

DIN EN 17666

ICS 03.080.10

Einsprüche bis 2021-07-14

Entwurf**Instandhaltung –
Instandhaltungsengineering –
Anforderungen;
Deutsche und Englische Fassung prEN 17666:2021**

Maintenance –
Maintenance engineering –
Requirements;
German and English version prEN 17666:2021

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-05-14 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nadl@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Dienstleistungen (NADL), 10772 Berlin oder Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 190 Seiten

DIN-Normenausschuss Dienstleistungen (NADL)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17666:2021) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 319 „Instandhaltung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von UNI (Italien) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 159-04-01 AA „Instandhaltung“ im DIN-Normenausschuss DIN-Normenausschuss Dienstleistungen (NADL).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

IEC 60300-3-3	siehe	DIN IEC 60300-3-3
IEC 60300-3-10	siehe	DIN IEC 60300-3-10
IEC 60300-3-11	siehe	DIN IEC 60300-3-11
IEC 60300-3-12	siehe	DIN IEC 60300-3-12
IEC 60300-3-14	siehe	DIN IEC 60300-3-14
ISO 4225	siehe	DIN ISO 4225
ISO 4226	siehe	DIN ISO 4226
ISO 13373-2	siehe	DIN ISO 13373-2
ISO 13379-1	siehe	DIN ISO 13379-1
ISO 15663	siehe	DIN EN ISO 15663
ISO 16091	siehe	DIN EN ISO 16091
ISO 17359	siehe	DIN ISO 17359
ISO 31000	siehe	DIN ISO 31000
ISO 45001	siehe	DIN ISO 45001
ISO/TS 12747	siehe	DIN CEN ISO/TS 12747 (DIN SPEC 91041)

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN CEN ISO/TS 12747 (DIN SPEC 91041), *Erdöl- und Erdgasindustrie — Rohrleitungstransportsysteme — Empfehlungen für die Verlängerung der Lebensdauer von Rohrleitungen*

DIN EN ISO 15663, *Erdöl- und Erdgasindustrie — Betriebsdauerkosten*

DIN EN ISO 16091, *Raumfahrtsysteme — Integrierte logistische Unterstützung*

DIN IEC 60300-3-3, *Zuverlässigkeitsmanagement — Teil 3-3: Anwendungsleitfaden; Analyse der Lebenszykluskosten*

DIN IEC 60300-3-10, *Zuverlässigkeitsmanagement — Teil 3-10: Anwendungsleitfaden — Instandhaltbarkeit*

DIN IEC 60300-3-11, *Zuverlässigkeitsmanagement — Teil 3-11: Anwendungsleitfaden — Auf die Funktionsfähigkeit bezogene Instandhaltung*

DIN IEC 60300-3-12, *Zuverlässigkeitsmanagement — Teil 3-12: Integrierte logistische Unterstützung*

DIN IEC 60300-3-14, *Zuverlässigkeitsmanagement — Teil 3-14: Anwendungsleitfaden; Instandhaltung und Instandhaltungsunterstützung*

DIN ISO 4225, *Luftbeschaffenheit — Allgemeine Gesichtspunkte — Begriffe*

DIN ISO 4226, *Luftbeschaffenheit — Allgemeine Gesichtspunkte — Einheiten*

DIN ISO 13373-2, *Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen — Schwingungs-Zustandsüberwachung — Teil 2: Verarbeitung, Analyse und Darstellung von Schwingungsmesswerten*

DIN ISO 13379-1, *Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen — Verfahren zur Dateninterpretation und Diagnostik — Teil 1: Allgemeine Anleitungen*

DIN ISO 17359, *Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen — Allgemeine Anleitungen*

DIN ISO 31000, *Risikomanagement — Leitlinien*

DIN ISO 45001, *Managementsysteme für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit — Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung*

— Leerseite —

Titel de: Instandhaltung — Instandhaltungsengineering — Anforderungen

Titel en: Maintenance — Maintenance engineering — Requirements

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Symbole und Abkürzungen	13
5 Elemente des Instandhaltungsengineerings	14
5.1 Grundsätze und Ziele	14
5.1.1 Allgemeines	14
5.1.2 Fern- und Nahziele des Instandhaltungsengineerings	17
5.2 Informationen für das Instandhaltungsengineering	17
5.2.1 Anlagentaxonomie	17
5.2.2 Datenanforderungen	19
5.2.3 Instandhaltungsdokumentation	20
5.3 Festlegung der Politik des Ausfallmanagements	20
5.3.1 Allgemeines	20
5.3.2 Funktionsanforderungen für Betrieb und Instandhaltung	21
5.3.3 Ermittlung der Funktionsanforderungen und Ausfallarten	22
5.3.4 Entwicklung der Instandhaltungsaufgaben	22
5.3.5 Bestimmung der Aufgabenhäufigkeiten	23
5.3.6 Korrektive Instandhaltung	24
5.3.7 Festlegung der Ersatzteilanforderungen	25
5.3.8 Entwicklung eines vorbeugenden Instandhaltungsprogramms (PM)	26
5.4 Kostenvoranschläge	26
5.4.1 Kosten für Organisation, Personalausstattung und Support	26
5.4.2 Begründung für die Ausfallmanagementpolitik	27
5.5 Anlagenleistung und kontinuierliche Verbesserung	27
5.5.1 Bericht der Überprüfungsergebnisse	27
5.5.2 Analyse des Verbesserungsbedarfs	27
5.5.3 Berichterstattung zu technischen Daten und Beurteilung des technischen Zustandes	27
6 Instandhaltungsengineering im Lebenszyklus	28
6.1 Lebenszyklusphasen	28
6.2 Ziele und Rollen des Instandhaltungsengineerings für jede Lebenszyklusphase	29
6.3 Instandhaltungsengineering-Tätigkeiten während der einzelnen Lebenszyklusphasen	31
6.4 Konzeptionsphase	33
6.4.1 Ziele der Konzeptionsphase	33
6.4.2 Teilphase Machbarkeit	34
6.4.3 Teilphase Konzeptbasislinie	34
6.4.4 Instandhaltungsengineering in der Konzeptionsphase	34
6.5 Entwicklungsphase	36
6.5.1 Ziele der Entwicklungsphase	36
6.5.2 Vorentwurf	36
6.5.3 Ausführungsplanung	38
6.6 Realisierungsphase	40
6.6.1 Allgemeines	40

6.6.2	Instandhaltungsengineering in der Realisierungsphase.....	40
6.7	Nutzungsphase	41
6.8	Entsorgungs-/Übergangsphase.....	44
7	Leistungsbeurteilung anhand von Leistungskennzahlen.....	44
8	Die Digitalisierung des Instandhaltungsengineerings	45
8.1	Allgemeines	45
8.2	Umsetzungsschritte	46
8.3	Mit der Digitalisierung verbundene Risiken	46
8.4	Empfehlungen.....	47
Anhang A (informativ) Zusammenhang zwischen dem Instandhaltungsengineering und der integrierten logistischen Unterstützung (ILS).....		48
A.1	ILS-Ziele	48
A.2	ILS-Bereiche	48
A.3	ILS-Elemente	48
A.4	LSA-Methodik.....	49
A.5	ILS-Methodik nach Lebenszyklusphasen.....	51
Anhang B (informativ) Karte der Instandhaltungsnormen des CEN/TC 319.....		53
B.1	Karte der Normen des CEN/TC 319	53
B.2	Beschreibung der Normengruppen	55
B.2.1	Gemeinsame Basis	55
B.2.2	Management.....	55
B.2.3	Methodiken.....	55
B.2.4	Ressourcen.....	55
Anhang C (informativ) Instandhaltungstätigkeiten und Anforderungen an die Abschaltung.....		56
Anhang D (informativ) Techniken und Analysen im Instandhaltungsengineering.....		60
Anhang E (informativ) Beispiele für Leistungskennzahlen für das Instandhaltungsengineering.....		78
E.1	Einführung in die Leistungskennzahlen	78
E.2	Leistungskennzahlen für das Instandhaltungsengineering	79
E.3	Verwendung von Leistungskennzahlen in den verschiedenen Schritten des Instandhaltungsengineerings.....	80
E.4	Beispiele für Leistungskennzahlen für das Instandhaltungsengineering.....	80
Anhang F (informativ) Die Digitalisierung des Instandhaltungsengineerings.....		84
F.1	Einleitung	84
F.2	Instandhaltung mit Hilfe von digitalisierten Daten.....	84
F.3	Analytik mittels Künstlicher Intelligenz in Anwendung auf das Instandhaltungsengineering	84
F.4	Ethik der Künstlichen Intelligenz (KI).....	85
Anhang G (informativ) Einführung einer technischen Hierarchie.....		86
Anhang H (informativ) Checkliste zur auf Instandhaltbarkeit angelegten konstruktiven Gestaltung im Rahmen des Instandhaltungsengineerings.....		88
Literaturhinweise.....		92

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17666:2021) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 319 „Instandhaltung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von UNI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Einleitung

Das Instandhaltungsengineering ist eine Disziplin, die Kompetenzen, Methoden, Techniken und Werkzeuge zur Entwicklung und Unterstützung der Instandhaltung anwendet, um sicherzustellen, dass ein Objekt seine geforderten Funktionen über seinen gesamten Lebenszyklus sicher, nachhaltig und kosteneffizient erfüllen kann.

