebszeiten, Alter und Verschleiß sowie zu aktuellen Veränderungen von Zustandsparametern sind von hoher Relevanz. Sie dienen als wesentliche Informationsquelle für die Reihung, Priorisierung und Budgetierung von Instandhaltungsmaßnahmen.

Die Datenerfassung und -verwaltung erfolgt sowohl digital als auch teilweise in Papierform, bedingt durch die historische Entwicklung der Anlagen und ist von Werksgruppe zu Werksgruppe unterschiedlich. Gleichzeitig werden die Anlagen schrittweise auf moderne industrielle Standards umgestellt, was eine verstärkte Digitalisierung und Automatisierung der Datenerfassung mit sich bringt.

5.3 Informationssysteme

Das Erfassen und Verwalten von Daten und Informationen für eine umfangreiche Menge an Vermögenswerten erfordert die Implementierung eines festgelegten Standardprozesses mit einer einheitlichen Organisationsstruktur. Da diese Arbeit den Schwerpunkt auf die Reife der Datenqualität im Zusammenhang mit technischen Prozessen legt, wird im Folgenden der Datenprozess im operativen Betrieb und in der Instandhaltung innerhalb der VHP erörtert.

Im gesamten Betrieb existieren Hilfssysteme und Softwarelösungen, deren Zweck darin besteht, den Lebenszyklus eines Vermögenswerts qualitativ zu erfassen und einheitlich

zu speichern. Aufgrund der beträchtlichen Unternehmensgröße und der kontinuierlichen Expansion des Konzerns in der Vergangenheit hat sich die Datenstruktur bzw. die Datenlandschaft historisch entwickelt und ist nicht an jedem Kraftwerksstandort gleich. In den vergangenen zwanzig Jahren wurde versucht, dieses Problem der unterschiedlichen Datenqualität an verschiedenen Kraftwerksstandorten zu lösen. Die Digitalisierung und die kontinuierliche Weiterentwicklung digitaler Speicherkapazitäten haben die Einführung einer einheitlichen Methode zur Datenerfassung und -speicherung für Bestands- und Bewegungsdaten ermöglicht.

Die VHP bedient sich zur Unterstützung ihrer Aufgaben verschiedener Informationssysteme im Bereich der elektronischen Datenverarbeitung. Einerseits kommt das SCADA-System zum Einsatz, das im operativen Betrieb und in der Instandhaltung wertvolle Mess- und Prozessdaten bereitstellt. In Unterkapitel 3.4 wurde die Funktionsweise dieses Informationssystems kurz erläutert, und in Unterkapitel 5.2 wurde seine Verwendung innerhalb der VHP beschrieben. Aufgrund des Schwerpunkts dieser Arbeit wird dieses System hier jedoch nicht weiter vertieft.

Andererseits wurde im Jahr 2001 in der gesamten VHP die Standardsoftware SAP eingeführt, die als eine Kombination verschiedener instandhaltungsrelevanter Informationssysteme betrachtet werden kann. SAP ist in der Lage, Daten zu sammeln, kritische Werte darzustellen, Analysen durchzuführen und Auswertungen zu generieren. Die verschiedenen integrierten Systeme und die begleitende Organisationsstruktur werden in den folgenden Unterkapiteln näher erläutert.

5.3.1 SAP-EAM

Im Rahmen der betriebswirtschaftlichen und technischen Prozesse bei VERBUND wird die Software SAP verwendet. Insbesondere im Bereich der Wasserkrafterzeugung wird das SAP-Modul Enterprise Asset Management (EAM) zur Unterstützung von Anlagensteuerung, Anlagenverwaltung, Instandhaltung und zur Abbildung des Anlagenlebenszyklus eingesetzt. Diese Vorgehensweise gewährleistet eine konsistente Anwendung von SAP-EAM an sämtlichen Standorten der Wasserkrafterzeugung.

SAP-EAM dient als Werkzeug zur Erfassung von Informationen im Zusammenhang mit dem Lebenszyklus einer Anlage im Erzeugungsbereich. Weiters unterstützt und sichert sie den standardisierten Ablauf der Prozesse in den genannten Bereichen. Die Verwendung von SAP-EAM bietet erhebliche Vorteile gegenüber individuellen Lösungen, da sie einheitliche Verfahren und nahtlose Prozesse ermöglicht und somit eine nachvollziehbare, langfristig verfügbare Dokumentation und Wissensdatenbank schafft.

Nach Angaben von SAP ist ihr Enterprise Asset Management (EAM) eine integrale Lösung zur Verwaltung und Wartung physischer Anlagen über deren gesamten Lebenszyklus. Dies umfasst die Bereiche Kapitalplanung, Beschaffung, Installation, Leistung, Instandhaltung, Einhaltung von Vorschriften, Risikomanagement und das Ausscheiden von Anlagen. EAM-Software unterstützt Unternehmen bei der Planung, Optimierung, Durchführung und Überwachung von Aktivitäten, Prioritäten, Qualifikationen, Materialien, Werkzeugen und Informationen in Bezug auf Anlagen. Darüber hinaus dienen EAM-Systeme dazu, die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften nachzuweisen und mögliche Haftungsansprüche im Falle von Ausfällen auszuschließen. Im Kontrast dazu fokussiert sich ein Computerized Maintenance Management System (CMMS) hauptsächlich auf die Verwaltung der Anlagenbetriebszeit und die Instandhaltungsfunktionen. Die Entscheidungsfindung in einem CMMS ist isoliert und obliegt vorrangig den Mitarbeitern in den Bereichen Instandhaltung und Betrieb. CMMS zielen darauf ab, die Betriebszeiten von Anlagen zu maximieren. Ein signifikanter Unterschied zwischen EAM und CMMS besteht darin, dass ein EAM-System den gesamten Lebenszyklus einer Anlage umfasst und eine breite Palette von Geschäftsbereichen einbezieht, darunter die Finanzabteilung, die Produktion, die Compliance und das Topmanagement. EAM ermöglicht somit eine umfassende Verwaltung des Lebenszyklus einer Anlage und bietet eine ganzheitliche Perspektive auf das Anlagenmanagement.¹²⁴

Die Zielgruppe für die Nutzung von SAP-EAM umfasst alle Mitarbeiter, die Daten aus den Betriebs- und Instandhaltungsprozessen in SAP erfassen und analysieren.

Ein sehr wichtiger Begriff im Zusammenhang mit SAP-EAM ist der „Technische Platz“. Dieser hat die Aufgabe, einem physischen Vermögenswert einen digitalen Standort innerhalb des SAP-Systems zuzuweisen und wird von SAP folgend definiert:

„Das Business-Objekt Technischer Platz ist eine organisatorische Einheit der Logistik, die die instandzuhaltenden Objekte eines Unternehmens nach funktionalen, prozeßorientierten[sic!] oder räumlichen Gesichtspunkten gliedert. Ein Technischer Platz repräsentiert den Ort, an dem eine Instandhaltungsmaßnahme durchzuführen ist.“¹²⁵

Die technische Anlagenstruktur in SAP erfolgt durch die Verknüpfung der technischen Plätze, wobei dies auf verschiedenen Hierarchieebenen erfolgen kann. Als Veranschaulichung für einen möglichen Aufbau der Hierarchieebenen wird in Abbildung 19 beispielhaft eine Kläranlage eingeteilt.

¹²⁴ Vgl. (SAP-EAM, 2023)

¹²⁵ (SAP-Technischer Platz, 2023)

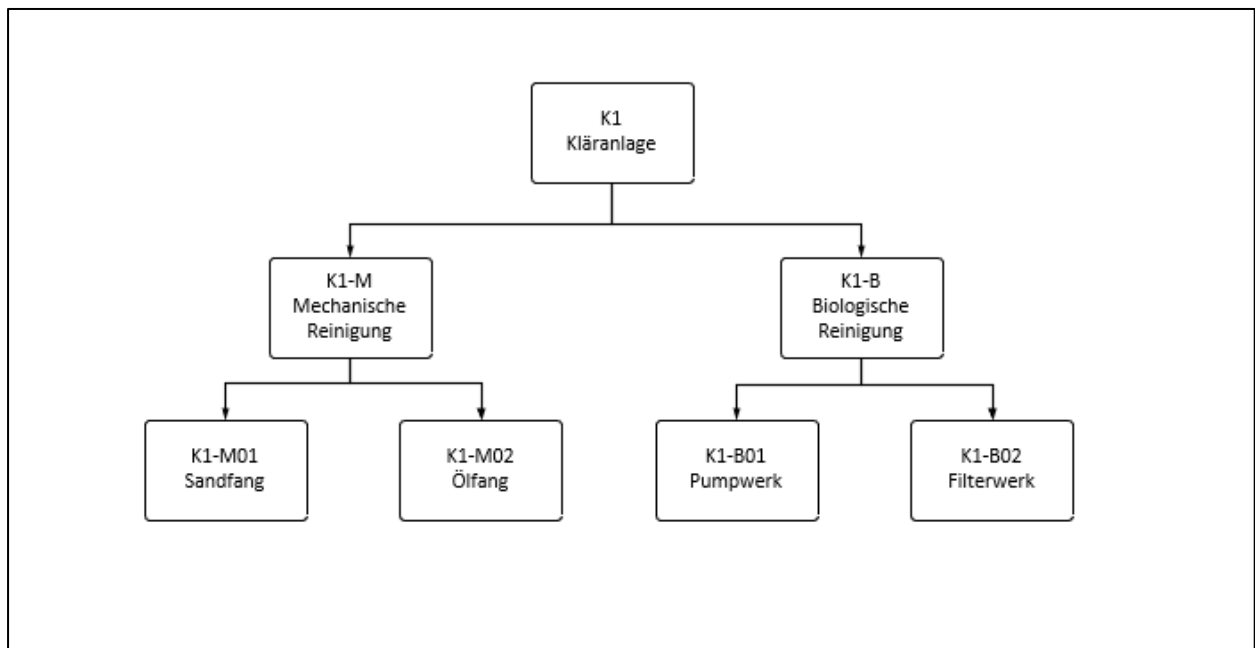


Abbildung 19: Hierarchie-Beispiel der technischen Plätze¹²⁶

Ein zentraler Aspekt im Prozess der Systematisierung liegt in der präzisen Benennung und Zuordnung der technischen Plätze. Die SAP-Struktur wird unter Einsatz des sogenannten Kraftwerks-Kennzeichensystems (KKS) codiert, wobei die einzelnen Komponenten der Anlagen als KKS-Blöcke abgebildet sind. Die Konfiguration und Verwendung dieser Struktur bei VERBUND wird im Unterkapitel 5.3.2 erläutert.

Wie bereits zuvor erörtert, fungiert SAP-EAM als Instrument zur Erfassung von Informationen, die im Kontext des Lebenszyklus von Anlagen im Bereich der Produktion stehen. Innerhalb dieses Rahmens sind die beiden Subsysteme "Anlagenbeschreibung" und "Anlagenhistorie" von besonderer Bedeutung für diese Untersuchung. Die "Anlagenbeschreibung" zielt darauf ab, Bestandsdaten abzubilden, während die "Anlagenhistorie" einen detaillierten Einblick in Auftrags- und Bewegungsdaten bieten soll. Folglich werden diese zwei Subsysteme näher beschrieben.

1) **Anlagenbeschreibung:**

Die SAP-Anwendung „Anlagebeschreibung“ ähnelt stark den Eigenschaften eines Produktmanagementsystems (PDM). Beide Systeme haben das Ziel, relevante Informationen und Daten in verschiedenen Phasen des Lebenszyklus zugänglich zu machen. Im Falle des PDM werden Daten und Dokumente verwaltet, die für die

¹²⁶ Quelle. In Anlehnung an (SAP, 2023)

Definition, Repräsentation und Präsentation von Produkten von Bedeutung sind. PDM-Systeme entstanden als spezialisierte Kombinationen von Dokumentenmanagement-, Computer-Aided Design- (CAD) und ERP-Systemen, um die Herausforderung zu bewältigen, die zunehmende Anzahl von CAD-Dokumenten parallel zu gescannten Papierdokumenten in einem herkömmlichen Zeichnungsarchiv zu verwalten.

Die Anlagenbeschreibung von SAP erfüllt die meisten der im Unterkapitel 3.4 genannten Ziele eines PDM-Systems. Sie stellt Inhalte und Abhängigkeiten bereit und ermöglicht das Auffinden, Weitergeben und Verwalten von Daten. Darüber hinaus kann sie mit anderen Informationssystemen verknüpft werden. Einziger Unterschied zu einem PDM-System besteht darin, dass die Abbildung von Prozessen in der Anlagenbeschreibung nicht vorgesehen ist. Dieses System zielt darauf ab, alle relevanten Dokumente einer Anlage zu speichern und für jeden technischen Platz die Eigenschaften der Anlage, wie den Aufbau, das Datenblatt, das Jahr usw., anzuzeigen. Jedes Dokument kann einer Dokumentenartklasse zugeordnet werden, wodurch alle relevanten Informationen im Lebenszyklus einer Anlage zusammengeführt werden. Diese Informationen werden in der KKS-Struktur abgelegt und sind aufgrund der KKS-Nummer leicht zugänglich. Die Unterlagen zur Anlagenbeschreibung werden in einem langfristig verfügbaren Standardformat gespeichert. Abbildung 20 zeigt die Anwendung „Anlagenbeschreibung“ im SAP-System mit möglichen Suchkriterien der Dokumente. Hauptkriterium bei der Suche nach Dokumenten ist der technische Platz, der als Pflichtfeld angeführt wird.

The screenshot shows the SAP 'Anlagenbeschreibung' search interface. It includes the following fields and controls:

- Erst.Datum von:** 29.08.2023 (with a calendar icon) **bis:** 31.12.9999 (with a calendar icon)
- Empfänger:** (empty text field)
- Bezeichnung:** (empty text field)
- Dok.Nummer:** (empty text field)
- Technischer Platz: *** (empty text field with a small icon)
- Unterlagennr. Fremd:** (empty text field)
- Equipment:** (empty text field)
- Projekt:** (dropdown menu with a plus icon and a trash icon)
- Ersteller:** (empty text field with a dropdown arrow and a plus icon)
- Aktualität:** Arbeitsexemplar (dropdown menu)
- Dokumentart:** ohne Angabe (dropdown menu)
- Anw.Status:** ohne Angabe (dropdown menu)
- Planart:** ohne Angabe (dropdown menu)
- Dokumentartklasse (DCC):** (empty text field with a small icon)
- Zahlteil ab (>=):** (empty text field)
- Radio buttons:**
 - ☒ ohne Dokumentenstücklistenauflösung
 - ☐ mit Dokumentenstücklistenauflösung
- Checkbox:** ☒ nur Neutralformate anzeigen
- Buttons:** G0, F0, F1F2F3 (with a dropdown arrow and a trash icon), FN, A1A2 (with a dropdown arrow and a trash icon), AN, A3 (with a trash icon)
- Volltext Dokumenteninhalte:** (empty text field with a small icon and an information icon)
- Übernehmen:** (button with a trash icon)

Abbildung 20: SAP-Anlagenbeschreibung¹²⁷

¹²⁷ Quelle: SAP-Anlagenbeschreibung der VHP

2) **Anlagenhistorie:**

Die Anlagenhistorie innerhalb des SAP-EAM-Systems enthält umfangreiche historische Daten zu den durchgeführten Maßnahmen an den technischen Anlagen, darunter Beschreibungen, Berichte, Protokolle, Prüfberichte, Atteste und ähnliche Informationen. Diese Daten werden im EAM-System über Meldungen und Arbeitsaufträge erfasst. In Bezug auf die Instandhaltung ist es von entscheidender Bedeutung, die durchgeführten Maßnahmen an den Anlagen, sei es aufgrund von Störungen oder gesetzlichen Inspektionen, in allen Details zu verstehen und die Historie präzise und akkurat abzubilden. Dies kann als Grundvoraussetzung für die Aspekte einer umfassenden Datenanalyse angesehen werden und bietet Einblicke in das, was in der Vergangenheit geschehen ist.

Des Weiteren bilden diese Informationen in einem erweiterten Sinne die Grundlage für die zustandsorientierte und vorausschauende Instandhaltung. SAP-EAM unterstützt die Planung, Vorbereitung, Zuweisung und Automatisierung wiederkehrender Maßnahmen. Dabei obliegt die Umsetzung der SAP-EAM-Richtlinien im Wesentlichen der Leitung der jeweiligen Werksgruppen. Dies führt zur Identifizierung von Unterschieden in Bezug auf Datenreife und Datenqualität, die sich zwischen Kraftwerksstandorten unterschiedlicher Werksgruppen ergeben.

Ein zusätzlicher Aspekt in diesem Kontext ist die Integration der KKS-Struktur in das SAP-EAM-System bei der VHP. Diese KKS-Struktur stellt sicher, dass eine klare Ordnung und eine eindeutige Zuweisung jeder Anlage oder eines technischen Platzes in einer logischen Struktur gegeben sind. Dadurch wird die Verwaltung und Navigation im EAM-System optimiert und die Nachverfolgbarkeit von Maßnahmen und historischen Informationen verbessert. Dies trägt zur effizienten Anlagenverwaltung und -instandhaltung bei, indem die Informationen in einem kohärenten Rahmen organisiert werden. Nachfolgend wird die KKS-Struktur genauer beschrieben.