Das Hauptziel des Instandhaltungsengineerings ist, durch eine optimierte und kosteneffiziente Instandhaltung im Rahmen des Anlagenmanagements zum Erreichen der Gesamtanforderungen der interessierten Parteien bzw. Anspruchsgruppen beizutragen. Das Ausmaß bzw. der Umfang des Instandhaltungsengineerings variiert in Abhängigkeit von der Komplexität der Anlage, ihres technischen Zustands, der Organisation und deren Grad der Befugnis, Einfluss auf die konstruktive Gestaltung und die Instandhaltung zu nehmen.

Zu den Nutzwerten, die sich aus den Beiträgen des Instandhaltungsengineerings ergeben, gehören u. a.:

- die Erreichung von Instandhaltbarkeits- und Verfügbarkeitszielen durch Beeinflussung der konstruktiven Gestaltung;
- eine auf die Instandhaltung bezogene Risikoanalyse;
- die Anwendung von Nachhaltigkeitsgrundsätzen;
- die Erreichung von geforderten Integritäts- und Sicherheitsniveaus;
- die Erreichung von geforderten Leistungs- und technischen Zuständen;
- bessere Entscheidungen zur Lebensverlängerung;
- bessere Leistung der Instandhaltungsunterstützung;
- ein verringerter ökologischer Fußabdruck durch Einsparungen beim Energie- und Rohstoffverbrauch;
- eine Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit und des Ausgabewertes.

Diese Norm ist generisch und stellt einen Leitfaden für die Methodik zur Erreichung der Ziele des Instandhaltungsengineerings zur Verfügung. Als Anwender dieser Norm sind Mitarbeiter vorgesehen, die an der konstruktiven Gestaltung, der Beschaffung, dem Bau bzw. der Ausführung, der Inbetriebnahme, dem Betrieb, der Verbesserung, der Instandhaltung und der Entsorgung/Überführung oder Außerbetriebnahme von Anlagen beteiligt sind. Es wird keine bestimmte Struktur oder Größe der Organisation vorausgesetzt, so dass der Aufwand für das Instandhaltungsengineering auf die spezifischen Anwendungen und Anforderungen der Organisation zugeschnitten werden sollte.

Obleich das Instandhaltungsengineering am wirksamsten dann ist, wenn es während der Konzeptionsphase und der konstruktiven Gestaltung einer Anlage angewendet wird, ist diese Norm auf das Instandhaltungsengineering in allen Phasen von deren Lebenszyklus und auf verschiedene Szenarien anwendbar, so z. B. auf den Fall

- eines Herstellers, der ein Betriebsmittel herstellt und dieses dann instand hält,
- des im Moment der Inbetriebnahme erfolgenden Eigentumsübergangs auf einen Käufer, der dann für die Instandhaltung zuständig ist,

- des im Moment der Inbetriebnahme erfolgenden Eigentumsübergangs, gefolgt von einer Garantiezeit. Während der Garantiezeit liegt die Verantwortung beim Verkäufer, danach beim Käufer, und
- eines (Unter-)Vertrages zu Instandhaltungsdienstleistungen, die der Verkäufer dem Käufer oder einem Dritten gegenüber zu erbringen hat.

Diese Norm ist Teil einer Gruppe von Normen, die vom CEN/TC 319 veröffentlicht werden und Anleitungen zur Instandhaltung enthalten, siehe Anhang B und die Website des Komitees unter www.cen.eu: https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:7:0:::FSP_ORG_ID:6300&cs=1A64AA79FCFDE906561AFDA09269B3123

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument beschreibt die allgemeinen Anforderungen, Kriterien und Inhalte des Instandhaltungsengineerings. Es enthält Anleitungen zu Methoden und Techniken, die zur Aufrechterhaltung der geforderten Funktionen von Objekten in jeder Phase ihres Lebenszyklus angewendet werden.

Dieses Dokument enthält Anleitungen dazu, wie das Instandhaltungsengineering zur Sicherstellung der geforderten Integrität, Sicherheit, Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit und Verfügbarkeit beitragen kann, um einen nachhaltigen Ausgleich zwischen Leistung, Risiko und Kosten zu erreichen.

Dieses Dokument gibt keine Anleitung dazu, wie Systeme und Infrastruktur aufgebaut und eingerichtet werden sollten, um die Funktionsweise des Instandhaltungsengineerings zu unterstützen.

Dieses Dokument verweist auf Normen, in denen detaillierte Methoden und Techniken ausführlicher beschrieben werden.

ANMERKUNG Der/Das gesamte Instandhaltungsprozess und -management wird von anderen Normen des CEN/TC 319 EN 17007 [10] und prEN (WG 8) abgedeckt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 13306:2017, *Instandhaltung — Begriffe der Instandhaltung*

EN 15628, *Instandhaltung — Qualifikation des Instandhaltungspersonals*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 13306:2017 und EN 15628 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>

3.1

Instandhaltung

Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des *Lebenszyklus* (3.13) eines *Objekts* (3.7), die dem Erhalt oder der Wiederherstellung seines funktionsfähigen Zustands dient, sodass es die *geforderte Funktion* (3.8) erfüllen kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Technische Instandhaltungsmaßnahmen umfassen die Beobachtung und Analyse des Zustandes eines Objekts (z. B. Inspektion, Überwachung, Prüfung, Diagnose, Prognose usw.) sowie aktive Instandhaltungsmaßnahmen (z. B. Instandsetzung, Aufarbeitung).

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe auch „Verbesserung“ und „Änderung“ in EN 13306 [2].

[QUELLE: EN 13306:2017, 2.1]

3.2

Betrieb

Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements, mit Ausnahme der Instandhaltungsmaßnahmen, die zur Verwendung des Objekts führen

Anmerkung 1 zum Begriff: Instandhaltungsmaßnahmen, die von Bedienern durchgeführt werden, sind keine Betriebstätigkeiten.

Anmerkung 2 zum Begriff: In diesem Dokument werden die Begriffe „betrieblich“ und „Betriebs-“ synonym verwendet.

[QUELLE: EN 13306:2017, 2.9]

3.3

Engineering

Zweig von Wissenschaft und Technik bzw. Technologie, der sich mit der konstruktiven Gestaltung, dem Bau, der Nutzung und der Entsorgung von Motoren, Maschinen und Tragwerken beschäftigt

3.4

Instandhaltungengineering

Disziplin des *Engineerings* (3.3), die *Kompetenzen* (3.10), Methoden, Techniken und Werkzeuge zur Entwicklung und Unterstützung der *Instandhaltung* (3.1) anwendet, um sicherzustellen, dass ein *Objekt* (3.7) über seinen gesamten *Lebenszyklus* (3.13) in der Lage ist, seine *geforderten Funktionen* (3.8) in einer sicheren, nachhaltigen und *kosteneffizienten* (3.6) Weise zu erfüllen

3.5

Instandhaltungsmanagement

alle Tätigkeiten des Managements, die die Anforderungen, Ziele, die Strategien und die Verantwortlichkeiten sowie die Durchführung der *Instandhaltung* (3.1) bestimmen und sie durch Maßnahmen wie Instandhaltungsplanung, -steuerung und die Verbesserung der Instandhaltungstätigkeiten und deren Wirtschaftlichkeit verwirklichen

[QUELLE: EN 13306:2017, 2.2]

3.6

kosteneffizient

Ausgewogenheit von Kosten, Risiken, Chancen und Leistung unter Berücksichtigung der Ziele der Stakeholder

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Leistung umfasst auch die kurz- und langfristige Qualität.