5.3.2 Kraftwerks-Kennzeichensystem KKS

Im Jahr 2011 wurde die Einführung des Kraftwerk-Kennzeichensystems (KKS) initiiert, um eine einheitliche Kennzeichnung im gesamten Konzern sicherzustellen. Das KKS ist ein System, das dazu dient, alle im Kraftwerksbereich vorkommenden Güter einheitlich und systematisch zu kennzeichnen. Die Anwendung dieses Kennzeichnungssystems ist durch die Vorschriften des VGB PowerTech e.V. vorgeschrieben und wird reguliert.

Das KKS ermöglicht eine präzise Bezeichnung und Identifizierung sämtlicher Komponenten in einem Kraftwerk und bildet gleichzeitig die Grundlage für eine zuverlässige Dokumentation der Anlagen. Zur Kennzeichnung der Anlagen werden im KKS Buchstaben- und Ziffernkombinationen mit bis zu 17 Stellen verwendet. In der VHP wird vor der KKS-Kennzeichnung noch das Standort-Kennzeichensystem (SKS) eingefügt, welches drei weitere Stellen hat. Die enthaltenen Buchstaben dienen der Klassifizierung von Systemen und Aggregaten innerhalb des Kraftwerks, während die verwendeten Ziffern zur Zählung dienen.

Das KKS unterscheidet drei Kennzeichnungsarten:

- Verfahrenstechnische Kennzeichnung
- Einbauort-Kennzeichnung
- Aufstellungsort-Kennzeichnung

Für alle drei Kennzeichnungsarten gilt eine einheitliche Struktur, wobei von links nach rechts die angesprochenen Einheiten immer weiter unterteilt werden.

Tabelle 9 verdeutlicht den grundsätzlichen Aufbau bei allen drei Kennzeichnungsarten.

Tabelle 9: Aufbau KKS-Struktur

Lfd. Nummer der Gliederungsstufe	0	1	2	3	
Benennung der Gliederungsstufe	Gesamtanlage	Funktion	Aggregat	Betriebs- mittel	
Bezeichnung der Datenstelle	G	F0 F1 F2 F3 FN	A1A2 AN A3	B1B2	BN
Art der Datenstelle	N	N A A A NN	A A NNN (A)	AA	NN

In dieser Arbeit von hoher Relevanz ist die verfahrenstechnische Kennzeichnung, welche Systeme, Anlagen, Anlagenteile und Geräte nach ihren Aufgaben im Kraftwerksprozess verschlüsselt. Ein beispielhaftes Schema dieser Kennzeichnung ist in Abbildung 21 ersichtlich.

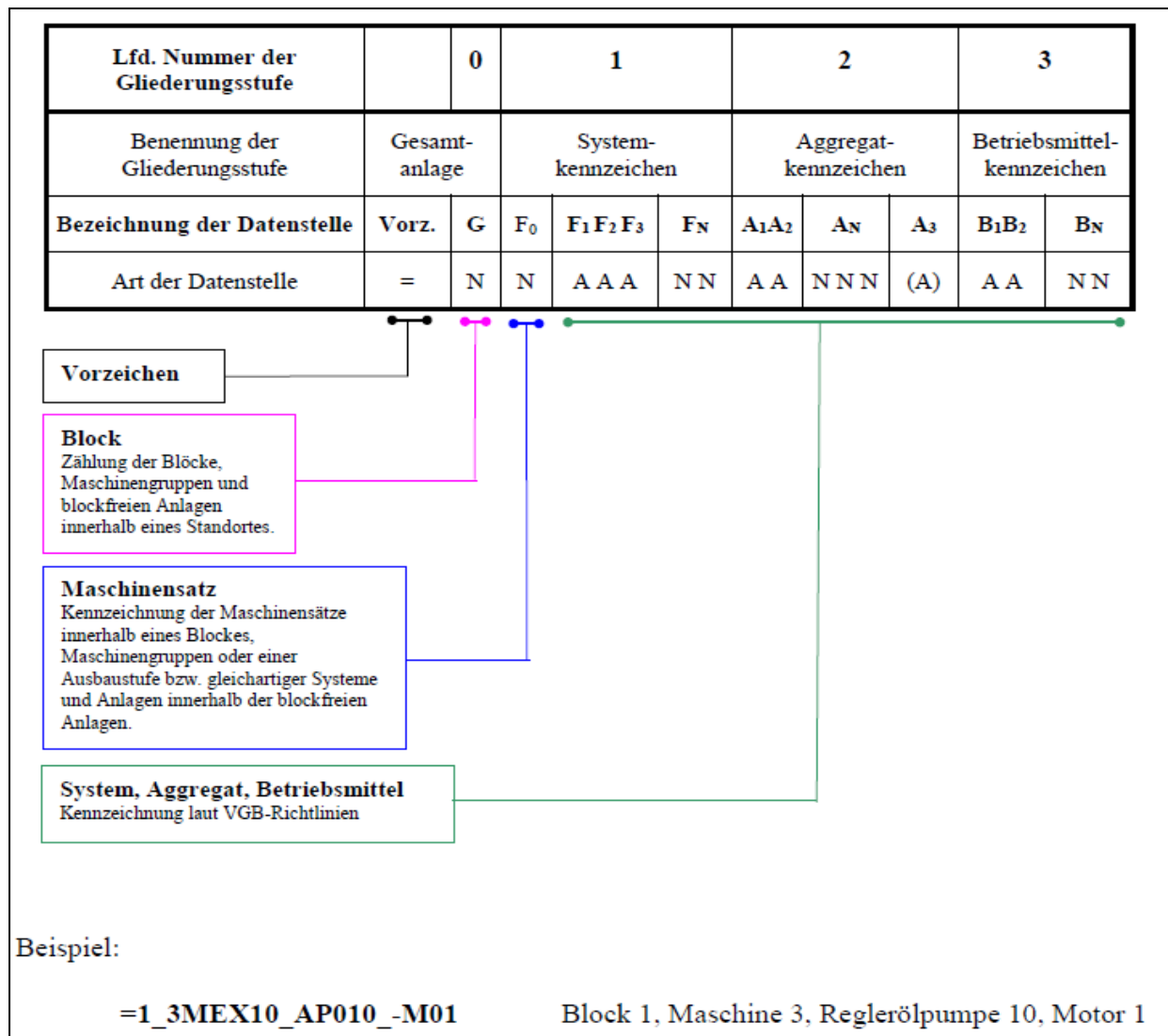
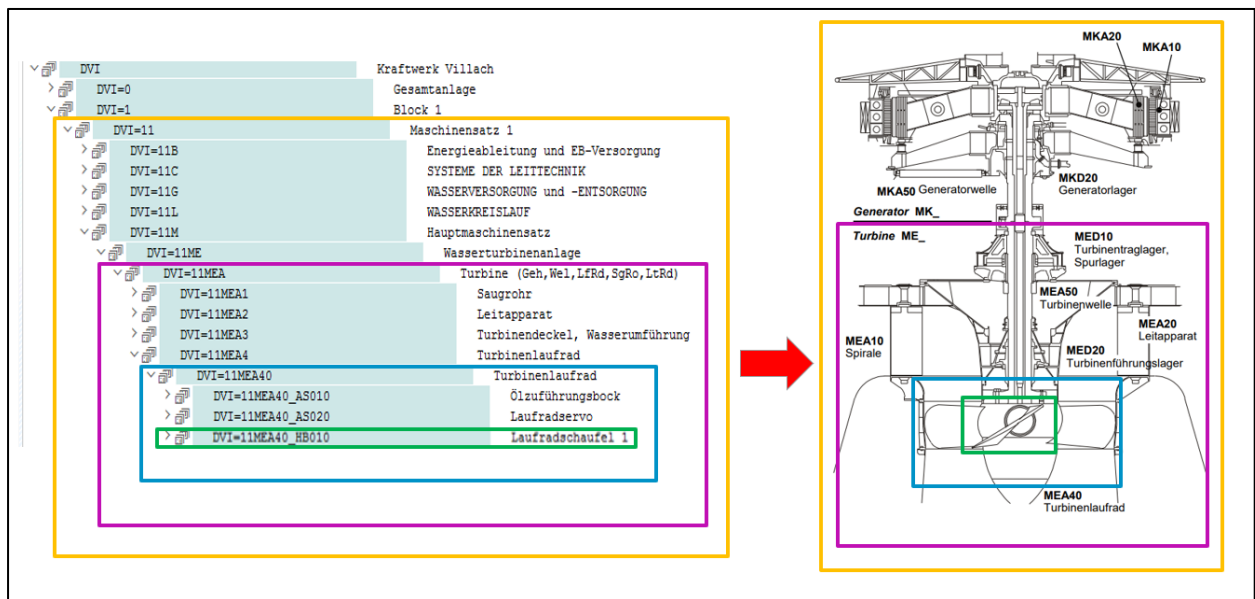


Abbildung 21: Schema der KKS-Struktur

Das Kraftwerks-Kennzeichensystem bietet in seinem vom VGB veröffentlichten Regelwerk eine Vielzahl von Gestaltungsmöglichkeiten für die Kennzeichnung. Ein erheblicher Anteil dieser Gestaltungsmöglichkeiten wurde innerhalb der VHP verpflichtend definiert, um sicherzustellen, dass das Kraftwerks-Kennzeichnungssystem im gesamten Betrieb in konsistenter Weise angewendet wird. Bei der VHP wird vor jeder KKS-Nummer zusätzlich das Standort-Kennzeichen angefügt. Diese dreistelligen Standortziffern dienen der Kennzeichnung des Kraftwerksstandorts und der Kraftwerksgruppen. Das in der VHP verwendete Strukturschema ist in Abbildung 22 anhand des Beispiels einer Laufradschaufel des „Maschinensatzes 1“ am Standort Villach ersichtlich.

Abbildung 22: Beispiel KKS-Struktur VHP¹²⁸

Die Zielsetzungen bei der Implementierung dieses Kennzeichnungssystems waren wie folgt:

1. Einheitliche Kennzeichnung für alle Kraftwerkstypen und möglicherweise damit verbundene Prozesse: Das System ermöglicht es, eine konsistente Kennzeichnung für eine breite Palette von Kraftwerkstypen und gegebenenfalls damit verbundenen Prozessen zu schaffen.
2. Durchgängige Kennzeichnung für Planung, Genehmigung, Errichtung, Betrieb, Instandhaltung und Entsorgung: Die Kennzeichnung soll über den gesamten Lebenszyklus einer Anlage hinweg kontinuierlich angewendet werden.
3. Gemeinsame Anwendbarkeit für alle Bereiche: Das System soll in verschiedenen Arbeitsbereichen und Funktionen innerhalb eines Unternehmens gleichermaßen anwendbar sein, um eine einheitliche Herangehensweise zu gewährleisten.
4. Sprachunabhängige Codierung und Sicherstellung internationaler Verwendbarkeit: Die Kennzeichnung soll in einer Weise gestaltet sein, die von verschiedenen Sprachen unabhängig ist und eine internationale Verwendbarkeit gewährleistet.

¹²⁸ Quelle: Eigene Darstellung

6 Reifegradbewertung

Um den Reifegrad der Bestandsdokumentation und der Bewegungsdaten bestimmen zu können, wurden mehrere Interviews mit Mitarbeitern verschiedener Abteilungen geführt. Im Zuge dieser Gespräche entstand ein Gesamtbild der Datenlandschaft sowie des Instandhaltungsablaufes für die Kraftwerke Villach und Melk. Die Datenlandschaft bzw. die Datenstruktur der jeweiligen Kraftwerke werden folglich auch vorgestellt. Auf Prozessdaten wird in diesem Kapitel bewusst nicht eingegangen, da die Datenerfassung dieser Daten und deren EDV-gestützte Analyse in das Aufgabengebiet anderer Projekte im Konzern fallen. Primäres Ziel dieses Kapitels ist die Erörterung des Ist-Zustandes im Hinblick auf die Bestandsdokumentation und der Auftrags- und Bewegungsdaten. Am Ende des Kapitels wird der Soll-Zustand für ein zustandsorientiertes Instandhaltungssystem in den einzelnen Reifegradkategorien beschrieben.

6.1 Kraftwerk Villach

Um den Reifegrad in den beiden Datenarten darzustellen werden die Ergebnisse aus den sechs Reifegradkategorien nach Bernerstätter für den Standort genauer erläutert und abschließend tabellarisch dargestellt. Zuvor wird eine allgemeine Beschreibung der vorgefundenen Situation gegeben und die Datenstruktur wird in den Abbildungen dargestellt.

6.1.1 Bestandsdaten

Wie in Unterkapitel 3.3.1 bereits erwähnt, ist es wichtig zu betonen, dass Bestandsdaten in erster Linie dazu dienen, die spezifischen Eigenschaften einer Anlage oder eines Vermögenswerts genauer zu beschreiben, anstatt die Vorhersage zukünftiger Ereignisse zu ermöglichen. Ein entscheidendes Kriterium bei der Bestandsdokumentation besteht darin, ob diese Daten digitalisiert und einheitlich benannt wurden. Der höchste Nutzen entsteht, wenn sie innerhalb eines Systems rasch abgerufen werden können und umgehend technische Informationen wie Materialzusammensetzung, Alter, Konstruktionsmerkmale und Datenblätter bereitstellen.

Aus der Analyse der Bestandsdaten des Kraftwerks Villach wird zunächst deutlich, dass diese aus verschiedenen Datenquellen stammen. Ein kleiner Teil der Bestandsdokumentation existiert noch in ihrer ursprünglichen Form und liegt als physische Papieraufzeichnungen im Archiv vor. Die vorherrschende Datenquelle im

Kraftwerk Villach jedoch ist das interne Laufwerk, welches auf dem Server des Unternehmens gespeichert ist. Es ist anzumerken, dass bislang keine allgemein gültigen Prozesse etabliert wurden, die klare Regeln für die Datensicherung auf diesem Server definieren. Das SAP-System Anlagenbeschreibung wird hier nicht für die Speicherung von Bestandsdaten verwendet.

Des Weiteren sind relevante Informationen innerhalb des internen Firmennetzwerks (Intranet) sowie in den einzelnen Ordner des Projektlaufwerks vorhanden. Jedoch gestaltet sich der Zugriff auf diese Projekt-Ordner aus einer neutralen Perspektive heraus als herausfordernd. Dies liegt daran, dass der Zugriff sowohl die Freigabe für das spezifische Projekt als auch den Zugriff auf das entsprechende Laufwerk erfordert. Die genaue Verteilung und Strukturierung dieser Bestandsdokumentation sind in Abbildung 23 anschaulich dargestellt. Zur quantitativen Veranschaulichung sei angemerkt, dass der für die Bestandsdokumentation relevante Ordner "Ablage L" insgesamt 1.733 Dateien umfasst, während im SAP-System der Anlagenbeschreibung keinerlei Dateien hinterlegt sind.

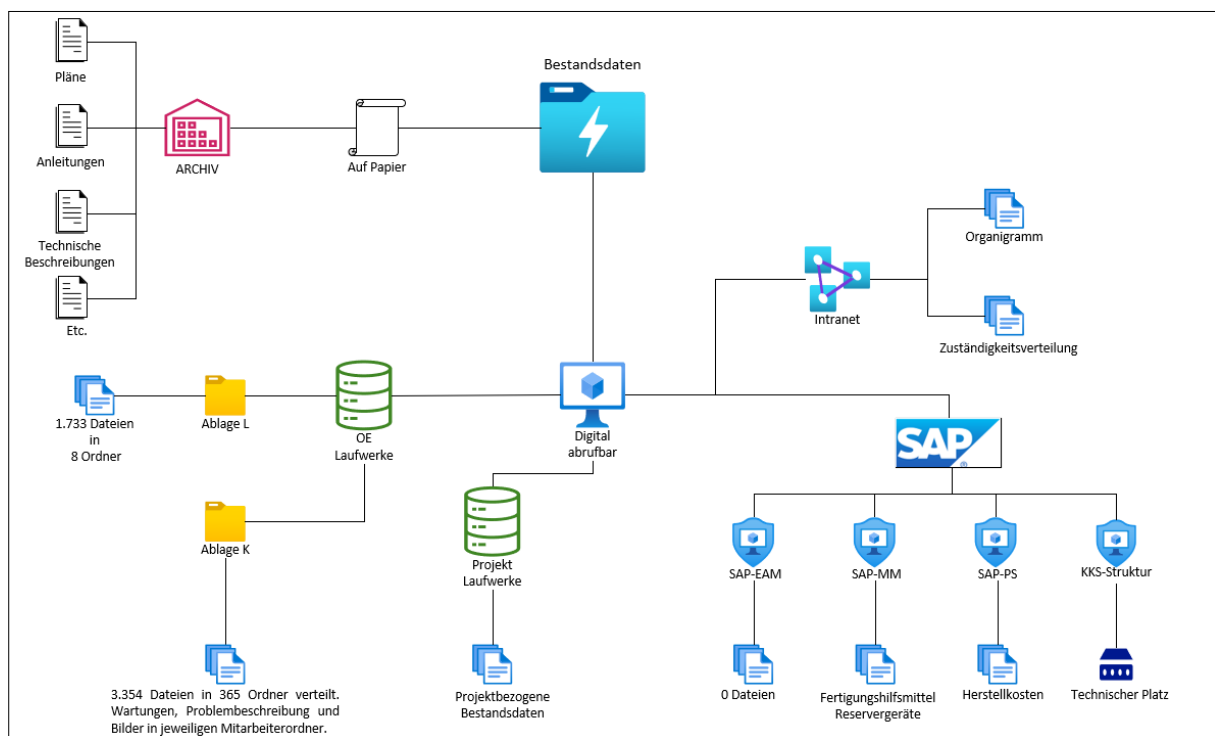


Abbildung 23: Struktur Bestandsdaten Kraftwerk Villach

1) Datenerfassung

Die Erfassung der Daten geschieht unmittelbar nach Eintritt der Daten in den Betrieb auf das interne Laufwerk und wird manuell durch den Menschen ausgelöst. Alle digitalisierten

Pläne und Dokumente zur technischen Anlagenbeschreibung werden intern ausschließlich auf einem Server gespeichert. Alte Pläne sind jedoch noch im Archiv als Papieraufzeichnungen gelagert, wurden teilweise noch nicht gescannt und auf den Server gespeichert. Das führt dazu, dass das Vertrauen in die Vollständigkeit und Aktualität der Bestandsdaten nur teilweise gegeben ist.

2) Datenbereitstellung

Die Datenerfassung der Bestandsdaten im Kraftwerk Villach erfolgt auf verschiedenen Datenbanksystemen, darunter das interne Laufwerk, SAP und das Intranet. Somit ist kein System der „Single Point of Truth“.¹²⁹ Die digitalen Systeme weisen teilweise Kompatibilität auf, wobei das Speichern von PDF-Dokumenten in allen Systemen möglich ist. Jedoch sind andere Daten, die beispielsweise in SAP erfasst werden können, nicht direkt kompatibel und erfordern eine erneute Eingabe. Darunter fällt zum Beispiel das Anlegen eines Lieferanten und der Erfassung seiner Stammdaten.

Es ist anzumerken, dass das verwendete SAP-System proprietär ist, jedoch auf jeden Firmencomputer bereitgestellt wird. Dennoch bedarf es diverser Freischaltungen durch den Firmenadministrator, um auf interne Laufwerke oder SAP-Anwendungen zugreifen zu können.

Informationen zu Materialressourcen und Organisationsstrukturen sind hingegen in SAP MM oder im Intranet verfügbar.

3) Datenformate

Die vorliegenden Datenformate sind größtenteils standardisiert, wobei PDF-Dateien die vorherrschende Form darstellen. In seltenen Fällen sind Bildformate vorhanden. Es ist wichtig zu betonen, dass diese Formate von sämtlichen in der VHP genutzten Softwareanwendungen uneingeschränkt lesbar sind.

¹²⁹ Der Begriff "Single Point of Truth", kurz SPOT (auch als "Single Source of Truth", SSOT, bezeichnet), bezieht sich auf eine einheitliche, verlässliche und stets aktuelle Datenbasis für alle Arten von Stammdaten. Mit einem "Single Point of Truth" wird redundante und inkonsistente Datenspeicherung in verschiedenen isolierten Datensilos beseitigt. Stattdessen existiert nur noch eine zentrale Datenquelle, die von sämtlichen angeschlossenen Systemen genutzt wird.

4) Datencodierung und -Darstellung

Hier können nur die digitalisierten Bestandsdaten bewertet werden. Die Benennung der Daten erfolgt subjektiv und folgt keinem konzernübergreifenden Schema. Die Daten haben kein Skalenniveau und auch kein Codierungssystem.

5) Datenumfang

Die Bestandsdaten sind über Ihre Lebensdauer konstant und diese beträgt in den meisten Fällen mehrere Jahre. Die Daten, falls in digitaler Form vorhanden, werden vor dem Abspeichern auf das Laufwerk gefiltert, sodass nur relevante Daten dauerhaft gespeichert werden. Der Umfang ist ausreichend.

6) Datenkonsistenz

Die zeitlichen Aufzeichnungen weisen in ihrer Qualität Mängel auf. Ein konkretes Beispiel hierfür sind die Dokumente auf den Laufwerken, die keine gültigen Zeitstempel aufweisen. Es ist zwar möglich, das Erstellungsdatum und das zuletzt geänderte Datum einer Datei herauszufinden, jedoch steht es jedem Mitarbeiter offen, diese Daten zu bearbeiten und zu ändern. Dies hat zur Folge, dass das Dokument seine zeitliche Gültigkeit verliert. Ebenso sollen die noch vorhandenen physischen Papieraufzeichnungen im Archiv in ihrer Gesamtheit eingescannt werden, um eine bessere Verwendbarkeit sicherzustellen.

7) Gesamtreifegrad

Der Gesamtreifegrad der Bestandsdokumentation in Villach wird auf der Stufe eins gesetzt. Diese Feststellung ist auf mehrere Faktoren zurückzuführen. Erstens wird nach BERNERSTÄTTER¹³⁰ in der Prozessphase "Durchführung"¹³¹ die Kategorie "Datendarstellung" als die bedeutsamste Kategorie definiert. Der Reifegrad der Datendarstellung stellt einen entscheidenden Indikator für den erforderlichen Arbeitsaufwand bei der Datenpräparation für einen Datenanalyseprozess dar. Die Struktur und Darstellung der Dateninhalte haben eine größere Bedeutung als die Art der Datenaufzeichnung und üben daher einen erheblichen Einfluss auf den Gesamtreifegrad aus. Aufgrund des Fehlens einer einheitlichen Benennung oder eines

¹³⁰ Vgl. (Bernerstätter R. , 2019, S. 137)

¹³¹ Prozessphase „Durchführung“ besteht aus den Reifegradkategorien Daten-konsistenz, -umfang und -darstellung.

Codierungssysteme für die auf dem Laufwerk befindlichen Dokumente, die subjektiv benannt werden, wird die Kategorie mit einem Reifegrad von eins bewertet.

Zweitens ist die wichtigste Kategorie in der Prozessphase "Operationalisierung"¹³² die "Datenbereitstellung". Da diese aufgrund des Mangels an einer verlässlichen und aktuellen Datenquelle mit einem Reifegrad von eins bewertet wurde, sind die maßgeblichen Kategorien für die Gesamtbewertung jeweils mit dem niedrigsten Reifegrad bewertet worden.

Allgemein ist anzumerken, dass die Qualität der Bereitstellung und die Art der Darstellung von Bestandsdaten nicht ausreichend ist, um eine nahtlose Integration in ein vorausschauendes Instandhaltungssystem zu gewährleisten. Dies resultiert aus dem Fehlen eines einheitlichen Benennungsschemas für die Daten sowie ihrer Speicherung in digitaler Form auf Servern oder physisch in Papierarchiven.

Die Bewertung nach dem Reifegradmodell ergibt sich aus den soeben beschriebenen Reifegradkategorien und ist der Tabelle 10 zu entnehmen.

Tabelle 10: Reifegradmodell Bestandsdaten Villach

Kategorie	Erfassung	Bereitstellung	Formate	Darstellung	Umfang	Konsistenz	Gesamt
Reifegrad 1	x	x		x		x	x
Reifegrad 2			x		x		
Reifegrad 3							
Reifegrad 4							

¹³² Prozessphase "Operationalisierung" besteht aus den Reifegradkategorien Daten-bereitstellung, -formate und -erfassung

6.1.2 Auftrags- und Bewegungsdaten

In Bezug auf die Datenquellen für Auftrags- und Bewegungsdaten sind in diesem Betriebskontext zwei Hauptquellen erwähnenswert. Zum einen handelt es sich um das interne Betriebslaufwerk, das unter dem Namen "Ablage_K" bekannt ist, und zum anderen um das ERP-System von SAP. Die Betriebsdokumentation findet größtenteils auf dem internen Laufwerk statt.

Im Detail sieht der Dokumentation-Prozess folgendermaßen aus: Checklisten, Wartungsprotokolle und Anlagenkontrollen werden in der Regel vom internen Laufwerk heruntergeladen, ausgedruckt und dann während der geplanten Tätigkeit ausgefüllt und abgehakt. Anschließend werden diese Dokumente (oder, wie im Fall von Anlagenkontrollen, am Ende des Jahres) eingescannt und wieder auf das Laufwerk hochgeladen. Darüber hinaus erfolgt in einigen Fällen auch das Hochladen von Bildern, die bei besonderen Vorkommnissen oder Ereignissen aufgenommen worden sind. Genau definierte Zeitstempel werden nicht während der Aktivität selbst erstellt, sondern am Ende der Schicht wird eine ungefähre Beschreibung dessen gemacht, was an diesem Tag erledigt wurde und in das SAP-System eingetragen.

Bei Störungen, und deren anschließender Meldung durch die Warte im SAP-System, erfolgt eine genauere Zeitstempelung, und es wird der Abschluss der Meldung festgehalten. Dies geschieht hauptsächlich bei Meldungen mit hoher Dringlichkeit (Standardcode Z1). Kleinere Schäden oder Auffälligkeiten werden während der wöchentlichen Anlagenkontrolle auf Papierzetteln notiert und bei geringerer Auslastung der Mitarbeiter behoben. Bei schwerwiegenden Mängeln wird eine Meldung angelegt und somit im ERP-System erfasst, um sie schnellstmöglich zu beheben.

Des Weiteren ermöglicht das SAP-System das Anlegen und die Bearbeitung von Meldungen seitens der Betriebsmitarbeiter. Abbildung 24 illustriert die Auswahl an verfügbaren Aufträgen und Meldungen im SAP-System.

Aufträge	Meldungen
<input checked="" type="checkbox"/> PM01 (IH-Auftrag, planmäßig)	<input checked="" type="checkbox"/> M3 (M3 Tätigkeit)
<input checked="" type="checkbox"/> PM02 (IH-Auftrag, nicht planmäßig)	<input checked="" type="checkbox"/> Z1 (Z1 Störung)
<input checked="" type="checkbox"/> PM03 (IH-Auftrag, Abrechnung nur auf KST)	<input checked="" type="checkbox"/> Z2 (Z2 Anlagenzustand)
<input checked="" type="checkbox"/> PMS1 (IH-Auftrag - Dritte (Konzern))	<input checked="" type="checkbox"/> Z3 (Z3 Vereinbarung/Anordn./EPM)
<input checked="" type="checkbox"/> PMS2 (IH-Auftrag - Dritte (Extern))	<input checked="" type="checkbox"/> Z5 (Z5 Schichtnotiz)
<input checked="" type="checkbox"/> PMS3 (IH-Auftrag - Dritte Abrechnung auf KST)	<input checked="" type="checkbox"/> Z6 (Z6 Notiz)
<input checked="" type="checkbox"/> PMW1 (Aufträge aus Wartungsplänen)	<input checked="" type="checkbox"/> ZM (ZM Mängelmeldung)
<input checked="" type="checkbox"/> PMW2 (Daueraufträge aus Wartungsplänen)	<input checked="" type="checkbox"/> ZW (ZW Wartungsplanmeldung)
<input checked="" type="checkbox"/> PMW3 (Aufträge Kostenstelle aus Wartungsplänen)	

Abbildung 24: SAP-Aufträge und Meldungen

Im Allgemeinen fällt auf, dass im SAP-System nur begrenzt Informationen erfasst und gespeichert werden, die einen Beitrag zum aktuellen Anlagenzustand aus technischer Sicht leisten können. Dies bedeutet, dass nur wenige zusätzliche Dateien oder Details in den Meldungen oder Aufträgen hinterlegt sind, sofern überhaupt eine Meldung angelegt wird. Besondere Vorkommnisse oder Informationen werden lediglich kurz und subjektiv als Text in den Meldungen festgehalten. Dies führt zu Problemen bei der einheitlichen Erfassung von Daten zum Anlagenzustand im SAP-System.

Die Gründe für diese mangelhafte Datenqualität im SAP-System sind vielfältig. Hierzu zählen lange Startzeiten des Programms, unerwartete Abstürze und eine umständliche Handhabung bei der Erfassung von Meldungen und Aufträgen. Diese Faktoren tragen dazu bei, dass die Datenqualität im SAP-System mangelhaft ist.

Abbildung 25 zeigt die Organisationsstruktur der Bewegungsdaten im Kraftwerk Villach. Es ist erkennbar, dass der interne Server eine erhebliche Nutzung erfährt, wie durch das Vorhandensein von 3.354 Dateien in der "Ablage K" verdeutlicht wird. Im Gegensatz dazu sind in SAP 2.569 Meldungen und 846 Aufträge vorhanden. Angesichts der Tatsache, dass Dokumente nur äußerst selten in Meldungen oder Aufträgen hinterlegt werden, lässt sich daraus schließen, dass die bevorzugte Plattform für die Speicherung von Dokumenten der interne Server ist.

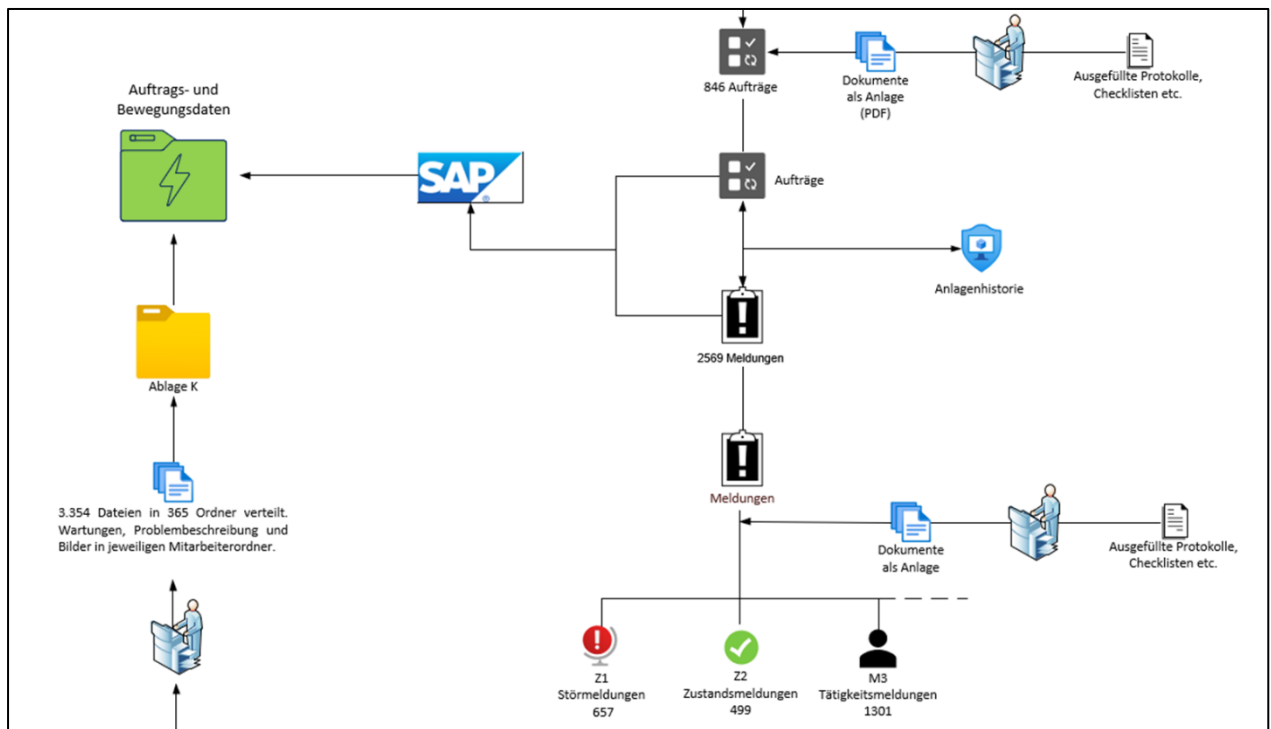


Abbildung 25: Struktur Bewegungsdaten Villach

Für die Equipment-Pflege wird das System Mywork2go verwendet, ein mobiles Assistenzsystem (MSS) das auf Handys oder Tablets genutzt wird. In dieses System werden Checklisten hochgeladen und von den Mitarbeitern abgearbeitet. Die Identifikation des Equipments (wie Feuerlöscher, Anschlagmittel, Leitern usw.) erfolgt mittels RFID-Kennungen. Dies ermöglicht eine effiziente und digitale Erfassung und Verwaltung von Informationen im Zusammenhang mit der Equipment-Pflege. Es ist von Bedeutung zu unterstreichen, dass Equipment-Teile in diesem Kontext als Hilfsmittel oder Sicherheitsausrüstungen zu verstehen sind, die in Bezug auf den technischen Zustand der Gesamtanlage eine untergeordnete Rolle einnehmen und diesen nur sehr geringfügig beeinflussen. Die vorherrschende Situation in den einzelnen Datenkategorien wird folglich beschrieben.