3.7

Objekt

Teil, Bauelement, Gerät, Teilsystem, Funktionseinheit, Betriebsmittel oder System, das/die für sich allein beschrieben und betrachtet werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Anzahl von Objekten, z. B. ein Komplex von Objekten oder ein Muster, kann selbst als Objekt angesehen werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Ein Objekt kann aus Hardware, Software oder aus beiden bestehen.

Anmerkung 3 zum Begriff: Software besteht aus Programmen, Abläufen, Regeln, Dokumentation und Daten eines Informationsverarbeitungssystems.

Anmerkung 4 zum Begriff: Dienstleistungen sind inbegriffen.

Anmerkung 5 zum Begriff: Zu Systemen können auch Menschen gehören.

[QUELLE: EN 13306:2017, geändert — Anmerkung 4 und Anmerkung 5 zum Begriff wurden hinzugefügt]

3.8

geforderte Funktion

Funktion, eine Kombination von Funktionen oder eine Gesamtkombination der Funktionen eines Objekts, die für die Erfüllung einer vorgegebenen Anforderung als notwendig erachtet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die „Erfüllung einer vorgegebenen Anforderung“ kann auch die Werterhaltung der Anlage einschließen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die vorgegebene Anforderung kann explizit festgelegt werden oder auch nur implizit beinhaltet sein und kann in manchen Fällen auch niedriger als die ursprünglich vorgesehenen Leistungsdaten liegen.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die geforderte Funktion schließt stillschweigend auch mit ein, was das Objekt nicht erbringen darf.

[QUELLE: EN 13306:2017, 2.6]

3.9

Anlage

Objekt (3.7), das einen potenziellen oder tatsächlichen Wert für eine Organisation darstellt

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispiele für Anlagen sind Bauelemente, Maschinen, Fertigungsanlagen, Gebäude, Infrastrukturen usw. Anlage und technisches System werden häufig synonym verwendet.

[QUELLE: EN 13306:2017, 3.2, modifiziert — Der letzte Satz in der Anmerkung wurde hinzugefügt.]

3.10

Kompetenz

nachgewiesene Fähigkeit, Kenntnisse, *Fertigkeiten* (3.11) sowie persönliche, soziale und/oder methodische Fähigkeiten in Arbeits- oder Lernsituationen und für die berufliche und persönliche Entwicklung zu nutzen

Anmerkung 1 zum Begriff: Kompetenz wird im Sinne der Übernahme von Verantwortung und Selbstständigkeit beschrieben.

[QUELLE: EN 15628:2014, 3.1]

3.11

Fertigkeiten

Fähigkeit, Kenntnisse anzuwenden und Know-how einzusetzen, um Aufgaben auszuführen und Probleme zu lösen

Anmerkung 1 zum Begriff: Fertigkeiten werden als kognitive Fertigkeiten (logisches, intuitives und kreatives Denken umfassend) und praktische Fertigkeiten (Geschicklichkeit und Verwendung von Methoden, Werkzeugen und Instrumenten umfassend) beschrieben.

3.12

Kritikalität

<eines Ausfallmodus> numerischer Index der Schwere eines Ausfalls oder eines Fehlers in Kombination mit der Wahrscheinlichkeit oder Häufigkeit seines Auftretens

Anmerkung 1 zum Begriff: In diesem Kontext darf der numerische Index z. B. als ein Bereich in der Matrixdarstellung der Häufigkeit des Auftretens von Ausfällen über der Schwere definiert werden (siehe EN 13306:2017, Anhang E).

3.13

Lebenszyklus

Anzahl von Phasen, die ein Objekt durchläuft, beginnend mit der Konzeption und endend mit der Entsorgung

BEISPIEL Ein typischer System-Lebenszyklus besteht aus Erwerb, Betrieb, Instandhaltung, Modernisierung, Außerbetriebnahme und/oder Entsorgung.

Anmerkung 1 zum Begriff: Die angegebenen Phasen variieren je nach Anwendung. Auf die Entsorgung folgen die Wiederverwendung und das Recycling.

[QUELLE: EN 13306:2017, 4.18]

3.14

Lebenszykluskosten

Summe der Kosten, die während des *Lebenszyklus* (3.13) des *Objekts* (3.7) auftreten

Anmerkung 1 zum Begriff: Für einen Nutzer oder Eigentümer eines Objektes können die gesamten Lebenszykluskosten nur die Kosten einschließen, die den Beschaffungsvorgang, den Betrieb, die Instandhaltung und die Entsorgung betreffen.

[QUELLE: EN 13306:2017, 11.1]

3.15

Leistungskennzahl

quantitatives oder qualitatives Maß für ein Merkmal oder eine Reihe von Merkmalen eines Vorkommens oder einer Erbringung von Tätigkeiten, nach definierten Kriterien oder einer gegebenen Formel oder einem Erfassungsbogen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Leistungskennzahl ist ein Werkzeug für die Entwicklung und Implementation einer Strategie zur Überwachung des Fortschritts der gesetzten Ziele, die in der Strategie dargestellt werden.

[QUELLE: EN 15341:2019, 3.3]

3.16

wesentliche Leistungskennzahl

KPI, en: key performance indicator

als bedeutend betrachtete Leistungskennzahl (3.15)

[QUELLE: EN 15341:2019, 34]

3.17

Instandhaltungsplan

strukturierte und dokumentierte Gesamtheit der Aufgaben, welche die Tätigkeiten, Verfahren, Ressourcen und Zeitplanung einschließen, die zur Durchführung der *Instandhaltung* (3.1) erforderlich sind

[QUELLE: EN ISO 41011:2018, 2.5]

3.18

Funktionssicherheit

Fähigkeit, eine geforderte Funktion auszuführen, wenn sie gefordert wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Funktionssicherheit beinhaltet *Verfügbarkeit* (3.22), Sicherheit, Schutz, Haltbarkeit, Wirtschaftlichkeit und deren Einflussfaktoren (Zuverlässigkeit, *Instandhaltbarkeit* (3.21), *Unterstützbarkeit* (3.19), Einsatzbedingungen und Einfluss des Bedieners).

Anmerkung 2 zum Begriff: „Funktionssicherheit“ wird als Sammelbegriff für die zeitbezogenen Qualitätsmerkmale eines Objekts genutzt.

[QUELLE: EN 13306:2017, 2.7, modifiziert — In Anmerkung 1 zum Begriff wurde „Instandhaltungsvermögen“ durch „Unterstützbarkeit“ ersetzt]

3.19

Unterstützbarkeit

Fähigkeit, unterstützt zu werden, die geforderte Verfügbarkeit bei einem definierten Betriebsprofil und den gegebenen Logistik- und Instandhaltungsressourcen aufrechtzuerhalten

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Unterstützbarkeit einer Einheit folgt aus der inhärenten Instandhaltbarkeit, kombiniert mit zur Einheit externen Faktoren, die sich auf die relative Mühelosigkeit auswirken, mit der die geforderte Instandhaltung und Logistikunterstützung bereitgestellt werden.

[QUELLE: IEC 60050-192:2015, 192-01-31]

3.20

integrierte logistische Unterstützung

ILS, en: integrated logistics support

Managementprozess der Bestimmung und Koordinierung der Bereitstellung aller Materialien und Ressourcen, die für die Betrieb- und Instandhaltungsbedürfnisse erforderlich sind

Anmerkung 1 zum Begriff: ILS ist ein Prozess zur Bestimmung der optimalen Instandhaltungsunterstützung. ILS fasst die Analyse der logistischen Unterstützung und die Entwicklung von Ressourcen zusammen, siehe Anhang A.