1) Datenerfassung

Die Auftrags- und Bewegungsdaten des Kraftwerks Villach werden größtenteils auf Papier erfasst. Gesetzlich vorgeschriebene Tätigkeiten werden in digitaler Form festgehalten, wobei dies zum Teil durch mobile Endgeräte oder durch das Einscannen von Papieraufzeichnungen erfolgt. An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass überwiegend die Daten auf Papier erfasst werden und erst später die digitale

Übertragung erfolgt. Die eingescannten Dokumente werden anschließend auf dem internen Server abgelegt.

Die Vorlagen für die Arbeitsabläufe sind in Papierform im Werkstätten-Archiv oder digital auf dem Laufwerk verfügbar bzw. gelegentlich im SAP-Auftrag aufgeführt. Die Verwaltung von Arbeitsressourcen wie Personal und Materialien erfolgt über das SAP-System. Zeitinformationen der Mitarbeiter können von diesen selbst in SAP eingetragen werden, und die Dauer der Meldungen wird ebenfalls im SAP-System erfasst.

2) Datenbereitstellung

Die Speicherung der Daten erfolgt entweder auf dem lokalen Laufwerk oder im SAP-System, wobei der Großteil der Datenspeicherung auf dem lokalen Server stattfindet. Diese beiden Systeme sind zwar nach Erhalt der entsprechenden Berechtigungen zugänglich, jedoch nicht miteinander vernetzt. Daher kann keiner der beiden Speicherorte als ein Single-Point-of-Truth betrachtet werden und eine Verknüpfung mittels Schnittstellen wäre problematisch.

Des Weiteren ist zu beachten, dass die meisten Datenquellen im Laufe ihres Lebenszyklus verschiedene Datenspeicher durchlaufen. Als Beispiel sei hier die Erfassung von wiederkehrenden Maßnahmen auf Papier, deren Übertragung in Excel-Dateien und anschließende Übertragung in andere Systeme genannt.

Bei schwerwiegenden Problemen oder bei Ausfall einer Anlage, wird sofort eine Z1 Meldung in SAP angelegt, welche eine Standardcodierung und gültige Metadaten¹³³ besitzt.

3) Datenformate

Eine beträchtliche Menge an operativen Instandhaltungsdaten, darunter Protokolle und Revisionen, die aufgrund gesetzlicher Vorgaben durchgeführt werden müssen, werden nach wie vor durch das Einscannen von ausgefüllten Checklisten erfasst und auf das interne Laufwerk in PDF-Format hochgeladen. Zusätzlich werden nur wenige Meldungen und Aufträge in SAP mit ausreichend detaillierten Informationsattributen versehen, wobei alle Informationen das gleiche Format aufweisen.

¹³³ Metadaten stellen grundlegend betrachtet Informationen über andere Daten dar. Ihr Zweck besteht darin, die Strukturierung und Klassifizierung digitaler Ressourcen zu erleichtern, mit dem Ziel, die darin enthaltenen Informationen transparenter zu gestalten..

4) Datendarstellung

Die Codierung der Daten ist ausschließlich im SAP-System durchgängig. Damit ist die Zuordnung einer Meldung zu einem technischen Platz möglich. Am internen Laufwerk hingegen werden Daten in freiem Textformat erfasst und subjektiv benannt. Diese Codierung ist weder standardisiert noch für einen Algorithmus interpretierbar. Daher sind nur einfache Analysen wie die Zählung von Meldungen oder die Identifizierung von Dateiformaten möglich. Für eine detaillierte Auswertung sind jedoch spezialisierte Fachkräfte erforderlich.

5) Datenumfang

Die Daten werden über einen sehr langen Zeitraum hinweg gespeichert, insbesondere in SAP, wo sie oft mehrere Jahrzehnte archiviert werden. Auf dem internen Laufwerk werden die Daten ebenfalls über mehrere Jahre aufbewahrt, jedoch in uneinheitlichen Intervallen und mit variablen Attributen. Die Dokumentation von Arbeitsabläufen im Rahmen von Einzelaufträgen oder Reparaturen ist oft unzureichend und nicht konsistent in ihrem Umfang.

6) Datenkonsistenz

Die zeitlichen Aufzeichnungen sind konstant und in einem vorgegebenen Rahmen. Wichtige Meldungen in SAP werden zwar mit einem Zeitstempel versehen, dieser wird jedoch oft erst nach Abschluss der Tätigkeit oder spätestens am Ende des Arbeitstages manuell eingetragen. Die Daten am Laufwerk haben, wie auch bei der Datenkonsistenz der Bestandsdokumentation erwähnt, einen unzuverlässigen Zeitstempel.

7) Gesamtreifegrad

Obwohl die Datendarstellung bei den Bewegungsdaten der niedrigsten Reife entsprechen, ist der Gesamtreifegrad mit zwei bewertet. Diese Einschätzung basiert auf der Gewährleistung einer standardisierten Codierung und der Integration von Metadaten bei der Datenbereitstellung, insbesondere im SAP-System. Im Gegensatz dazu erfordern wiederkehrende Maßnahmen im operativen Betrieb, die auf dem Laufwerk gespeichert sind, ähnlich der Bestandsdokumentation zusätzliche Datenaufbereitungsschritte. Es ist jedoch erwähnenswert und in Tabelle 11 abgebildet, dass die Datenkategorien Erfassung, Formate und Umfang ebenfalls die diagnostische Prozessreife erreichen.

Tabelle 11: Reifegradmodell Bewegungsdaten Villach

Kategorie	Erfassung	Bereitstellung	Formate	Darstellung	Umfang	Konsistenz	Gesamt
Reifegrad 1				x		x	
Reifegrad 2	x	x	x		x		x
Reifegrad 3							
Reifegrad 4							

6.2 Kraftwerk Melk

In diesem Unterkapitel werden die Ergebnisse der Reifegradanalyse für den Standort Melk detailliert erörtert. Dabei lag der Schwerpunkt auf der Bewertung der Bestandsdaten und der Bewegungsdaten, die jeweils in separaten Unterpunkten ausführlich beschrieben wurden. Des Weiteren werden in diesem Kapitel Unterschiede in den Ergebnissen im Vergleich zum Kraftwerk Villach erörtert und hervorgehoben.

6.2.1 Bestandsdaten

Die grundlegende Datenstruktur des Kraftwerks Melk entspricht der des Kraftwerks Villach. Hierbei wird auf verschiedene Datenquellen zugegriffen und diese entsprechend gewartet. Die am Standort am meisten vertraute Quelle ist das Archiv, in dem die Pläne in Papierform aufbewahrt werden. Allerdings ist auch in diese Quelle nicht uneingeschränktes Vertrauen gesetzt.

Im Bereich der digitalen Datenquellen wird die Pflege der SAP-Anlagenbeschreibung verstärkt vorangetrieben, was sich auch in der Anzahl der gespeicherten Dokumente widerspiegelt (4485 in Melk und 0 in Villach).

Zusätzlich sind im Intranet Dokumente bezüglich der Zuständigkeitsverteilung und der Verantwortlichkeiten am Standort Melk verfügbar. Im Rahmen der Datenerhebung wurde keine Berechtigung für das interne Laufwerk beantragt, da die Informationen aus den Befragungen der verantwortlichen Mitarbeiter als ausreichend erachtet wurden. Gemäß den Aussagen der Befragten werden am internen Laufwerk Informationen für den internen Gebrauch gespeichert. Alle relevanten Dateien für die Bestandsdaten werden jedoch in das SAP-System übertragen.

Abbildung 26 veranschaulicht die finale Struktur der Datenlandschaft für diese Datenkategorie am Standort Melk.

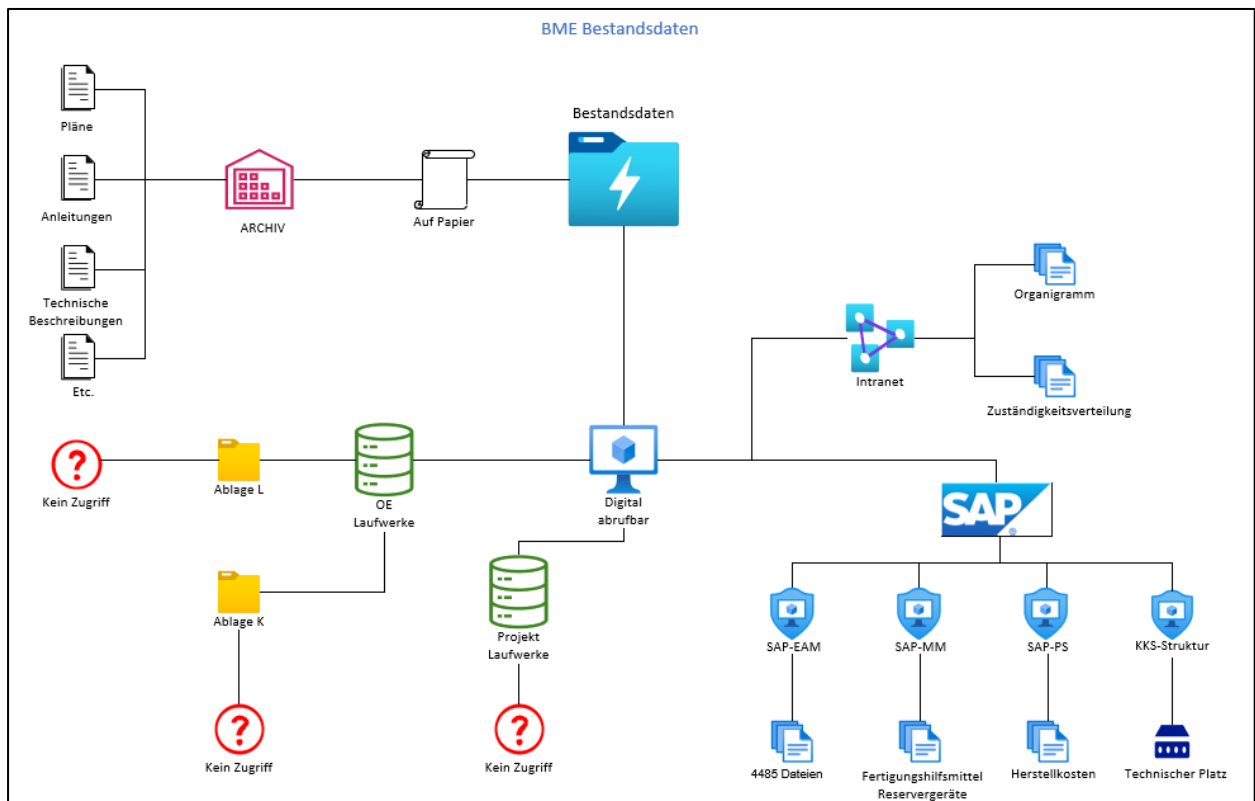


Abbildung 26: Struktur Bestandsdaten Melk

1) Erfassung

Die Datenerfassung erfolgt gegenwärtig manuell in digitaler Form. Das bedeutet, dass bei Erhalt oder Erstellung eines neuen Plans dieser unmittelbar auf dem internen Laufwerk abgespeichert und anschließend zur Übertragung in die SAP-Anlagenbeschreibung freigegeben wird. Die Altbestände der Bestandsdaten sind teilweise noch in Form von Papierzetteln im Archiv vorhanden. Ähnlich wie in Villach ist es in den meisten Fällen nicht eindeutig nachvollziehbar, ob die aktuellen Daten erfasst wurden und in welchem Verzeichnis sie sich befinden. Informationen zu Materialressourcen und Organisationsstrukturen sind hingegen in SAP MM oder im Intranet verfügbar.

Es ist jedoch anzumerken, dass im Gegensatz zum Kraftwerks-Standort Villach bereits ein Prozess implementiert wurde, um Dateien der Bestandsdokumentation in SAP zu übertragen, mit dem Ziel, eine einheitliche und verlässliche Datenquelle zu etablieren.

2) Bereitstellung

Die Bereitstellung der Daten erfolgt über mehrere Datenquellen und weist teilweise Redundanzen auf. Die am häufigsten verwendete Quelle ist das Archiv, das sich über

verschiedene Räume im gesamten Kraftwerk erstreckt. Es besteht jedoch kein vollständiges Vertrauen in eine einzelne Quelle, da keine von ihnen als "Single Point of Truth" gilt.

Das ist verwendete SAP-System proprietär, steht jedoch auf jedem Unternehmenscomputer zur Verfügung. Dennoch sind verschiedene Freischaltungen durch den Unternehmensadministrator erforderlich, um auf interne Laufwerke oder SAP-Anwendungen zugreifen zu können.

3) Formate

Die vorliegenden Datenformate sind größtenteils standardisiert, wobei PDF-Dateien die vorherrschende Form darstellen. Ein Beispiel hierfür ist, dass alle in SAP gespeicherten Dateien im einheitlichen SAP-PDF-Format vorliegen. In seltenen Fällen sind auch Dateien in Textformaten, Tabellenkalkulationsformaten sowie Bildformaten vorhanden, jedoch befinden sich diese ausschließlich auf dem internen Laufwerk. Es ist zu betonen, dass diese Formate von sämtlichen in der VHP genutzten Softwareanwendungen ohne Einschränkungen gelesen werden können.

4) Darstellung

Das vorrangige Beurteilungskriterium in dieser Kategorie für die Bestandsdokumentation ist die Codierung oder Benennung der Dokumente gemäß eines festgelegten Schemas. Dieses Kriterium wird lediglich bei den Dateien in SAP erfüllt, die gemäß einer standardisierten VGB-Richtlinie (Dokumentenartklasse) abgespeichert und benannt werden. Hingegen erfolgt die Benennung der Dateien auf dem lokalen Server subjektiv und erfüllt nicht die Anforderungen des Reifegradmodells für eine prädiktive Datenanalyse.

5) Umfang

Die Bestandsdaten sind über Ihre Lebensdauer konstant und diese beträgt in den meisten Fällen mehrere Jahre. Die Daten, falls in digitaler Form vorhanden, werden vor dem Abspeichern auf das Laufwerk gefiltert, sodass nur relevante Informationen dauerhaft gespeichert werden. Der Umfang ist ausreichend.

6) Konsistenz

Die zeitlichen Aufzeichnungen weisen in ihrer Qualität Mängel auf. Ein konkretes Beispiel hierfür sind die Dokumente auf den Laufwerken, die keine gültigen Zeitstempel aufweisen. Anders ist die Situation bei den Dokumenten in SAP. Dort ist der Zeitpunkt der Übertragung eindeutig gültig und diesem kann vertraut werden. Wie auch in Villach sollen die noch vorhandenen physischen Papieraufzeichnungen im Archiv in ihrer Gesamtheit eingescannt werden, um eine bessere Verwendbarkeit sicherzustellen.

7) Gesamtreifegrad

Der Gesamtreifegrad der Bestandsdokumentation in Melk wird mit eins eingestuft. Die Kategorie "Darstellung" erhält eine Bewertung von zwei aufgrund der vorhandenen Dateien in der SAP-Anlagenbeschreibung. Dennoch bleibt der erforderliche Arbeitsaufwand beträchtlich, um die Vollständigkeit des Systems zu erreichen und eine umfassende Datenanalyse durchführen zu können. Ein erheblicher Aufwand besteht darin, die Dokumente vollständig in das SAP-System zu integrieren. Obwohl bereits 4.435 Dateien gespeichert sind, müssen noch einige hinzugefügt werden, um die Vollständigkeit zu gewährleisten.

Da die "Datenbereitstellung" aufgrund des Mangels an einer zuverlässigen und aktuellen Datenquelle mit einem Reifegrad von eins bewertet wurde, werden die maßgeblichen Anforderungen für eine bessere Gesamtbewertung nicht erfüllt. Es ist jedoch zu beachten, dass ein vollständiges SAP-System als Datenquelle für die Bestandsdaten in Bezug auf diagnostische Prozessreife und weiterführend für eine präventive sowie zustandsabhängige Instandhaltungsstrategie geeignet wäre. Die Bewertungen der anderen Reifegradkategorien sind der Tabelle 12 zu entnehmen.

Tabelle 12: Reifegradmodell Bestandsdaten Melk

Kategorie	Erfassung	Bereitstellung	Formate	Darstellung	Umfang	Konsistenz	Gesamt
Reifegrad 1	x	x				x	x
Reifegrad 2			x	x	x		
Reifegrad 3							
Reifegrad 4							

6.2.2 Auftrags- und Bewegungsdaten

Der grundlegende Aufbau der Datenlandschaft in Bezug auf Auftrags- und Bewegungsdaten entspricht dem in Villach. Der wesentliche Unterschied liegt jedoch erneut in der Nutzung der ERP-Software SAP. In Melk werden erheblich mehr Informationen über Aufträge und Meldungen in das System eingegeben. Dies kann anhand konkreter Beispiele belegt werden. Insgesamt sind in SAP 6.220 Aufträge und 54.434 Meldungen für den Standort Melk gespeichert, während in Villach lediglich 846 Aufträge und 2.569 Meldungen angelegt wurden. Außerdem wurden in Melk 15.925 und in Villach 3.333 technische Plätze in SAP erstellt. Um die Daten vergleichbar zu machen, wird im Unterkapitel 6.4 ein Versuch zur Objektivierung unternommen, unter Berücksichtigung der Unterschiede in der Größe der beiden Kraftwerke.