[QUELLE: IEC 60050-192: 2015, 192-01-30, modifiziert — Anmerkung 1 zum Begriff wurde ergänzt]

3.21

Instandhaltbarkeit

Fähigkeit eines Objekts, unter gegebenen Einsatzbedingungen in einem Zustand erhalten oder in ihn zurückversetzt werden zu können, in dem es eine *geforderte Funktion* (3.8) erfüllen kann, wenn die *Instandhaltung* (3.1) unter gegebenen Bedingungen und mit festgelegten Verfahren und Ressourcen ausgeführt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Instandhaltbarkeit kann durch geeignete Messungen oder Indikatoren quantitativ bestimmt werden; dies wird als Maß der Instandhaltbarkeit bezeichnet.

[QUELLE: EN 13306:2017, 4.5]

3.22

Verfügbarkeit

Fähigkeit eines Objekts, unter gegebenen Bedingungen und wenn erforderlich in einem Zustand zu sein, eine geforderte Funktion zu erfüllen, vorausgesetzt, dass die erforderlichen externen Ressourcen bereitgestellt sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Erforderliche externe Ressourcen, die keine Instandhaltungsressourcen sind, beeinflussen nicht die Verfügbarkeit des Objekts, obwohl das Objekt nach Ansicht des Nutzers möglicherweise nicht zur Verfügung steht.

Anmerkung 2 zum Begriff: Diese Fähigkeit hängt von der Kombination aus Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit und Instandhaltungsvermögen sowie von den am Objekt durchgeführten Instandhaltungsmaßnahmen ab.

Anmerkung 3 zum Begriff: Verfügbarkeit kann durch geeignete Messungen oder Indikatoren quantitativ bestimmt werden; dies wird als Maß der Verfügbarkeit bezeichnet (siehe EN 13306:2017, 4.9).

Anmerkung 4 zum Begriff: Es gibt verschiedene Arten von Verfügbarkeit, z. B.: die *erreichte Verfügbarkeit* (3.23), die *betriebliche Verfügbarkeit* (3.24) und die *inhärente Verfügbarkeit* (3.25).

[QUELLE: EN 13306:2017, 4.7, modifiziert — Anmerkung 4 zum Begriff hinzugefügt]

3.23

erreichte Verfügbarkeit

Wahrscheinlichkeit, dass ein Objekt, wenn es unter angegebenen Bedingungen in einer idealen Unterstützungsumgebung eingesetzt wird, jederzeit zufriedenstellend funktioniert

3.24

betriebliche Verfügbarkeit

unter reellen Betriebs- und Instandhaltungsbedingungen erhaltene *Verfügbarkeit* (3.22)

Anmerkung 1 zum Begriff: Betriebliche Verfügbarkeit setzt sich aus Unklarzeitintervallen aufgrund von Ausfällen ohne Berücksichtigung von externen Ursachen zusammen.

[QUELLE: IEC 60050-192: 2015, 192-08-03]

3.25

inhärente Verfügbarkeit

Verfügbarkeit (3.22) aufgrund des Entwurfs unter idealen Betriebs- und Instandhaltungsbedingungen

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Zusammenhang mit der Instandhaltung stehende Verzugsdauern, wie logistische und administrative Verzugsdauern, sind dabei ausgeschlossen.

[QUELLE: IEC 60050-192: 2015, 192-08-02]

3.26

Prozess

Satz zusammenhängender oder sich gegenseitig beeinflussender Tätigkeiten, die Eingaben zum Erzielen eines vorgesehenen Ergebnisses verwenden

Anmerkung 1 zum Begriff: Ob das „vorgesehene Ergebnis“ eines Prozesses als Ergebnis, Produkt oder Dienstleistung genannt wird, ist abhängig vom Bezugskontext.

Anmerkung 2 zum Begriff: Eingaben für einen Prozess sind üblicherweise Ergebnisse anderer Prozesse, und Ergebnisse aus einem Prozess sind üblicherweise Eingaben für andere Prozesse.

Anmerkung 3 zum Begriff: Zwei oder mehr zusammenhängende und sich gegenseitig beeinflussende, aufeinanderfolgende Prozesse können auch als ein Prozess bezeichnet werden.

Anmerkung 4 zum Begriff: Prozesse in einer Organisation werden üblicherweise geplant und unter beherrschten Bedingungen durchgeführt, um Mehrwert zu schaffen.

Anmerkung 5 zum Begriff: Ein Prozess, bei dem die Konformität des dabei erzeugten Ergebnisses nicht ohne weiteres oder in wirtschaftlicher Weise validiert werden kann, wird häufig als „spezieller Prozess“ bezeichnet.

[QUELLE: EN ISO 9000:2015, 3.4.1 und EN 17007:2017, 3.12, modifiziert — Anmerkung 6 zum ursprünglich in EN ISO 9000:2015 definierten Begriff wurde gelöscht]

3.27

Technik

Art und Weise, wie eine Methode umgesetzt oder implementiert wird

[QUELLE: ISO/IEC 16500-8:1999, 3.25]

3.28

Werkzeug

handgehaltenes Objekt, das dazu verwendet wird, Betriebsvorgänge bei Bauarbeiten auszuführen

[QUELLE: ISO 6707-1:2017, 35.3.2]

3.29

voraussagende Instandhaltung

zustandsorientierte Instandhaltung, die nach einer Vorhersage, abgeleitet von wiederholter Analyse oder bekannten Eigenschaften und Bestimmung von wichtigen Parametern, welche den Abbau des Objekts kennzeichnen, durchgeführt wird

[QUELLE: EN 13306:2017, 7.4]

3.30

interessierte Partei

Anspruchsgruppe

Person oder Organisation, die eine Entscheidung oder Tätigkeit beeinflussen kann, davon beeinflusst sein kann oder sich davon beeinflusst fühlen kann

[QUELLE: EN ISO 50001:2018, 3.1.5]

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Symbole und Abkürzungen.

KI	künstliche Intelligenz (AI, en: artificial intelligence)
CAPEX	Investitionsausgaben (en: capital expenditure)
CE	Europäische Konformität (en: European conformity, fr: Conformité Européene)
CBM	zustandsorientierte Instandhaltung (en: condition-based maintenance)
CM	korrektive Instandhaltung (en: corrective maintenance)
FMEA	Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (en: Failure Mode and Effects Analysis)
FMECA	Fehlzustandsart- und -auswirkungs- und -kritikalitätsanalyse (en: Failure Mode and Effects and Criticality Analysis)
HAZOP	Gefährdungs- und Bedienbarkeitsanalyse (en: hazards and operability analysis)

IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien (ICT, en: information and communication technologies)
ILS	integrierte logistische Unterstützung (en: integrated logistics support)
IEC	Internationale Elektrotechnische Kommission (en: International Electrotechnical Commission) (https://www.iec.ch/)
KPI	wesentliche Leistungskennzahl (en: key performance indicator)
LCA	Ökobilanz (en: life cycle assessment)
LCC	Lebenszyklus-Kosten (en: life cycle cost)
LCP	Lebenszyklus-Nutzen (en: life cycle profit)
LORA	Reparaturgrad-Analyse (en: level of repair analysis)
PM	vorbeugende Instandhaltung (en: preventive maintenance)
PdM	voraussagende Instandhaltung (en: predictive maintenance)
RAM	Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Instandhaltbarkeit (en: reliability, availability and maintainability)
RBI	risikobasierte Inspektion (en: risk based inspection)
RCA	Grundursachenanalyse (en: root cause analysis)
RCM	zuverlässigkeitsorientierte Instandhaltung (en: reliability centred maintenance)
TTM	Gesamtinstandhaltungszeit (en: total maintenance time)

5 Elemente des Instandhaltungsengineerings

5.1 Grundsätze und Ziele

5.1.1 Allgemeines

Die Ergebnisse des Instandhaltungsengineerings müssen rückverfolgbar und auditierbar sein.

Der Beitrag des Instandhaltungsengineerings ist von den Einzelheiten der Lösung und der Stufe innerhalb der Anlagenhierarchie (Einzelanlage, Anlagensystem oder Anlagenbestand) abhängig, wie in Bild 1 dargestellt.

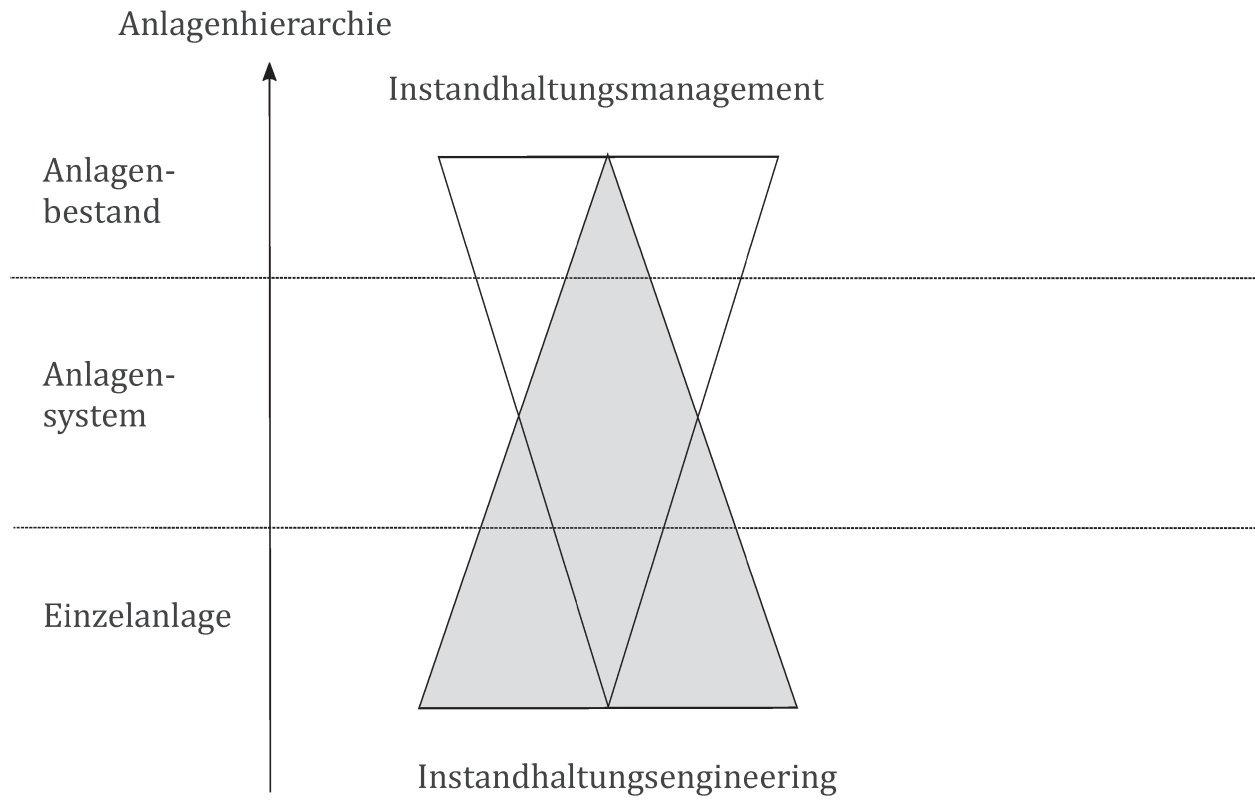


Bild 1 — Die Rolle des Instandhaltungsengineerings in Abhängigkeit von der Anlagenstufe

Die Akquisitionsphase der Anlage kann auf Einzelanlagen, Anlagensysteme oder Anlagenbestandes angewendet werden, und sie kann auf Greenfield-Investitionen, Modernisierungen, Erweiterungsinvestitionen, Änderungen und Verbesserungen oder den Ersatz von etwas Bestehendem angewendet werden. Inhalt und Merkmale der Konzeptionsphase und besonders der Machbarkeitsstudie sind dann entsprechend andere. In ähnlicher Weise variieren auf der Detailebene auch die Ziele und die Rolle der Instandhaltung und der Disziplin des Instandhaltungsengineerings.

So sind z. B. die Machbarkeitsstudien für Greenfield-Investitionen auf der Ebene des Anlagenbestandes Geschäftsfälle, bei denen Methoden und Verfahren des Managements, wie z. B. die Produktions-, Markt- und Produktanalyse, angewendet werden. Die Instandhaltung spielt dennoch eine signifikante Rolle, indem sie z. B. zu Verfügbarkeits-, Kosten- und Kompetenzschätzungen führt, und sie sollte berücksichtigt werden, allerdings nicht auf der Ebene des detaillierten Instandhaltungsengineerings unter Anwendung von z. B. FMEA. Dies ist offensichtlich der Fall, weil in dieser Phase die Konzeptbasislinie noch gar nicht festgelegt ist. Im Fall einer Einzelanlage für eine bestehende Fertigungsanlage gestalten sich die Machbarkeitsstudie und die Festlegung der Konzeptbasislinie einfach und werden unter Anwendung von Methoden und Verfahren des Instandhaltungsengineerings durchgeführt.

Diese beiden Extremfälle veranschaulichen die Aussage von Bild 2 und Tabelle 4. Bild 2 besagt, dass die Instandhaltung auf der Ebene des Anlagenbestandes und besonders im Falle von Greenfield-Investitionen eine signifikante Rolle spielt, die angewendeten Methoden und Verfahren sind jedoch dem Management zugeordnet und werden z. B. von Funktionssicherheitsanalysen nicht detailliert erfasst. Der Beitrag z. B. zur Berechnung der Lebenszykluskosten kann sich auf Analysen von externen Beratern, Benchmarking-Daten, Informationen des Herstellers, Expertenbeurteilungen usw. stützen. Dennoch kann die technische Unterstützung des Instandhaltungsengineerings notwendig sein. Auf der Ebene der Einzelanlage basiert die Kostenkalkulation z. B. auf Informationen zur Historie der spezifischen Anlage und auf Schätzungen für die Zukunft. In diesem Fall spielt das Instandhaltungsmanagement nur eine kleine Rolle.

Zwischen diesen beiden Extremfällen gibt es viele verschiedene Situationen, bei denen es in unterschiedlichem Maße notwendig ist, die Disziplinen Instandhaltungsmanagement und Instandhaltungsengineering einzubeziehen.

Das Instandhaltungsengineering wendet eine Reihe von Analysetechniken an, um eine Entscheidungsgrundlage für Projektphasen und die Nutzung zu schaffen. Das Instandhaltungsengineering erfordert Kenntnisse über Instandhaltungsstrategien und wie diese Strategien durch Analysen in jedem beliebigen Lebenszyklus-Szenario ermittelt werden können.

Die Anwendung von Analysen sollte über den gesamten Lebenszyklus sorgfältig zugeschnitten sein. Durch einen solchen sorgfältigen Zuschnitt wird eine FMEA so angepasst, dass sie eine kosteneffektive Möglichkeit bietet, die FMEA-Ziele zu erreichen, wobei Entscheidungen über Folgendes notwendig sind:

- die Grenzen des zu analysierenden Systems, Objekts oder Prozesses;
- den Detaillierungsgrad der Unterteilung des Gegenstandes der Analyse in Elemente;
- die anzuwendenden Analysemethoden;
- den Detaillierungsgrad der einzelnen Analyseschritte;
- ob die Analyse quantitativ oder qualitativ erfolgen soll.

Im Allgemeinen werden diese Entscheidungen durch Faktoren wie z. B. die folgenden bestimmt:

- den Zweck der Analyse (z. B. Verbesserung oder Veränderung eines Objekts oder Prozesses, Erstellung eines Funktionssicherheits- bzw. Zuverlässigkeitsnachweises (IEC 62741 [58]), Übereinstimmungsnachweis, Planung der Instandhaltungs- oder der logistischen Unterstützung, Sicherheit);
- den Grad der Neuheit oder Innovativität des Prozesses oder Objekts (z. B. Technologie);
- die Verfügbarkeit maßgebender Daten (z. B. Betriebserfahrungen mit ähnlichen Objekten, Prüfdaten);
- rechtliche oder vertragliche Anforderungen;
- in Bezug auf ein Objekt die Reife der konstruktiven Gestaltung oder des Projekts; und
- die Lebenszyklusphase, in der die Analyse durchgeführt wird.