Die Datenstruktur ist in Abbildung 27 dargestellt.¹³⁴

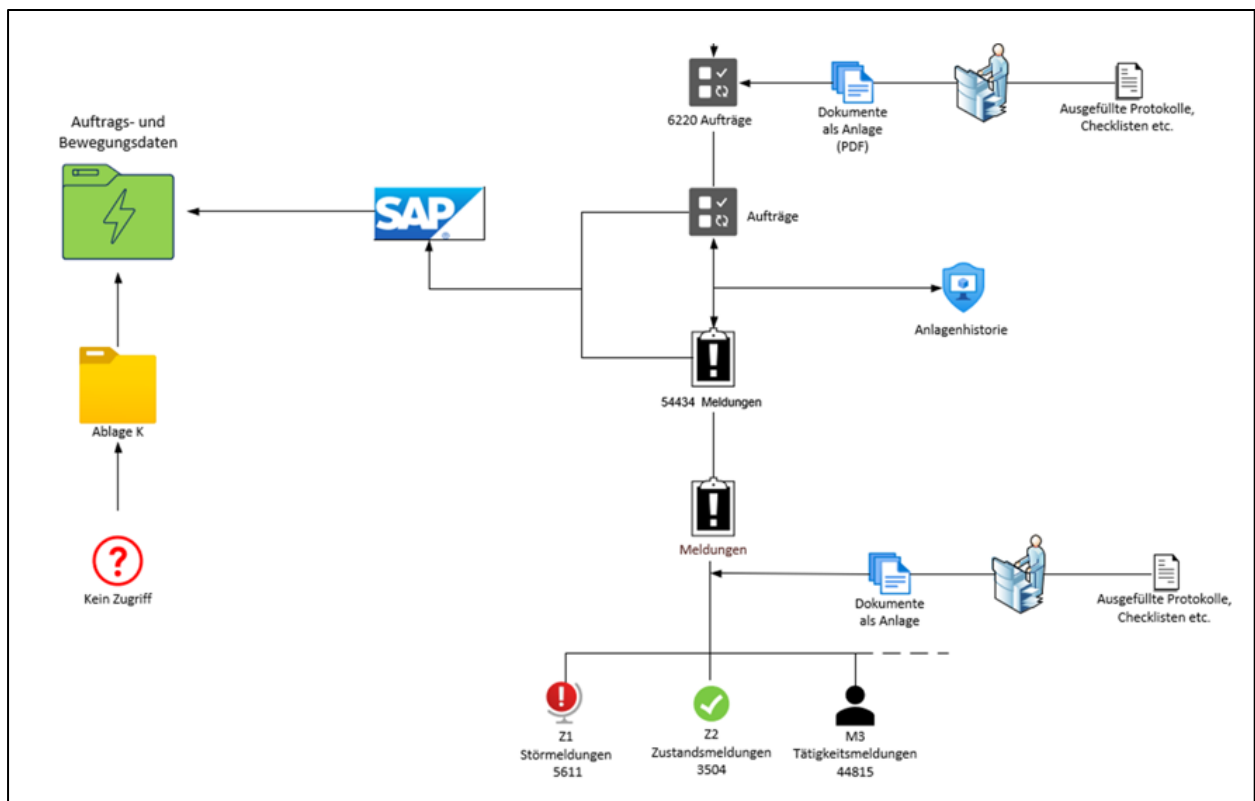


Abbildung 27: Datenstruktur Bewegungsdaten Melk

Für die Pflege der Ausrüstung wird, wie in Villach, das System Mywork2go verwendet. Die gesetzlich vorgeschriebenen wöchentlichen Rundgänge werden in Melk bereits mithilfe von mobilen Geräten durchgeführt, und die Zustände der Anlagen und

¹³⁴ Stand 21.09.2023

Anlagenkomponenten werden in den technischen Plätzen der SAP-Software erfasst, wobei gleichzeitig Meldungen erstellt werden. Auf diese Weise werden 201 technische Plätze wöchentlich kontrolliert. Die Bewegungsdaten aus diesen Kontrollen sind standardisiert, mit gültigen Zeitstempeln versehen und enthalten auch Metadaten. Wenn Mängel an den technischen Plätzen festgestellt werden, wird automatisch eine Z1-Meldung generiert und dem Betriebsmeister gemeldet. Dieser kann dann entsprechende Gegenmaßnahmen einleiten.

Die vorherrschende Situation in den verschiedenen Datenkategorien wird folglich beschrieben.

1) Erfassung

Die Erfassung von Auftrags- und Bewegungsdaten erfolgt fast ausschließlich digital-manuell-regelmäßig oder auch digital-manuell-unregelmäßig in SAP-EAM. Dies geschieht einerseits am direkten Weg wie bei den wöchentlichen Rundgängen oder bei der Equipment-Kontrolle mit Hilfe von mobilen Geräten. Andererseits werden hier auch unregelmäßige, spontan auftretenden Probleme mittels Meldungen beschrieben und die Gegenmaßnahmen zu beschreiben versucht.

Die Vorlagen für wiederkehrenden Arbeitsabläufe sind im SAP-Auftrag aufgeführt. Die Verwaltung von Arbeitsressourcen wie Personal und Materialien erfolgt ebenfalls über das SAP-System.

2) Bereitstellung

Wie bereits zuvor erläutert wurde, erfolgt die Datenerfassung hauptsächlich über das zentrale Datenspeichersystem von SAP. Die Übertragung der erfassten Daten erfolgt unmittelbar über Mobile Devices, sobald eine stabile Internetverbindung verfügbar ist. Es sei anzumerken, dass es im Kraftwerk einige Bereiche gibt, in denen keine stabile Verbindung möglich ist und die sofortige Übertragung der Informationen verhindert. Das führt dazu, dass spätestens am Ende der Schicht die erfassten Daten verfügbar sind. Jedoch ist dies als das „Worst-Case“-Szenario zu betrachten und ist nicht die Regel.

Es ist von großer Bedeutung zu betonen, dass das SAP-ERP-System in diesem Kontext als der „Single Point of Truth“ angesehen wird, und den Daten dieses Systems auch vollständig vertraut wird.

3) Formate

Aufträge, Meldungen und ihnen angehängte Dateien werden in SAP als ein SAP- interne Formate abgespeichert. Diese sind proprietär, allerdings von allen Beteiligten lesbar, da SAP als Standardsoftware auf jeden PC der VHP installiert ist. Des Weiteren können in diesem system große Datenmengen gespeichert werden.

4) Darstellung

Die Codierung der Daten im SAP-System ist durchgängig und standardisiert. Bei Aufträgen und Meldungen werden verschiedene Informationen erfasst, darunter die Art des Auftrags oder der Meldung, der technische Standort, der genaue Zeitpunkt sowie das Datum und viele weitere relevante Details. Hierdurch wird die Erfassung von Metadaten ermöglicht. Zudem besteht die Möglichkeit, einen ausführlichen Langtext einzugeben, in dem durchgeführte Tätigkeiten oder Auffälligkeiten detailliert beschrieben werden können.

Die Codierung von Schäden in den Meldungen erfolgt oberflächlich, wobei das Problem subjektiv im Langtext beschrieben wird. Die Fehlerklassen können in mechanische, hydraulische und andere Kategorien unterteilt werden, um eine genauere Klassifizierung vorzunehmen.

5) Umfang

Die Daten werden über einen sehr langen Zeitraum hinweg gespeichert, insbesondere in SAP, wo sie seit Einführung des Systems 2001 archiviert werden. Auf dem internen Laufwerk werden die Daten ebenfalls über mehrere Jahre aufbewahrt, jedoch in uneinheitlichen Intervallen und mit variablen Attributen.

In SAP werden die Daten sofort aggregiert und nur die für den Betrieb relevanten Attribute werden aufgezeichnet. Die Eignung des Datenumfangs für eine valide zustandsabhängige Instandhaltung sollte von einem Datenanalytiker beurteilt werden.

6) Konsistenz

Die vorliegenden Daten sind mit gültigen Zeitstempeln versehen. Abhängig von der Art der Meldung und des Auftrags werden in SAP der Zeitpunkt des Anlagenausfalls, der Wiederinbetriebnahme, der Meldung selbst sowie die Dauer der Tätigkeit und des Stillstands erfasst und dokumentiert. Die Zeitspanne zwischen dem Auftreten des

Ereignisses und der Aufzeichnung der Daten kann variieren. Einerseits kann die Erfassung in Echtzeit erfolgen, beispielsweise mithilfe eines Mobile Devices und einer stabilen Verbindung, während sie andererseits im ungünstigsten Fall erst am Ende der Schicht durchgeführt werden kann. Der zeitliche Unterschied in der Zeiterfassung bleibt jedoch innerhalb eines konstanten Rahmens.

7) Gesamtreifegrad

Die Stufe der Datendarstellung wird mit einem Reifegrad von zwei bewertet, während sämtliche anderen Kategorien eine Eignung für diagnostische und prognostische Datenanalysen aufweisen und daher die Stufe drei erhalten. Die Ursache dafür, dass die Datendarstellung nicht die Stufe 3 erreicht, liegt in der unzureichenden Codierung von Schadensinformationen. Diese beschränkt sich auf grobe und nicht eindeutige Beschreibungen von Problemen. Im Gegensatz dazu weisen die meisten anderen Merkmale dieser Kategorie eine prädiktive Prozessreife auf. Daher kann auch der Gesamtreifegrad mit drei bewertet werden. Die genaue Beurteilung ist der Tabelle 13 zu entnehmen. Das EAM-System von SAP erweist sich daher als geeignetes Informationssystem für das angestrebte Projektziel in der Instandhaltung.

Tabelle 13: Reifegradmodell Bewegungsdaten Melk

Kategorie	Erfassung	Bereitstellung	Formate	Darstellung	Umfang	Konsistenz	Gesamt
Reifegrad 1							
Reifegrad 2				x			
Reifegrad 3	x	x	x		x	x	x
Reifegrad 4							

6.3 Soll-Zustand

Zur umfassenden Erfassung des Soll-Zustands in den einzelnen Reifegradkategorien ist es notwendig, zunächst das zugrunde liegende Projektziel detailliert zu erläutern. Konkret beabsichtigt das Projekt-Team die Entwicklung eines zentralen Dashboards, das sämtliche relevante Informationen in Bezug auf die Instandhaltung technischer Anlagen bereitstellt und somit eine datenbasierte Instandhaltung integriert und eine vorausschauende Prognose ermöglicht. Ähnlich einem "Data Warehouse" soll dieses Dashboard Informationen aus verschiedenen Datenquellen aggregieren und gemeinsam visualisieren, um den Zustand funktionskritischer Anlagen umfassend zu ermitteln. Im Rahmen dieser Masterarbeit ist es von entscheidender Bedeutung, den Ist-Zustand der bestehenden Datenlandschaft hinsichtlich der Bestandsdokumentation sowie der Auftrags- und Bewegungsdaten zu analysieren, um eine erfolgreiche Umsetzung des Projekts besser abschätzen zu können.

In diesem Unterkapitel wird der angestrebte Soll-Zustand des Datenverarbeitungsprozesses im Zusammenhang mit der Bestandsdokumentation und den Auftrags- und Bewegungsdaten detailliert vorgestellt. Dieser Soll-Zustand formuliert die spezifischen Anforderungen in eben diesen Bereichen an die Daten in den sechs Reifegradkategorien, die erforderlich sind, um das AOM-System erfolgreich zu implementieren.

6.3.1 Bestandsdaten

Die Bestandsdaten sind in ihrer Definition nicht im Stande aktuelle Anlagenzustände zu beschreiben. Sie beinhalten lang andauernde statische Informationen, welche den Aufbau, die Struktur der Daten oder die Verantwortung beschreiben. Die zwei wichtigsten Fragen hierbei sind:

- 1) Sind die Daten digital verfügbar und wenn ja, in welcher Form?
- 2) Können die Daten in eine Struktur integriert werden um eine eindeutige Zuordnung zu einem Asset zu gewährleisten?

Folglich werden diese Fragen im Zuge des definierten Soll-Zustandes beantwortet. Die Soll-Zustände orientieren sich stark an die Bewertungsebene nach BERNERSTÄTTER:¹³⁵

¹³⁵ Vgl. (Bernerstätter R. , 2019, S. 126ff.)

1) Erfassung

Die Datenerfassung sollte gleich nach Eintritt des Dokuments in den Betrieb und auf alle Fälle digital erfolgen, diese kann allerdings nur durch den Menschen, also manuell, ausgelöst werden. Anpassungen der Daten müssen unregelmäßig bei Austausch des Objektes durchgeführt werden.

Normalerweise erfolgt der Auslöser für die Datenerfassung manuell und in unregelmäßigen Abständen. Durch den Einsatz technischer Systeme wird die Glaubwürdigkeit der Datenerfassung erhöht. Um die manuelle Erfassung zu erleichtern, ist es wichtig, eine klare Logik zwischen dem Prozess, den erzeugten Daten und den zu erfassenden Daten und Merkmalen zu haben. Zum Beispiel sollte die Benennung der Dokumente einer systematischen Logik folgen und nicht subjektiv erfolgen.

2) Bereitstellung

Die Erfassung der Daten sollte in einem zentralen Datenbanksystem erfolgen. Dies erleichtert die Abfragen erheblich, da Schnittstellenprobleme vermieden werden. Im Idealfall sollten die erfassten Daten bereichsübergreifend abrufbar sein. Der Begriff der Echtzeiterfassung macht hier nur wenig Sinn. Alle relevanten Daten sollten vor Abschluss eines Projektes, eines Auftrags oder ähnlichen in ein zentrales Datenbanksystem geladen und gespeichert werden.

3) Formate

Die Daten und Formate sollen standardisiert werden und von dem meisten Programmen uneingeschränkt lesbar sein. Beispiele sind Formate wie PDF oder XML, aber auch Textformate. Die Zusammenführung zu einem einheitlichen Datenbestand ist in jedem Fall mit Zeitaufwand verbunden. Im Allgemeinen sollten die verwendeten Formate auf ein Minimum beschränkt werden.

4) Darstellung

Ein einheitliches Benennungs- und Codierungssystem der Bestandsdaten soll eingeführt und im Anschluss angewandt werden. Dieses Codierungssystem soll über alle Quellen hinweg gleich sein, bzw. eine Übersetzungstabelle vorhanden sein, um die Vergleichbarkeit der Dokumente und die Zuordnung zum richtigen technischen Platz konzernweit zu gewährleisten.

5) Umfang

Haupteinflussparameter im Bereich des Datenumfangs ist die Aufzeichnungsdauer. Die Zeitspanne soll wenigstens ein Jahr betragen, um wesentliche Zusammenhänge, die sich unter Umständen im Jahresverlauf ergeben, erfassen zu können.

6) Konsistenz

Es ist ratsam, ausschließlich mit einer aktuellen und den Anforderungen genügenden Datenquelle zu arbeiten, da die Zeiteinträge nur innerhalb einer Quelle vergleichbar und somit sinnvoll geordnet sind. Das bedeutet, dass innerhalb einer Quelle eine zuverlässige Reihenfolge der Ereignisse festgelegt werden kann. Die Konsistenz kann jedoch nicht über verschiedene Datenquellen hinweg gewährleistet werden. Diese Daten eignen sich besonders für diagnostische Zwecke, da die Aktionen und Prozessschritte in eine korrekte Abfolge gebracht werden können.

7) Gesamtreifegrad

Wie bereits in Abschnitt 3.3.1 erwähnt, ist es von Bedeutung zu unterstreichen, dass Bestandsdaten primär dazu dienen, detaillierte Informationen über eine Anlage oder ein Vermögenswert zu vermitteln, anstatt zukünftige Ereignisse vorherzusagen. Ein entscheidendes Kriterium bei der Dokumentation von Bestandsdaten ist die Frage, ob diese Daten digital erfasst und einheitlich benannt wurden. Der größte Mehrwert entsteht, wenn sie in einem System leicht abrufbar sind und unverzüglich technische Informationen wie Materialzusammensetzung, Alter und Datenblätter bereitstellen.

Aufgrund der begrenzten Eignung der Bestandsdaten für eine Big-Data-Analyse ist es schwierig, die prädiktive Reife zu erlangen. Daher ist der Gesamtreifegrad der Bestandsdaten Stufe zwei, nämlich die diagnostische Reife, das angestrebte Ziel. Die diagnostische Reife-Analysen eröffnen die Möglichkeit, Ursachen für Ereignisse zu ergründen oder diese rascher zu identifizieren, indem sie Muster und Zusammenhänge aufdecken, die ohne die Durchführung dieser Analysen im Verborgenen bleiben. Primär erfolgt hierbei die Anwendung explorativer statistischer Analysen.¹³⁶

Die Soll-Zustände in den einzelnen Kategorien sowie der Gesamtreifegrad wird in Tabelle 14: Soll-Zustand Bestandsdaten Tabelle 14 zusammenfassend dargestellt.