Im Allgemeinen könnte auch die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, dass bei einigen Objekten möglicherweise gar keine Analyse erforderlich ist; das gilt besonders dann, wenn die Durchführung der Analyse keinen klar erkennbaren Nutzen hat oder wenn andere Verfahren als nützlicher angesehen werden. Das Instandhaltungsengineering gewinnt seinen geschäftlichen Wert, indem es z. B. Einfluss auf die konstruktive Gestaltung und Betriebsvorgänge nimmt und Informationen für die Entwicklung kostengünstiger vorbeugender und korrektiver Instandhaltungsprogramme liefert. Wenn die Ergebnisse der Analyse keinen Einfluss auf z. B. die konstruktive Gestaltung, den Betrieb oder den Aufwand für und die Ergebnisse von Instandhaltungsprogrammen nehmen können, dann ist diese Analyse möglicherweise nicht gerechtfertigt.

5.1.2 Fern- und Nahziele des Instandhaltungsengineerings

Das Hauptziel des Instandhaltungsengineerings besteht darin, das Erreichen der Funktionssicherheitsanforderungen der Stakeholder zu erleichtern und sicherzustellen. Dies wird durch die Entwicklung von Instandhaltungs- und Betriebsmaßnahmen erreicht, die der Leistung, das Risiko und die wirtschaftlichen Folgen über den gesamten Lebenszyklus der Anlage Rechnung tragen.

Die Erfüllung der in Tabelle 3 zusammengefassten und in Tabelle 4 bis einschließlich Tabelle 9 ausführlich dargestellten Ziele und Rollen des Instandhaltungsengineerings ermöglicht die Erzielung des Anlagenwertes durch Funktionssicherheit.

Zu den Ergebnissen des Instandhaltungsengineerings im Verlauf der Lebenszyklusphasen gehören u. a.:

- a) die Sicherstellung, dass die Funktionssicherheitseigenschaften mit den Instandhaltungs- und Supportkosten im Gleichgewicht sind;
- b) die Bestimmung der Entwicklung des Instandhaltungskonzepts;
- c) die Entwicklung und Aktualisierung von Instandhaltungsprogrammen;
- d) Eingaben (Input) für die Ermittlung und Aktualisierung der Unterstützungsanforderungen, einschließlich Personal, Ersatzteile, Werkzeuge und Verbrauchsmaterialien;
- e) die Ermittlung von technologischen Möglichkeiten im Zusammenhang mit der Instandhaltung.

5.2 Informationen für das Instandhaltungsengineering

5.2.1 Anlagentaxonomie

Eine Anlagentaxonomie ist für ein effizientes Informationsmanagement erforderlich. Die Anwendung des Instandhaltungsengineerings sollte sicherstellen, dass die Taxonomie wirksam ist und mit den Anforderungen der Stakeholder übereinstimmt.

BEISPIEL Es gibt verschiedene Taxonomiemodelle, in der Luftfahrt z. B. das ATA100-Benummerungssystem, SFI für die Schifffahrt und die ENS-Klassifizierung für maritime Systeme und die Offshore-Industrie (sollten hier noch Angaben für das Bauwesen/die Infrastruktur ergänzt werden?).

Die Informationen sollten organisiert und aufbereitet werden, um Betriebsvorgänge, Instandhaltung, Analyse und den Informationsaustausch zu unterstützen. Die Struktur für das Informationsmanagement sollte in frühen Phasen eines Projekts, spätestens aber vor der Ausführungsplanung, festgelegt werden. Die Informationen zu einem Objekt sollten unter drei verschiedenen Aspekten organisiert werden, wie in Bild 2 dargestellt:

Die Taxonomie muss u. a. umfassen:

- Funktionsattribute;
- technische Attribute;
- physische und physikalische Attribute.

Technische Taxonomie

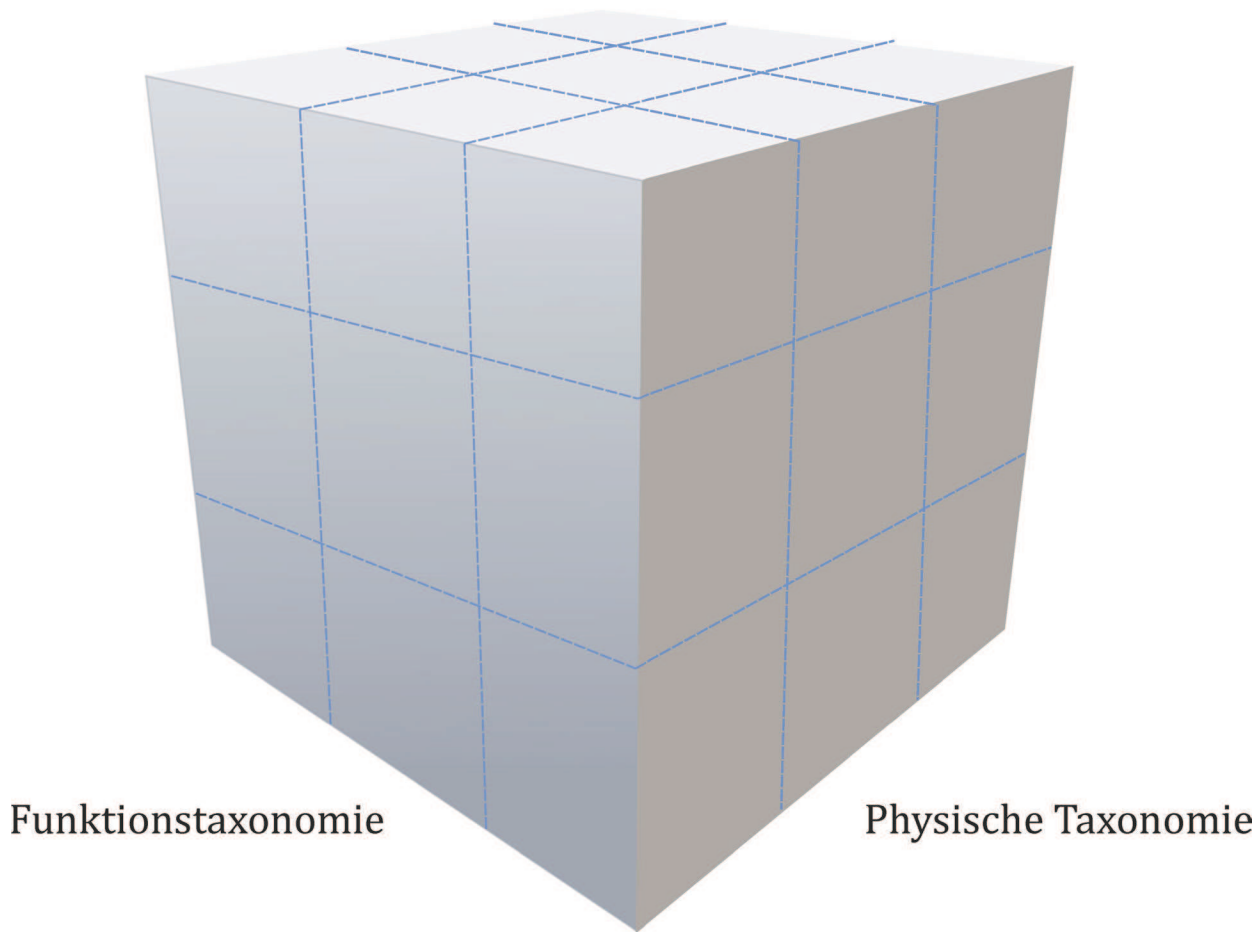


Bild 2 — Arten von Taxonomien

Funktionsattribute sollten die Funktion eines Objekts unter Bezugnahme auf spezifische und messbare Größen beschreiben. Funktionsaussagen bestehen aus einem Verb, einem Objekt und einem Leistungsnormal (im betrieblichen Kontext), z. B.

- im Falle einer Druckerhöhungspumpe: das Pumpen (Verb) von Wasser (Objekt) mit (800 ± 50) l je Stunde bei einer Temperatur > 15 °C, oder
- im Falle eines Stromerzeugers: das Erzeugen (Verb) von Wechselstrom (Objekt) mit 220 kW.

Die Funktionen sollten auch eine Beschreibung der Neben- und Zusatzfunktionen enthalten.

Das Leistungsnormal sollte so angegeben werden, dass ein Nichterreichen der geforderten Leistung eindeutig festgestellt werden kann.

BEISPIEL Eine Funktion ist das Pumpen eines fluiden Erzeugnisses. Sie ist für einen Ausstoß von 800 l des Erzeugnisses je Stunde ausgelegt, der Ausstoßwert, bei dem das System als ausgefallen gilt, liegt jedoch bei 750 l je Stunde, weil unter normalen Umständen eine Betriebsmarge vorhanden sein wird, die unter normalen Umständen als annehmbar gilt.