¹³⁶ Vgl. (Bernerstätter R. , 2019, S. 128)

Tabelle 14: Soll-Zustand Bestandsdaten

Kategorie	Erfassung	Bereitstellung	Formate	Darstellung	Umfang	Konsistenz	Gesamt
Reifegrad 1							
Reifegrad 2	x		x	x	x	x	x
Reifegrad 3		x					
Reifegrad 4							

6.3.2 Auftrags- und Bewegungsdaten

Gemäß der Definition in Unterkapitel 3.3.2 ist ersichtlich, dass die Auftrags- und Bewegungsdaten kontinuierlich erweitert und gepflegt werden sollen, um den täglichen Betrieb effektiv zu unterstützen. Dazu müssen gewisse Standards in den Kategorien erlangt werden, welche nach BERNERSTÄTTER beschrieben werden:¹³⁷

1) Erfassung

Die Datenerfassung sollte sowohl in digital-manueller regelmäßiger als auch digital-manueller unregelmäßiger Form durchgeführt werden. Eine digitale Erfassung ist zwingend erforderlich, um einen hohen Reifegrad in diesem Bereich zu erreichen.

Digital-manuelle regelmäßige Aufzeichnungen erfolgen während geplanter Rundgänge, die entweder mithilfe von mobilen Geräten unterstützt werden oder bei denen menschliche Operator regelmäßig an Terminals oder PCs Daten eingeben oder Statusinformationen bestätigen müssen.

Digital-manuelle unregelmäßige Aufzeichnungen beziehen sich auf Daten, die bei spezifischen Ereignissen anfallen, wie beispielsweise bei reaktiver Instandhaltung. Hierbei dokumentieren Instandhalter die Aktivitäten mithilfe von mobilen Geräten oder Maschinenbediener melden Ausfälle über Terminals. Die erfassten Daten werden digitalisiert, um eine spätere Automatisierung oder Duplizierung der Analyse zu ermöglichen.

¹³⁷ Vgl. (Bernerstätter R. , 2019, S. 126ff.)

Bei der manuellen Aufzeichnung muss eine regelmäßige Digitalisierung mit technischer Unterstützung erfolgen. Hierfür sind entsprechende organisatorische Maßnahmen erforderlich. Wartungsprotokolle und Revisionslisten könnten beispielsweise in SAP erstellt und mithilfe von mobilen Geräten abgearbeitet werden. Dies würde zu standardisierten Listen mit gültigen Zeitstempeln führen und die Daten für eine bessere Analysefähigkeit bereitstellen. Die Unterstützung durch technische Systeme trägt zur Steigerung der Glaubwürdigkeit der Datenerfassung bei.

2) Bereitstellung

Die Erfassung der Daten muss in einem zentralen Datenbanksystem erfolgen, wodurch Schnittstellenprobleme vermieden werden. Die erfassten Daten sind bereichsübergreifend, jedoch nicht hierarchieübergreifend, und repräsentieren somit eine klassische horizontale Integration. Beispiele für diese Daten umfassen operative Informationen zur Instandhaltungsdurchführung, Produktion und Maschinenüberwachung.

Die Zuweisung von Arbeitsressourcen sowie sämtliche Zeitinformationen des operativen Betriebs sollen über ein ERP-System abgewickelt werden. Bei einer stabilen Internetverbindung erfolgt die Übertragung dieser Daten in Echtzeit mittels Mobile-Devices. Die Daten stehen spätestens am folgenden Tag zur Verfügung. Dieses Vorgehen gewährleistet eine effiziente und zeitnahe Nutzung der erfassten Informationen für betriebliche Zwecke.

3) Formate

Die Daten und Formate sollen standardisiert und in einem Programm erfasst sein. Idealerweise wird die Anzahl der verwendeten Formate auf ein Minimum beschränkt um die Datenaustauschbarkeit und -verarbeitung zu optimieren und potenzielle Kompatibilitätsprobleme zu minimieren. Dies trägt zur Effizienz der Datenverarbeitung bei.

4) Darstellung

Die vorliegenden Daten müssen in einer strukturierten Form dargestellt werden, und für ihre Kodierung sollen etablierte Standardcodes verwendet werden. Die Vergleichbarkeit der Dateneinträge ermöglicht die Durchführung standardisierter untersuchender Analysen, und es besteht die Möglichkeit, datenbasierte Schwachstellenanalysen

durchzuführen. Eine grundlegende Voraussetzung für die Analyse ist jedoch die eindeutige Auslegbarkeit der Codes. Diese Codes müssen eindeutig interpretierbar sein und erfordern eine sorgfältige Abstimmung auf den spezifischen Analysezweck.

5) Umfang

Die Aufzeichnungsdauer muss mindestens ein Jahr betragen. Um prognostische Analysen durchzuführen, ist es ratsam, eine repräsentativ große Stichprobe der Daten zu verwenden. Es gibt keine spezifischen Vorgaben für die genaue Anzahl der Datenpunkte, jedoch sollte die Stichprobe ausreichend groß sein, um alle möglichen Muster für die Zielvariable umfassend abzubilden.

6) Konsistenz

Es ist ratsam, ausschließlich mit einer aktuellen und den Anforderungen genügenden Datenquelle zu arbeiten, da die Zeiteinträge nur innerhalb einer Quelle vergleichbar und somit sinnvoll geordnet sind. Das bedeutet, dass innerhalb einer Quelle eine zuverlässige Reihenfolge der Ereignisse festgelegt werden kann. Die Konsistenz kann jedoch nicht über verschiedene Datenquellen hinweg gewährleistet werden. Diese Daten eignen sich besonders für diagnostische Zwecke, da die Aktionen und Prozessschritte in eine korrekte Abfolge gebracht werden können.

7) Gesamtreifegrad

Der angestrebte Zielzustand verlangt in sämtlichen Datenkategorien die Erreichung der prädiktiven Reife, was sich auch auf den Gesamtreifegrad erstreckt. Aus dieser Perspektive markiert Reifegrad drei den entscheidenden Übergang zur umfassenden horizontalen und vertikalen Integration der IT-Systeme. Es erfolgt in einigen Fällen eine automatische Erfassung von Daten, wobei die Implementierung klar definierter Standards hinsichtlich Formate und Darstellungsarten erfolgt. Dies ermöglicht die Durchführung von Datenanalysen, wobei sämtliche Bewegungsdaten in einem zentralen System gespeichert und verwaltet werden sollen. Tabelle 15 zeigt die umfassende Bewertung.

Tabelle 15: Soll-Zustand Auftrags- und Bewegungsdaten

Kategorie	Erfassung	Bereitstellung	Formate	Darstellung	Umfang	Konsistenz	Gesamt
Reifegrad 1							
Reifegrad 2							
Reifegrad 3	x	x	x	x	x	x	x
Reifegrad 4							

7 Potenziale

In diesem Kapitel sollen die sich ergebenden Möglichkeiten im Zusammenhang mit den beiden beschriebenen Kraftwerken aufgezeigt und diskutiert werden. Nachdem der Ist- und der Soll-Zustand der beiden Kraftwerke beschrieben wurden, ergeben sich Potenziale, die den Datenprozess verbessern und gleichzeitig den Reifegrad erhöhen können.

Um einen objektiven Vergleich hinsichtlich der Anzahl der gespeicherten Dateien zwischen den beiden Kraftwerken zu ermöglichen, wird ein Versuch zur Objektivierung unternommen. In Tabelle 16 ist die Anzahl der Hauptanlagen der beiden Kraftwerke dargestellt. Es ist ersichtlich, dass das Kraftwerk Melk mehr als dreimal so viele Hauptanlagen aufweist wie das Kraftwerk Villach. Dies führt folglich zu einer größeren Menge an abgespeicherten Daten am Standort Melk.

Tabelle 16: Hauptanlagen der Kraftwerke

	Villach	Melk
Hauptmaschinensätze	2	9
Wehrfelder	3	6
Schleusen	0	2
Hauptanlagen	5	17

Eine grundlegende Erkenntnis aus der Datenbeurteilung ist der unterschiedliche und gelebte Datenprozess in den einzelnen Kraftwerken. Durch die bereits in Unterkapitel 5.1 erklärte historische Entwicklung der VHP verwenden die beiden Kraftwerke unterschiedliche Datenquellen für den operativen Betrieb.

Im Bereich der Bestandsdaten gibt es für beide Kraftwerksstandorte Handlungsbedarf. Um diese in ein zentrales Datensystem übertragen zu können, müssen sie vollständig digitalisiert und unter Einhaltung eines Benennungscode abgespeichert werden. Naheliegendste Lösung wäre die Speicherung im SAP-System unter Verwendung der im Konzern bereits eingeführten VGB-Richtlinie als Benennungsschema. Als Begründung wird hier die bereits stattgefundene Integration von SAP und der VGB-Richtlinie bei der VHP genannt. In Melk wurde mit der Übertragung der Daten in das SAP-System (Anlagenbeschreibung) begonnen, in Villach wird ausschließlich mit dem lokalen Server als digitale Datenquelle gearbeitet.

Die Speicherung der Bestandsdaten in SAP bringen einige Vorteile mit sich. Durch die Einführung eines konzernweiten, zentralen Datenbanksystems würden die Daten-Abfragen vehement erleichtert werden, da Schnittstellenprobleme entfallen. Zusätzlich wäre das Dateiformat standardisiert. Der größte Vorteil würde sich jedoch ergeben, wenn auch die Benennung der abgelegten Dateien einem einheitlichen Schema folgen würde, da die Dateien standortsunabhängig zum jeweiligen technischen Platz zugeordnet werden könnten. Zum Beispiel wäre die Vergleichbarkeit zweier Datenblätter zweier Kühlwasserpumpen für die jeweilige Turbine standortübergreifend erleichtert, da diese, bis auf die Standortkennzeichnung, den gleichen Benennungscode aufweisen würden. Des Weiteren würde die Reihung der Zeiteinträge gewährleistet werden, da diese nur innerhalb einer Datenquelle gesichert vergleichbar sind. Damit wäre auch die Aktualität der Dateien gegeben. Ein wichtiger Punkt wäre noch eine Kontrollinstanz, welche die eingegebenen Daten auf richtige Benennung und Zuordnung zum technischen Platz überprüft, um die Qualität und das Vertrauen in die Daten zu gewährleisten. Wie in Unterkapitel 3.3.1 schon erwähnt, entsteht der höchste Nutzen, wenn Bestandsdaten innerhalb eines Systems rasch abgerufen werden können und umgehend technische Informationen wie Alter, Konstruktionsmerkmale und Datenblätter bereitstellen.

Bei den Auftrags- und Bewegungsdaten ist die Ausgangssituation sehr unterschiedlich. In Villach wird, wie bei den Bestandsdaten, vorwiegend mit dem internen Server als digitalem Speicherort gearbeitet. Zudem werden wöchentliche Zustandskontrollen der Anlagen auf Papier abgearbeitet und erst am Ende des Kalenderjahres auf das interne Laufwerk gespeichert. Das ist für eine datenbasierte Zustandsanalyse keine ausreichende Datenbasis und entspricht nicht einem „Industrie 4.0“-Konzept.¹³⁸ Das firmenweite Informationssystem SAP-EAM wird fast ausschließlich für systemkritische Ausfälle, welche als Z1-Meldung bekannt sind, genutzt. Informationen oder Besonderheiten, welche wöchentlich vom Betriebsmitarbeiter beobachtet werden und Aufschluss über den Zustand eines Bauteils oder einer Anlage geben, werden in SAP nicht festgehalten. Das erschwert die Durchführung zustandsbewertender Analysen, wie zum Beispiel der Schwachstellenanalyse, erheblich und führt zu niedrigen Reifegraden. Für eine dauerhafte und datenbasierte Zustandsüberwachung wichtiger Anlagen, müssen auch relevante Informationen aus dem täglichen Betrieb in einem geeigneten Informationssystem gesammelt werden. Dafür würde sich SAP-EAM am besten eignen, da es alle Anforderungen als Enabler für eine Datenanalyse erfüllt und im Konzern bereits

¹³⁸ Vgl. (Bernerstätter R. , 2019, S. 120)

integriert wurde. EAM ermöglicht somit eine umfassende Verwaltung des Lebenszyklus einer Anlage und bietet eine ganzheitliche Perspektive auf das Anlagenmanagement. Bei intensiver und richtiger Pflege würde das System Reifegradstufe drei erreichen und eignet sich daher als Informationssystem für prädiktive Analysen im Bereich der Auftrags- und Bewegungsdaten.

Diese Daten werden im Kraftwerk Melk bereits in SAP gespeichert. Dies lässt sich auch aus dem Vergleich der gespeicherten Daten der untersuchten Kraftwerke erkennen. Unter Berücksichtigung des Größenfaktors des Kraftwerks in Melk ist in Abbildung 28 ersichtlich, dass wesentlich mehr Aufträge und vor allem Meldungen pro Hauptanlage am Standort Melk in SAP erfasst und gespeichert wurden. Bei den Meldungen wurde ein um den Faktor 6 (3202 zu 514 Meldungen) höherer Datenumfang pro Hauptanlage festgestellt.

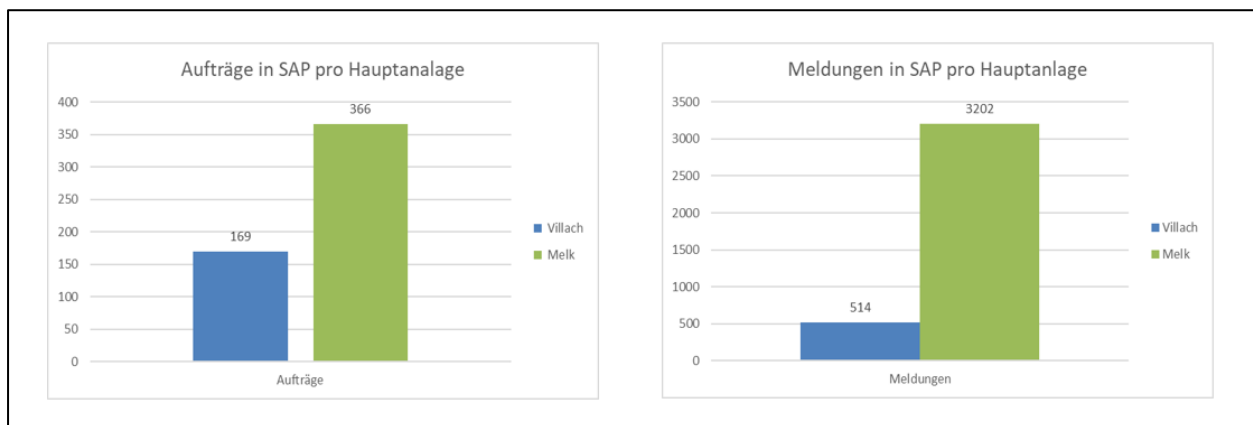


Abbildung 28: Datenvergleich pro Hauptanlage in SAP

Dies ist auch der Grund, wieso in Melk die Reifegrade in fast allen Kategorien die Stufe drei erreichen. Das System wird als „Single Point of Truth“ gesehen, die Datenkonsistenz ist eindeutig und die Daten zuordbar. Des Weiteren werden Standardcodes verwendet, um Meldungen und Aufträge in relevante Kategorien einzuordnen und Metadaten abzubilden. Der implementierte Datenprozess erfüllt die erforderlichen Voraussetzungen für eine Schwachstellenanalyse, wobei die abschließende Entscheidung und Interpretation einem Datenspezialisten obliegt.

Es ist jedoch klar ersichtlich, dass die Qualität der Bewegungsdaten in Melk signifikant höher ist als in Villach, was die Umsetzung einer zustandsorientierten Instandhaltungsstrategie in Melk ermöglicht. Die Daten in Melk bieten eine bessere Grundlage zur Erfassung des Abnutzungsvorrats, und es eröffnet sich die Möglichkeit, einen Ansatz für eine vorausschauende Instandhaltung mithilfe des Informationssystems SAP-EAM zu verfolgen, da nahezu sämtliche Anforderungen für eine prädiktive Datenanalyse, wie von BERNERSTÄTTER beschrieben, erfüllt sind.

In Villach hingegen gestaltet sich die Überzeugung der Betriebsmitarbeiter bezüglich des Informationssystems SAP-EAM als noch nicht vollständig realisiert, wie aus den Ergebnissen der durchgeführten Interviews hervorgeht. Die Befragten äußerten kritische Standpunkte in Bezug auf die Zuverlässigkeit des SAP-Systems, bemängelten lange Reaktionszeiten und führten an, dass sie in den meisten Fällen in der Lage sind, Fehler oder Probleme zu identifizieren und zu beheben, ohne auf das System angewiesen zu sein.

Dieser Umstand unterstreicht die Notwendigkeit, angemessene Voraussetzungen für computergestützte Informationssysteme zu schaffen. Insbesondere liegt der Fokus auf der menschlichen Komponente. Bei der Implementierung und Nutzung von Informationssystemen sind technische Ressourcen allein nicht ausreichend. Die erfolgreiche Integration erfordert auch die angemessene Schulung und Unterstützung der Mitarbeiter. Es ist daher von großer Bedeutung, die organisatorischen und menschlichen Aspekte sorgfältig zu berücksichtigen, um sicherzustellen, dass die Informationssysteme effektiv und effizient genutzt werden können.¹³⁹

Um dieses Vorhaben erfolgreich umzusetzen, bedarf es eines reibungslosen Prozesses sowie eines benutzerfreundlichen und stabilen SAP-Systems, das zuverlässig läuft und eine einfache Bedienbarkeit aufweist.