Technische Attribute sollten das Objekt und die Art und Weise, wie es mit anderen Objekten verbunden ist, beschreiben. Sie beschreiben die technische Struktur, indem sie physischen Objekten eindeutige Bezeichner zuordnen. Die technische Hierarchie ermöglicht einen Überblick über technisch zusammengehörende Objekte und zeigt die physische Beziehung zwischen dem betreffenden Objekt und anderen Objekten, wie z. B. Messinstrumenten und Reglern.

Der Zweck der technischen Hierarchie ist, wechselseitige technische Abhängigkeiten der Anlage aufzuzeigen und für Tätigkeiten wie die folgenden Sorge zu tragen:

- Abruf von Tag-Benummerung, Objekt und Ersatzteilen usw.;
- Abruf von Dokumenten und Zeichnungen;
- Abruf von historischen Instandhaltungsdaten aus Informationsmanagementsystemen;
- Planung von Betriebsvorgängen (z. B. Beziehungen aufgrund von Abschaltung usw.);
- Kostenzuordnung und -abruf;
- Planung und Organisation des Instandhaltungsprogramms;
- Planung von Korrekturarbeiten.

Die Ebene, auf der die Objekte in der Hierarchie festgelegt werden, sollte so bestimmt werden, dass eine praktische Ausführung und Überwachung der Instandhaltungsaufgaben möglich ist.

Die technische Hierarchie sollte nützliche Informationen für die Vorbereitung von Instandhaltungsmaßnahmen zur Verfügung stellen.

Beispiele für die technische Hierarchie finden sich in Anhang G.

Physische und physikalische Attribute sollten klar und eindeutig (z. B. durch Angabe von Standort oder Koordinaten) auf die physische Lage des Objekts verweisen. Die Lage bezeichnet den von einem Objekt eingenommenen Raum (z. B. einen Raum oder eine Flächenzone innerhalb einer Konstruktion, eine Nut eines Einbaurahmens in einer Steuergerätestruktur, als Oberfläche einer Platte innerhalb einer Maschinenstruktur).

Die Beschreibung der physischen Lage sollte Informationen über die Zugänglichkeit des Objekts enthalten.

5.2.2 Datenanforderungen

Zusätzlich zu den Taxonomiedaten sollten weitere instandhaltungstechnische Daten und Erwägungen zu einem Objekt organisiert und verwaltet werden. Dazu gehören u. a.

- Anfangsdaten: vom Hersteller bezogene und aus öffentlichen Aufzeichnungen entnommene Daten;
- Livestream-Daten: Daten, die kontinuierlich von Sensoren, Steuersystemen, Energiesystemen und Prozessüberwachungssystemen erfasst werden;
- Positionsdaten: Lage eines Objekts und/oder Ort des Ereignisses;
- diskrete Daten: Daten, die zur Zählung oder Ermittlung verschiedener Zustände und Status verwendet werden (ja/nein, an/aus, 0/1, heiß/kalt usw.). Die Daten sind von Nutzen, um die Anzahl an Betriebsvorgängen zu zählen oder um Informationen über den tatsächlichen Zustand in einer bestimmten Situation oder zu einem bestimmten Zeitpunkt zu liefern;
- Zustandsdaten: Daten, die die Entwicklung des Zustands, der Eigenschaften, Merkmale und Parameter eines physischen Objekts darstellen, die während seiner Betriebslebensdauer und unter seinen Umgebungs- oder Nutzungsbedingungen auftreten kann;

- Instandhaltungshistorie: Aufzeichnungen über vorbeugende und korrektive Instandhaltungstätigkeiten mit ausreichendem Detaillierungsgrad, um die Instandhaltungsanalyse und kontinuierliche Verbesserung zu ermöglichen;
- Produktionshistorie: Aufzeichnungen über Produktionsvolumen, Produktqualität, Betriebszeiten und Betriebsunterbrechungen;
- Risiko- und Sicherheitsdaten: Aufzeichnungen über Vorfälle und Unfälle, Klimaextreme;
- Zeitstempel: automatisches Datensystem, das angibt, wann ein Ereignis registriert wurde.

Die gespeicherten und gesammelten Informationen sollten das gesamte Spektrum der Betriebs- und Instandhaltungstätigkeiten umfassen, um die Instandhaltung zu erleichtern und einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess zu ermöglichen.

5.2.3 Instandhaltungsdokumentation

Der Bedarf an Dokumentation durch Lieferer und Hersteller sowie bei Betrieb und Instandhaltung für die Verwendung beim Engineering ist zu ermitteln. Zu der das Instandhaltungsengineering unterstützenden Dokumentation gehört die Verwaltung von CE-Zertifikaten, Zeichnungen und technischen Dokumentationen, Ursache/Wirkung-Diagrammen, Verträgen, OEM-Betriebshandbüchern, OEM-Instandhaltungshandbüchern, Datenblättern usw. Eine vollständige Übersicht über die Instandhaltungsdokumentation findet sich in EN 13460 [3].

Die folgenden Systeme sollten eingerichtet und verwaltet werden:

- ein System zur Dokumentation von instandhaltungsbezogenen Voraussetzungen, Anforderungen, Analysen, Schätzungsentscheidungen, Kompromissen und Annahmen, die den Analysen zur Verwendung im Projekt zugrunde gelegt werden, einschließlich impliziter Einschränkungen, Unsicherheiten und Erwartungen;
- ein System zur Dokumentation und Verwaltung der ermittelten Instandhaltungsaufgaben, die bei der vorbeugenden und korrektiven Instandhaltung anfallen. Das System sollte maßgebliche Ausfallarten und Ausfallmechanismen, die sich auf die Instandhaltungstätigkeiten beziehen (Sicherheit, Produktion, Kosten), enthalten;
- ein System zur Protokollierung von täglichen Routinen, Betriebsmittelpflege und kleinen, lebensverlängernden Tätigkeiten außerhalb der formalen Instandhaltungsprogramme (geplant).

Die aus diesen Systemen stammenden Informationen sollten für Instandhaltungsanalysen und kontinuierliche Verbesserungen zur Verfügung stehen.

5.3 Festlegung der Politik des Ausfallmanagements

5.3.1 Allgemeines

Die Ermittlung von Instandhaltungsaufgaben und -ressourcen ist üblicherweise während der Entwicklungsphase am effektivsten, die gleichen Grundsätze und Methoden können aber auch in der Nutzungsphase angewendet werden. Die Ermittlung der Instandhaltungsanforderungen für neue oder geänderte Objekte während der Nutzungsphase kann in ähnlicher Weise wie in der Entwicklungsphase gehandhabt werden.

Um eine wirkungsvolle Politik des Ausfallmanagements zu erreichen, können die z. B. mit der risikobasierten Instandhaltung, der zuverlässigkeitsorientierten Instandhaltung (RCM, siehe IEC 60300-3-11 [54]), statistischen Methoden oder der Prognostik verbundenen Grundsätze immer dann angewendet werden, wenn es um die Ermittlung oder Überarbeitung der Instandhaltung geht. Diese Methoden sollten auf die Organisation, die zu untersuchenden Objekte und die betreffende Lebenszyklusphase zugeschnitten sein, um sicherzustellen, dass kein unnötiger Aufwand betrieben wird.

Die Instandhaltung wird durchgeführt, um Sicherheitsniveaus sicherzustellen, Ausfälle zu verhindern, die Folgen von Ausfällen zu mindern oder Funktionen eines Objekts nach einem Ausfall wiederherzustellen. Daher ist es, damit die Instandhaltung wirkungsvoll sein kann, notwendig, die geforderten Funktionen eines Objekts, seinen Verwendungskontext und die Anforderungen der Stakeholder zu verstehen. Auf diese Weise wird anerkannt, dass für ein und dasselbe Objekt an verschiedenen Standorten oder bei unterschiedlichen Betriebsanforderungen höchstwahrscheinlich unterschiedliche Instandhaltungsanforderungen gelten.