Im Hinblick auf die benötigten Datengrundlagen und die beschriebene Wahl Strategiemixes aus den Unterkapiteln 2.3 und 2.4 lassen sich auch Ergebnisse zu den Kraftwerksstandorten formulieren. Der Datenprozess in Bezug auf die Bewegungsdaten am Standort Melk bietet sich besonders für den verstärkten Einsatz von laufleistungsorientierten Instandhaltungsintervallen sowie für zustandsorientierte Instandhaltung im Rahmen des Condition-Based Monitoring an. Die Qualität der historischen und aktuellen Daten ist ausreichend, um einen explorativen Ansatz zur zustandsorientierten Instandhaltung und Optimierung der Instandhaltungsintervalle für die Hauptkomponenten zu verfolgen. Eine Neugestaltung und Verbesserung des Strategiemixes für die Hauptkomponenten könnte somit angestrebt werden, da die Qualität der vorliegenden Daten vielversprechend erscheint.

Die Herstellerangaben sowie weitere Informationen aus den Bestandsdaten werden digital gespeichert und es wird versucht, sie einheitlich in einem Informationssystem zu integrieren. Dadurch können diese Daten potenziell in Condition-Based Monitoring und prädiktive Instandhaltungssysteme eingebunden werden. Zusätzlich ist anzumerken, dass vor einer umfassenden Strategieumformulierung zunächst einfachere Analysen

¹³⁹ Vgl. (Unsworth, et al. , 2011, S. 1516f.)

wie die Schwachstellenanalyse durchgeführt werden können. Diese Analysen ermöglichen es, kritische Teile genauer zu spezifizieren und darauf aufbauend gezieltere Instandhaltungsstrategien zu entwickeln.

Hingegen gestaltet sich eine zentrale Planung des Strategiemixes am Standort Villach als anspruchsvoll, da kein einheitliches Informationssystem gepflegt wird und der Zugriff auf historische und Inspektionsdaten schwierig ist. Die Qualität dieser Daten wird als nicht ausreichend für eine zentrale Planung betrachtet. Obwohl Expertise und aktuelle Sensordaten vorhanden sind, weisen die Bestandsdaten und Bewegungsdaten in ihrer Qualität noch Verbesserungspotenzial auf.

8 Zusammenfassung und Ausblick

In Zeiten des digitalen Fortschritts und der exponentiell wachsenden Datenmenge in der Industrie eröffnen sich für Unternehmen neue Möglichkeiten. Insbesondere in der Instandhaltung steigen die Anforderungen an die Zuverlässigkeit von Maschinen, was Anpassungen in den Instandhaltungsstrategien erfordert. Im Kontext von Industrie 4.0 rückt die zustandsorientierte Instandhaltung in den Vordergrund, wodurch der Produktionsfaktor "Daten und Information" an Bedeutung gewinnt. Informationssysteme spielen eine entscheidende Rolle in der Instandhaltung, da sie essenzielle Ressourcen zur Unterstützung von Produktionsprozessen und zur Bereitstellung notwendiger Informationen für Instandhalter darstellen.

In dieser Masterarbeit wurde eine Zustandsbeurteilung durchgeführt, die auf den gesammelten Bestandsdaten sowie den Auftrags- und Bewegungsdaten in der VHP basiert. Diese Zustandsbeurteilung sollte zeigen, wie effektiv die VHP, Daten und Informationen erfasst und speichert. Die Ergebnisse sollten als Grundlage dienen, um zu überprüfen, ob diese Daten in ein Asset- und Operations-Management (AOM)-System integriert werden können.

Die Zustandsbeurteilung wurde mithilfe des Reifegradmodells nach BERNERSTÄTTER durchgeführt, welches die Daten in sechs Kategorien unterteilt und jede Kategorie einzeln bewertet. Diese Kategorien umfassen Erfassung, Bereitstellung, Umfang, Format, Darstellung und Konsistenz. Die Ergebnisse in diesen Kategorien fließen in die Ermittlung eines Gesamtreifegrads ein, der die Fähigkeit zur Durchführung von Datenanalysenprojekten bewertet. Exemplarisch wurden zwei Kraftwerke der VHP, nämlich das Kraftwerk Villach an der Drau und das Kraftwerk Melk an der Donau, für diese Reifegradbestimmung ausgewählt.

Es wurde festgestellt, dass der Datenprozess in den beiden Kraftwerken erhebliche Unterschiede aufweist. In Villach wird hauptsächlich auf einen lokalen Server als bevorzugte Datenquelle und Datenspeicherort gesetzt. Die Bestandsdaten und Bewegungsdaten werden dort subjektiv gespeichert, ohne einem definierten Datenprozess zu folgen. Dies führt dazu, dass im Bereich der Bestandsdaten nur eine deskriptive Reife und im Bereich der Bewegungsdaten eine diagnostische Reife erreicht werden kann. Die Durchführung von Analysen erfordert zusätzliche Aufbereitungsschritte und die Einbeziehung eines Datenspezialisten.

Im Gegensatz dazu setzt das Kraftwerk Melk verstärkt auf das Informationssystem SAP-EAM, was einige Vorteile mit sich bringt. Insbesondere im Bereich der Bewegungsdaten konnten durch den etablierten Datenprozess gute Ergebnisse in allen sechs Datenkategorien erzielt werden, was eine prädiktive Reife bedeutet. Das heißt,

zustandsorientierte Instandhaltung sowie prognostische Analysen für die Hauptanlagen sind hier möglich. Die Integration der Bestandsdaten in das SAP-System hat bereits begonnen, erfordert jedoch noch einige Zeit, bis sie abgeschlossen ist.

Der Vergleich zwischen dem aktuellen Zustand und einem definierten Soll-Zustand zeigt das Potenzial für Verbesserungen in der Instandhaltung der Kraftwerke auf. Dabei wurde deutlich, dass der Datenprozess des Kraftwerks-Standortes in Melk wesentlich fortgeschrittener ist als jener in Villach.

Die beiden untersuchten Standorte dienen lediglich als Einzelbeispiele. Um eine systematische Untersuchung durchzuführen und eine klare Aussage sowie Empfehlungen für die Weiterentwicklung der Datenlandschaft zu treffen, sollten weitere Standorte in die Analyse einbezogen werden. Diese Arbeit bietet eine Vorgehensweise und zeigt eine mögliche Methodik für zukünftige Untersuchungen auf.

Um das angestrebte AOM-System für die beiden Standorte einführen und den Digitalisierungsprozess vorantreiben zu können, sollte der Fokus auf die Nutzung des SAP-EAM-Systems gelegt werden. Dies würde eine einheitliche, standardisierte und aktuelle Datenbasis schaffen, die den Anforderungen an Datenanalysen gerecht wird. Um dies zu erreichen, sind zunächst die erforderlichen Rahmenbedingungen zu schaffen, und die Mitarbeiter müssen von den Vorteilen von Informationssystemen überzeugt werden. Die menschliche Dimension spielt dabei eine entscheidende Rolle, einschließlich Schulung, Kommunikation und Akzeptanz, um das volle Potenzial von Informationssystemen in einem Unternehmensumfeld auszuschöpfen.

9 Literaturverzeichnis

- AG, V. H. (28. 09 2023). *Verbund- Wasserkraftwerke in Krnten*. Von file:///C:/users/ZZGATTIP/Work%20Folders/Desktop/Die%20Wasserkraftwerke%20in%20Krnten.pdf abgerufen
- Ahlemann, F., Schroeder, C., & Teuteberg, F. (2005). *Kompetenz- und Reifegradmodelle für das Projektmanagement: Grundlagen, Vergleich und Einsatz*. . Osnabrück: Univ., FB Wirtschaftswiss., Organisation u. Wirtschaftsinformatik.
- Balzer, G., & Schorn, C. (2020). *Asste Management für Infrastrukturanlagen- Energie und Wasser 3.Auflage*. Berlin: Springer Verlag.
- Bateman, J. (1995). *Preventive maintenance: Stand alone manufacturing compared with cellular manufacturing*, .
- Bernerstätter, R. (2018). *Daten als Ressource in Industrie 4.0: Kosten und Nutzen von Datenqualität*. In: WINGbusiness, Jg. 2018, Nr. 1, S. 6–39.
- Bernerstätter, R. (2019). *Reifegradmodell zur Bewertung der Inpufaktoren für datenanalytische Anwendungen-Konzeptionierung am Beispiel der Schwachstellenanalyse*. Montanuniversität Leoben.
- Biedermann, H. (2022). *Predictive Maintenance - Möglichkeiten und Grenzen*. Vortragsmanuskript Montanuniversität Leoben.
- Biedermann, H. (2022). *Vom Instandhaltungs- zum Assetmanagement: Ziele, Aufgaben und Instrumente*. Köln: TÜV Media ISBN:978-3-7406-0775-3.
- Biedermann, H., & (Hrsg.) Oberhofer, A. (2008). *Anlagenmanagement: Managementinstrumente zur Wertsteigerung*. TÜV Media ISBN 3824910802.
- Biedermann, H., & Kinz, A. (2021). *Lean Smart Maintenance*. Springer Gabler.
- Bodendorf, F. (2006). *Daten- und Wissensmanagement*. 2. Berlin Heidelberg New York: Springer.
- Chapman, P., Clinton, J., Kerber, R., & Khabaza, T. (2000). *CRISP-DM 1.0; Step-by-step data mining guide*. SPCC Inc. 2000.
- CMMI Product Team. (2010). *CMMI® for Acquisition, Version 1.3 - Improving processes for acquiring better products and services*. Carnegie Mellon University: Software Engineering Institute: Software Engineering Process Management Program.
- DIN31051:. (2012). *DIN 31051:2012-09, Grundlagen der Instandhaltung*.

- Dippold, R., Meier, A., Schneider, w., & Schwinn, K. (2005). *Unternehmensweites Datenmanagement-Von der Datenbankadministration bis zum Informationsmanagement*. Braunschweig: Vieweg.
- Factorynet. (31. 08 2023). Von Instandhaltung 4.0: Alles, was Sie darüber wissen sollten: <https://factorynet.at/fertigung/instandhaltung-4.0> abgerufen
- Fels, G., Lanquillon, C., Mallow, H., Schinkel, F., & Schulmeyer, C. (2015). *Grenzen konventioneller Business-Intelligence-Lösungen*. In: *Praxishandbuch Big Data*. Karlsruhe: Springer, ISBN:978-3-658-07288-9.
- García Márquez, F. P., Tobias, A. M., Pinar Pérez, J. M., & Papaelias, M. (2012). *Condition monitoring of wind turbines: Techniques and methods*. In: Renewable energy.
- Götzer, K., Schneiderath, U., Maier, B., & Komke, T. (2004). *Dokumenten-Management: Informationen im Unternehmen effizient nutzen (3. Aufl.)*. Berlin: Heidelberg: dpunkt.verlag.
- Hänsch, K., & Endig, M. (2010). *Informationsmanagement in der Instandhaltung*. In M. Schenk(Hrsg.), *Grundlagen der Instandhaltung* (S. 230–287). Berlin: Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.
- Hevner, A., March, S., Park, J., & Ram, S. (2004). *Design Science in Information Systems Research*. In: *MIS Quarterly*, Jg. 28, Nr. 1.
- Kagermann, H. (2020). Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten. In G. Schuh, R. Anderl, R. Dumitrescu, & M. (Hrs.) Ten Hompel, *Industrie 4.0 Maturity Index -acatech Studie Update 2020*.
- Kärnten, V.-W. i. (24. 09 2023). *Verbund- Wasserkraftwerke in Kärnten*. Von <https://www.verbund.com/-/media/verbund/ueber-verbund/unsere-kraftwerke/detailseiten-kraftwerke/die-wasserkraftwerke-in-krnten.ashx> abgerufen
- Krcmar, H. (2015). *Informationsmanagement 6.Auflage*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag ISBN 978-3-662-45862-4.
- Lanquillon, C., & Mallow, H. (2015). *Advanced Analytics mit Big Data*. In: *Praxishandbuch Big Data*. Karlsruhe: Springer Gabler.
- Lehmann, F. (2012). *Predictive Analytics – Status Quo und Perspektiven in der Versicherung*. In: *BI-Spektrum*, 7 (2), S. 10-15.
- Männel, W. (1988). *Integrierte Anlagenwirtschaft*. Köln: TÜV Rheinland Verlag ISBN:3-88585-467-8.

- Matyas, K. (2002). *Ganzheitliche Optimierung durch individuelle Instandhaltungsstrategien*In: *Industrie Management, Jahrgang 18*. Wien: ISSN 1434–1980.
- Matyas, K. (2010). *Instandhaltungslogistik-Qualität und Produktivität steigern 6.Auflage*. München: Carl Hanser Verlag ISBN: 978-3-446-44614-4.
- Meier, A., & Fasel, D. (2016). *Big Data – Grundlagen, Systeme und Nutzenpotenziale. Edition HMD*. Springer Heidelberg.
- Meier, A., & Kaufmann, M. (2016). *SQL- & NoSQL-Datenbanken*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Meier, A., & Kaufmann., M. (2006). *SQL- und NoSQL-Datenbanken*. . Heidelberg: eXamen.press, Springer Vieweg,.
- Nebel, T., & Prüß, H. (2006). *Anlagenwirtschaft. In der Reihe Lehr- und Handbücher der Betriebswirtschaftslehre*. Oldenbourg Wissenschaftsverlag. ISBN 3-48657961-4.
- Nemeth, T. (2020). *Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken*. Wiener Neudorf.
- Omer, M. (2015). *Ausarbeitung einer zukunftsorientierten Instandhaltungsstrategie am Beispiel des leistungsstärksten Magnesitwerks der RHI Gruppe*. Leoben: Montanuni Leoben.
- Otto, B., & Hinderer, H. (2009). *Datenqualitätsmanagement im Lieferanten-Controlling*.
- Pawellek, G. (2016). *Integrierte Instandhaltung und Ersatzteillogistik - Vorgehensweisen, Methoden, Tools 2.Auflage*. Berlin: Springer Verlag ISBN 978-3-662-48666-5 .
- Pintelon, L., & Parodi-Herz, A. (2008). *Maintenance: An Evolutionary Perspective In Buch: Complex System Maintenance Handbook (pp.21-48)*.
- Ramsauer, C. (2013). *Ressourceneffizienz-Herausforderungen in der produzierenden industrie*. In H. Biedermann (Hrsg.), *Ressourceneffizientes Anlagenmanagement: Der Beitrag von Instandhaltung und Anlagenwirtschaft zu einem effizienten Umgang mit*.
- Reichel, J., Mandelartz, J., & Müller, G. (2009). *Betriebliche Instandhaltung*. Berlin,Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. ISBN 3642005020.
- Reidt, A. (2019). *Referenzarchitektur eines integrierten Informationssystems zur Unterstützung der Instandhaltung*. Technische Universität München.

- SAP. (2. 11 2023). *SAP.com*. Abgerufen am 02. 11 2023 von Was ist Enterprise Asset Management (EAM)?: <https://www.sap.com/austria/products/scm/asset-management-eam/what-is-eam.html>
- SAP. (28. 09 2023). *SAP-Technischer Platz*. Von Technischer Platz: https://help.sap.com/docs/SAP_ERP_SPV/1d8ea2460b814d9b98a7c7f1455d43db/bed5b853dcfcb44ce10000000a174cb4.html?version=6.04.20&locale=de-DE abgerufen
- Schröder, W. (2010). *Ganzheitliches Instandhaltungsmanagement: Aufbau, Ausgestaltung und Bewertung*. Gabler Verlag ISBN 978-3-8349-2038-6.
- Seicht, G. (1994). *Industrielle Anlagenwirtschaft*.
- Steffen, R. (1973). *Analyse industrieller Elementarfaktoren in produktionstheoretischer Sicht: Grundlagen für den Aufbau kurzfristiger Planungsmodelle*. Berlin, Bielefeld: München: Buchhändler-Vereinigung.
- Stern, S., Farioli, S., Eisenschmidt, E., Morachioli, S., Kienzler, C., Jeske, D., & Schaal, N. (05. 06 2020). *The future of maintenance for distributed fixed assets*. Von Mckinsey&Company: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/the-future-of-maintenance-for-distributed-fixed-assets> abgerufen
- Strunz, M. (2005). *Instandhaltung: Grundlagen – Strategien – Werkstätten*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012.
- Swanson, L. (2001). *Linking maintenance strategies to performance In: International Journal of Production Economics* Volume 70, Issue 3, 18 April 2001, Pages 237-244. University Edwardsville.
- Unsworth, K., Adriasola, E., Johnston-Billings, A., Dmitrieva, A., & Hodkiewicz, M. (2011). *Goal hierarchy: Improving asset data quality by improving motivation. In: Reliability Engineering & System Safety* 96 (2011), S. 1474–1481. .
- Verbund, L.-V. a. (27. 09 2023). *Verbund.com, Laufkraftwerke-Verlässlichkeit als Kraft der Wende*. Von <https://www.verbund.com/de-at/ueber-verbund/kraftwerke/kraftwerkstypen/laufkraftwerk> abgerufen
- Verbund.com. (28. 09 2023). *Verbund-Wasserkraftwerke in Niederösterreich*. Von file:///C:/users/ZZGATTIP/Work%20Folders/Desktop/Die%20Wasserkraftwerke%20an%20der%20Donau.pdf abgerufen
- Voigt, K.-I., Steinmann, F., Bauer, J., & Dremel, A. (2013). *Condition monitoring as a key technology – An analysis of requirements for new business models for remote services. In: 9. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung*. Berlin.

- Zielowski, C. (2006). *Managementkonzepte aus Sicht der Organisationskultur: Auswahl, Ausgestaltung und Einführung*. 1. Auflage. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. ISBN 3835090526.
- Zopf, A. (2015). Ausgestaltung des bestehenden Instandhaltungscontrollings im Sinne des strategischen Controllings am Beispiel der Zur Mühlen Gruppe ApS & Co. KG. Leoben: Montanuniversität Leoben.

10 **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Anlagenlebenszyklus.....	12
Abbildung 2: Abbaukurve des Abnutzungsvorrats.....	14
Abbildung 3: Überblick Instandhaltungsbegriffe	16
Abbildung 4: Instandhaltungsstrategien	17
Abbildung 5: Einflussfaktoren der Planungsintervalle	20
Abbildung 6: Prinzipieller Aufbau prädiktiver Instandhaltung.....	24
Abbildung 7: Datengrundlage für Instandhaltungsstrategie.....	27
Abbildung 8: Verlauf des Abnutzungsvorrats	28
Abbildung 9: Regelkreis des Instandhaltungsmixes	30
Abbildung 10: Analysebedarf der Schwerpunktanlagen.....	32
Abbildung 11: Wissenspyramide	36
Abbildung 12: Informationssysteme	45
Abbildung 13: Evolutionsstufen	53
Abbildung 14: Die fünf Aspekte von Big Data.....	57
Abbildung 15: Struktur des Reifegradmodells	60
Abbildung 16: Normal- und Hochwasserbetrieb eines Laufwasserkraftwerks	65
Abbildung 17: Villach Querschnitt Krafthaus	66
Abbildung 18: Melk Querschnitt Krafthaus	67
Abbildung 19: Hierarchie-Beispiel der technischen Plätze	72
Abbildung 20: SAP-Anlagenbeschreibung	73
Abbildung 21: Schema der KKS-Struktur	76
Abbildung 22: Beispiel KKS-Struktur VHP.....	77
Abbildung 23: Struktur Bestandsdaten Kraftwerk Villach	79
Abbildung 24: SAP-Aufträge und Meldungen.....	84
Abbildung 25: Struktur Bewegungsdaten Villach.....	85
Abbildung 26: Struktur Bestandsdaten Melk	90
Abbildung 27: Datenstruktur Bewegungsdaten Melk.....	93

Abbildung 28: Datenvergleich pro Hauptanlage in SAP	106
---	-----

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Reaktive Instandhaltung Vor- und Nachteile	19
Tabelle 2: Präventive Instandhaltung: Vor- und Nachteile.....	21
Tabelle 3: Zustandsorientierte Instandhaltung: Vor- und Nachteile	25
Tabelle 4: Bestandsdaten.....	40
Tabelle 5: Auftrags und Bewegungsdaten.....	41
Tabelle 6: Prozess- und Steuerungsdaten	43
Tabelle 7: Datenkategorien	62
Tabelle 8: Reifegradstufen der Bewertungsebene	63
Tabelle 9: Aufbau KKS-Struktur	75
Tabelle 10: Reifegradmodell Bestandsdaten Villach	82
Tabelle 11: Reifegradmodell Bewegungsdaten Villach	88
Tabelle 12: Reifegradmodell Bestandsdaten Melk	92
Tabelle 13: Reifegradmodell Bewegungsdaten Melk	96
Tabelle 14: Soll-Zustand Bestandsdaten.....	100
Tabelle 15: Soll-Zustand Auftrags- und Bewegungsdaten	103
Tabelle 16: Hauptanlagen der Kraftwerke	104

12 Abkürzungsverzeichnis

AOM	Asset Operations and Maintenance
BI	Business Intelligence
CAD	Computer-Aided Design
CMMS	Computerized Maintenance Management System
CMS	Condition Monitoring Systeme
DMS	Dokumentenmanagementsysteme
EAM	Enterprise Asset Management
ERP	Enterprise Resource Planning
GWh	Gigawattstunde(n)
IoT	Internet of Things
IT	Informationstechnologie
KKS	Kraftwerks-Kennzeichensystem
MSS	Mobile Support Systems
MW	Megawatt
PDM	Produktdatenmanagement
PMS	Predictive Maintenance Systems
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SKS	Standort-Kennzeichensystem
SPS	speicherprogrammierbare Steuerungen
Vgl	Vergleiche
VHP	Verbund Hydro Power GmbH
z.B	zum Beispiel

Anhang

A. Fragenkatalog

Generelle Fragen zur Einordnung der Ziele und des Betrieb

1. Was ist das Ziel des Projekts?
Ziel ist es, einen Sollzustand der Bestandsdaten zu definieren. Der Zustand soll angeben wie Daten, in welcher Menge, zu welcher Zeit erfasst, verarbeitet und gespeichert werden sollen um für das AOM-System verwendet werden zu können.
2. Welche Motivation gibt es für das Projekt?
Definition des Sollzustands um diesen mit dem IST zustand vergleichen zu können und daraus Potenziale abzuleiten.
3. Welche Daten werden im Projektbereich erhoben?
 - a. Produktionsdaten
 - b. Instandhaltungsdaten
 - c. Qualitätsdaten
 - d. Maschinendaten
 - i. SPS
 - ii. Sensormessungen
 - e. Bestandsdaten
4. Wo werden die Daten erhoben?
 - a. Direkt am Ort des Geschehens
 - b. In einem Messraum
 - c. Nicht direkt vor Ort
5. Es existiert eine Data Governance?
 - a. Es gibt Rollen für Datenverantwortliche usw.? Ja
 - b. Es gibt einen Prozess die Datenqualität auch von Bewegungsdaten hoch zu halten? Theoretisch, sollte

Fragen zur Datenerfassung

6. Die Datenerfassung wird strukturiert vorgenommen. Es wurde festgehalten:
 - a. Wo?
 - b. Was?
 - c. Wie?
 - d. Wie oft?
gemessen wird.
7. Wie werden die Daten erfasst?
 - a. Automatisch durch:
 - i. BDE
 - ii. MDE
 - iii. MES
 - iv. Andere
 - b. Manuel durch:
 - i. Papieraufzeichnungen
 - ii. Mobile Devices (Messgeräte sowie Aufzeichnungsgeräte)

-
- iii. Terminaleingaben
 - iv. Andere

8. Automatische Übertragung bei Rundgängen durch RFID oder NFC o. ä.?

- a. Ja (welche Art?)
- b. Nein

9. Wer erfasst die Daten?

- a. Mitarbeiter des Prozessschrittes (Produktionsmitarbeiter)
- b. Mitarbeiter von Supportprozessen (Instandhaltungsmitarbeiter)
- c. Dienstleister
- d. Andere

10. Wie oft werden die Daten erfasst?

- a. Bei regelmäßigen Rundgängen.
- b. Sporadisch
- c. Werden mit Abtastrate X erfasst.
- d. Bei gewisser Wertänderung um X in Zeit Y
- e. Da diese Daten einer sehr geringen Fluktuation unterliegen, sollten sie bei Eintritt in das Projekt erfasst werden und dann nur bei Änderung des Assets bearbeitet werden

11. Gibt es bekannte Probleme bei der Datenerfassung?

- a. Ja
- b. Nein, Probleme werden erkannt durch:
 - i. Organisatorische Maßnahmen (Kontrolle durch den Vorgesetzten)
 - ii. Automatische Erkennungsverfahren (Logische Regeln zu den Messwerten und den Zusammenhängen)

12. Vertrauen Sie den Daten?

- a. Nein, gar nicht
- b. Teilweise
- c. Großteils
- d. Ja, durchwegs

Fragen zur Datenbereitstellung (Datenspeicherung und –transfer)

13. Wie erfolgt ein Datenaustausch?

- a. Echtzeitübertragung
- b. Bulkübertragung
 - i. Aus einem mobile Device
 - ii. Aus einem Terminal
- iii. Andere
- c. Papiernachschrift

14. Gibt es Standardschnittstellen zur Übertragung

- a. Ja,
 - i. OPC/UA
 - ii. Andere
- b. Nein, das System ist proprietär und nicht mit anderen kompatibel
 - i. Export ist möglich
 - ii. Export ist nicht möglich

-
15. Existiert ein Referenzarchitekturmodell?
- a. Ja, welches
 - i. RAMI 4.0
 - ii. Andere
 - b. Nein
16. Die Daten sind entlang der Wertschöpfung einheitlich und durchgehend erfasst?
- a. Ja
 - b. Nein
17. Die Daten werden entlang der Hierarchie aggregiert (Shopfloor bis Planung) bzw. dekompositioniert (Von der Planung heruntergebrochen auf die Feinebene)?
- a. Ja
 - b. Nein
18. Wo werden die Daten gespeichert?
- a. Papierordner
 - b. Direkt an der Anlage (z. B. Logfiles)
 - c. Elektronisch auf einem Server (in einem Ordner)
 - d. Lokal auf einem Rechner
 - e. In der Datenbank (SQL, Oracle, Access, ERP)
 - f. In einem Data-Warehouse mit/ohne Data-Marts und/oder OLAP Funktionalitäten
 - g. In einem Data Lake
 - h. In der Cloud
 - i. Keine Speicherung (Daten werden nur angezeigt und dann „gelöscht“)
 - j. Andere
19. Ist einer der Speicherorte ein Single Point of Truth?
- a. Ja
 - b. Nein
20. Wechseln die Datenquellen im Lebenszyklus der Daten?
- a. Beispiel: Papieraufschreibung – Übertragung in Exceldatei – Übertragung in SAP
 - b. Mobiles Geräte – spätere Synchronisation
 - c. Andere Abläufe
21. Werden die Daten an der Anlage bei der Erfassung bereits vorverarbeitet?
- a. Nein
 - b. Ja
 - i. Fotos/Videos/Audio werden strukturierte Features extrahiert
 - ii. Feature Extraktion anderer Art
22. Sonstige Probleme bei der Speicherung, Übertragung oder dem Zugang der Daten:
Betriebsdaten sollten nach VGB-Standard in SAP am dafür vorgesehenen technischen Platz abgelegt werden.

Fragen zu den Datenformaten

23. In welchen Formaten liegen die Daten vor?
- a. Excel
 - b. CSV
 - c. TXT

-
- d. Word
 - e. PDF
 - f. XML und Derivate
 - g. HTML und Derivate
 - h. Big Data Formate [HDF(S)]
 - i. Bildformate
 - j. Audioformate
 - k. Videoformate
 - l. Andere Formate z. B. proprietäre Formate
 - m. Keine Formate – Datenübertragung direkt über Schnittstellen

24. Gibt es Datenformate die nur mit einer bestimmten Software geöffnet werden können?
[Hinweis auf ein proprietäres Format] Ist nicht jedes Format proprietär?
- a. Ja
 - b. Nein

Fragen zur Datencodierung und -darstellung

25. Werden Fließtexte eingegeben?
- a. Nein
 - b. Ja
 - i. Beliebiger Freitext
 - ii. Texte/Wörter aus einer Liste auswählen
 - iii. Texte/Wörter werden nicht ausgewählt, sondern die Standards werden eingetippt (VGB-Dokumentenkennezeichen für Anlagen der Energieversorgung)
26. Existiert ein Codierungssystem?
- a. Nein
 - b. Ja, die Codes sind:
 - i. Numerisch
 - ii. Nicht-Numerisch
 - iii. Alphanumerisch
 - iv. Das Code-System ist in sich hierarchisch aufgebaut
 - v. Die Codes sind atomar abgelegt
27. Gibt eine Ausschluss- oder Vorschlagslogik zwischen Rückmeldeort oder Rückmeldeursache und den Codes?
- a. Ja
 - b. Nein
28. Ist das Codesystem bei allen Quellen durchgängig?
- a. Ja
 - b. Nein – Es ist eine alle umfassende Übersetzungstabelle vorhanden
 - i. Ja
 - ii. Nein
 - a. Wenn nein, gibt es eine alle umfassende Übersetzungstabelle?
29. Welches Skalenniveau haben die Daten?
- a. Metrisch (Physikalische Werte)
 - b. Nominal (Schadenscodes, Rezepturen, Rüstprogramme, ...)
 - c. Ordinal (Gibt es in den Einträgen eine Hierarchie)
 - d. Binär (Es wird ja/nein, o. Ä. eingetragen)
30. Werden Metadaten abgebildet?

-
- a. Ja
 - b. Nein

31. Es werden Event-IDs erfasst, die Aufträge, Produkte, Chargen und ähnliches über die Zeit der Behandlung identifizieren?
- a. Ja
 - b. Nein

Fragen zum Datenumfang

32. Wie lange werden die Daten gespeichert?
- a. 3 Monate
 - b. 6 Monate
 - c. 9 Monate
 - d. 1 Jahr
 - e. Kürzer
 - f. Länger
33. Seit wann werden die Daten gespeichert?
- Seit Beginn des Projekts (1978) (Bau des Kraftwerks 1981-1984)
34. Wieviele Attribute werden aufgezeichnet?
- a. 3 und weniger
 - b. Bis 5
 - c. mehr
35. Sind die Rohdaten erfasst?
- a. ja
 - b. nein die Daten sind aggregiert
 - i. Aggregation erfolgt sofort
 - ii. Aggregation erfolgt nach 1 Jahr
 - iii. Aggregation erfolgt früher als 1 Jahr
 - iv. Aggregation erfolgt später als 1 Jahr
36. Wie oft kommt es zu Auffälligkeiten in einem Quartal?
- a. Störungen
 - b. Qualitätsfehlern
 - c. Produktionsverzug
 - d. Anderes

Fragen zur Datenkonsistenz

37. Haben die Daten einen Zeitstempel? (Laufwerk zuletzt bearbeitet)
- a. Nein
 - b. Ja. Welcher Zeitpunkt wird erfasst? Z. B.
 - i. Probenentnahme
 - ii. Messung der Probe
 - iii. Anlagenausfall
 - iv. Wiederinbetriebnahme
 - v. Meldung
 - vi. Quittierung
 - vii. Usw.

38. Was ist die Zeitspanne zwischen Ereignis und Aufzeichnung im System?

- a. Echtzeit
- b. Schichtende
- c. Andere

39. Werden andere zeitliche Komponenten erfasst?

- a. Dauer von Prozessschritten
- b. Dauer eines Stillstandes
- c. Andere

40. Gibt es einen Offset in der Zeiterfassung?

- a. Nein
- b. Ja und
 - i. Dieser ist konstant
 - ii. Dieser ist konstant in einem gewissen Rahmen
 - iii. Führt nicht zu einer Umreihung von Events
 - iv. Ist unbekannt und willkürlich

B. Modelbewertung nach Bernerstätter

Modellbewertung				
Erfassung	Reifegrad	Glaubwürdigkeit	Fehlerfreiheit	Allgemein
	1	7.b.i / 12.a		10.b
	2	8.a	5.a 11.b.i	6 10.d
	3	7.a	5.b	10.c
	4	12.d	11.b.ii 27.a	7.a 10.c
Bereitstellung	Reifegrad	Zugänglichkeit	Allgemein	
	1	14.b.ii 18.a, i	20.a 19.b	
	2	14.b.i 18.c, d	13.b 20.b	
	3	14.a 18.e, f, h	13.a 19.a 21.b	
	4	18.f	15.a 16.a & 17.a	
Formate	Reifegrad	Bearbeitbarkeit	Allgemein	
	1	23.l, 23.i, 23.j, 23.k 24		
	2	23.a, 23.c, 23.d, 23.e, 23.f, 23.g	Große Kombination der Formate	
	3	23.b, 23.h	Ein einziges Format	
	4	23.m		
Darstellung	Reifegrad	Einheitliche Darstellung	Eindeutige Auslegbarkeit	Allgemein
	1			25.b.i 28.b.ii 29.d
	2			25.b.iii 28.b.i 26.b.i 26.b.iv
	3			28.a 29.a 26.b.v
	4			30.a 31.a
Umfang	Reifegrad	angemessener Umfang	Allgemein	
	1	32.a, e 34.a	4.c 18.i	
	2	32.c 34.b	35.b.i	
	3	32.d 34.c	4.a 35.b.iv	
	4	32.f		
Konsistenz	Reifegrad	Aktualität	Allgemein	
	1	7.b.i	37.a 40.b.iv	
	2	38.b	37.b.iii 37.b.ii 40.b.iii	
	3	38.a	39.a 39.b 40.b.ii	
	4	31.a und mehrere 37.b	40.a	