Die Entwicklung einer wirkungsvollen Politik des Ausfallmanagements erfordert die Zusammenarbeit mit anderen Funktionen in der Organisation (bei der Instandhaltung kommt das Instandhaltungsengineering zur Anwendung, und die anderen Funktionen oder Prozesse sollten sie unterstützen), z. B. mit der technischen Sicherheit, dem Objektplaner, dem Systemplaner, dem Betrieb, der Kostenanalyse und der logistischen Unterstützung. Unter bestimmten Umständen werden die Prozesse, mit deren Hilfe die Instandhaltungsaufgaben ermittelt werden, darauf hinweisen, dass andere Maßnahmen als die Instandhaltung angemessener sein können, wie z. B. Bedienhandlungen oder Neukonstruktion/Neukonfiguration von Betriebsmitteln oder Systemen, siehe IEC 60300-3-11 [54].

Die folgenden Abschnitte geben einen Überblick über die wesentlichen Tätigkeiten zur Entwicklung einer wirkungsvollen Politik des Ausfallmanagements. In Anhang D sind die im Zusammenhang mit dem Instandhaltungsengineering am häufigsten angewendeten Techniken und Analysen aufgeführt.

Bei der Festlegung von Instandhaltungsanforderungen sollte berücksichtigt werden, dass Instandhaltungsaufgaben und deren Erledigung auf strukturierte Weise bestimmt werden sollten. Alle Instandhaltungsaufgaben existieren, um unter einer gewissen Unsicherheit einen Wert zu erzielen, und sie sollten daher mit Hilfe eines risikobasierten Prozesses ermittelt werden. Darüber hinaus ist es notwendig, ein Verständnis dafür zu schaffen, wie das Objekt (als Einzelnes und in einem größeren Zusammenhang) funktioniert, um die richtigen Ausfallmechanismen zu ermitteln.

Aufgrund dessen sollten alle Instandhaltungsaufgaben

- in einem rückverfolgbaren und dokumentierten Prozess bestimmt werden,
- Wert erzielen,
- den menschlichen Fähigkeiten, einschließlich der physischen und verhaltensbezogenen Fähigkeiten, Rechnung tragen,
- für eine effiziente und wirksame Erledigung ausgelegt sein, und
- ihren Auswirkungen auf die Funktionsanforderungen des Objekts Rechnung tragen.

5.3.2 Funktionsanforderungen für Betrieb und Instandhaltung

Die Entwicklung der Instandhaltungsaufgaben hängt von den Betriebsanforderungen, genauer gesagt von den Anforderungen an die Betriebsfunktionen ab, die im Entwurf und in den an diesen anschließenden Zeichnungen festgelegt sind.

Betriebsanforderungen bestimmen die spezifischen Funktionsanforderungen an die instand zu haltenden Objekte. Es ist daher notwendig, die Leistungsanforderungen an das Objekt (d. h. das messbare Merkmal, das die Erreichung der Funktion anzeigt) und den Nutzungskontext festzulegen.

Der Nutzungskontext bestimmt, wie das Objekt voraussichtlich genutzt werden wird. Dazu gehören üblicherweise u. a.:

- a) Tätigkeiten oder Faktoren außerhalb der festgelegten Objekt- oder Prozessgrenzen;
- b) Nutzungsfaktoren (jährliche Nutzungshäufigkeit, jährliche Standzeiten usw.);

- c) Umweltfaktoren, wie z. B. Temperatur, Luftfeuchte, Lichtverhältnisse, Erschütterungen, Verschmutzung, Strahlungswerte, elektrische, elektrostatische und elektromagnetische Störungen;
- d) organisatorische Bedingungen, wie z. B. Personalausstattung, Leistungsniveaus, physische/psychische Belastungen.

Betriebsanforderungen geben somit einen Rahmen vor, innerhalb dessen Instandhaltungsaufgaben durchgeführt werden dürfen. Jede Instandhaltungstätigkeit, die diesen Rahmen in Frage stellt, sollte mit den Stakeholdern abgestimmt werden.

5.3.3 Ermittlung der Funktionsanforderungen und Ausfallarten

Die Ermittlung der Funktionsanforderungen ist üblicherweise Teil des Entwurfsprozesses, bei dem sie die Grundlage für die Wirkungs- und Kritikalitätsanalyse der Ausfallarten bildet (EN IEC 60812 [30]), siehe Anhang D, Tabelle D.3. Diese Analyse wird für alle von der Organisation als kritisch eingestuft Objekte unter Berücksichtigung des Kontextes der Organisation innerhalb der technischen Hierarchie in folgenden Schritten durchgeführt:

- a) Ermittlung der Objektfunktionen (Haupt-, Unter- und Nebenfunktionen) und der zugehörigen Leistungsparameter. Jede Funktion sollte so spezifiziert werden, dass die Nichterfüllung der Funktion eindeutig und messbar beschrieben werden kann;
- b) Ermittlung der Betriebsart des Objekts;
- c) Ermittlung der Ausfallarten jeder Funktion. Diese drücken aus, auf welche „beobachtbare“ Weise die Funktion nicht mehr erfüllt wird;
- d) Ermittlung von Ausfallursachen. Dabei handelt es sich um die physischen (oder um Software-)Ausfälle, die zu einem Funktionsverlust führen;
- e) Beurteilung der Kritikalität des Funktionsverlusts. Dies ist eine Beurteilung, die auf einem oder mehreren Attributen des Funktionsausfalls beruhen kann. Dabei handelt es sich üblicherweise um Folgen des Funktionsausfalls, die in einigen Fällen mit der Feststellbarkeit des Ausfalls oder anderen anwendungsspezifischen Attributen kombiniert werden.

Die Kritikalitätsbeurteilung bildet üblicherweise die Grundlage für die geforderte Politik des Ausfallmanagements, denn es handelt sich dabei um eine risikobasierte Beurteilung.

ANMERKUNG Die FMECA unterscheidet sich von der FMEA dadurch, dass bei ihr eine Beurteilung der Kritikalität vorgenommen wird. Die FMEA ist eine qualitative Methode, während es sich bei der FMECA um eine quantitative Methode handelt.

5.3.4 Entwicklung der Instandhaltungsaufgaben

EN 16646 [6] und prEN 17485 [11] stellen eine Grundlage für die Festlegung der Anforderungen an die Instandhaltung zur Verfügung, die aus der Strategieplanung der Organisation abgeleitet und entwickelt werden.

Die anwendbaren Instandhaltungsmaßnahmen sollten anhand der bekannten oder vorausgesagten Ausfallarten (versteckt oder offensichtlich), Ausfallmechanismen und Häufigkeiten auf ihre Wirksamkeit beurteilt werden. In diesem Fall bedeutet „anwendbar“, dass die Aufgabe erfolgreich entweder den ermittelten Ausfall verhindert oder dessen Folgen mildert. Damit eine Aufgabe effizient ist, sollten die Gesamtkosten der Organisation für die Durchführung der Aufgabe geringer sein als die Sicherheitskosten, Umweltkosten und die direkten und indirekten Kosten. Im Falle von Ausfällen mit Sicherheitsfolgen sollte eine strengere Interpretation der Wirksamkeit angewendet werden, um sicherzustellen, dass gesetzliche und ethische Anforderungen erfüllt werden.

ANMERKUNG Eine methodische Analyse der Instandhaltung, z. B. durch RCM, dient dazu, die optimalen Instandhaltungsmaßnahmen zu ermitteln.

Es gibt drei Kategorien von Instandhaltungsmaßnahmen: vorbeugende, korrektive oder Verbesserungen. Diese sind in EN 13306 [2] definiert.

Es gibt drei Arten von vorbeugenden Instandhaltungsmaßnahmen:

- a) die Zustandsüberwachung: Die Überwachung von Zuständen darf mittels periodischer Messungen, Inspektionen, Online-Messungen oder Vorhersagen erfolgen. Dabei darf kontinuierlich oder unter Einhaltung fester Intervalle (z. B. der Betriebszeit, von kalendarischen Zeiträumen, in Zyklen oder km) vorgegangen werden. Eine aktive vorbeugende Instandhaltungsmaßnahme (siehe EN 13306:2017, 7.5 [2]) wird dann durchgeführt, um das Objekt wiederherzustellen, nachdem ein bestimmter Zustand erreicht wurde;
- b) die vorausbestimmte Instandhaltung (in einigen Fällen auch „Aufgaben für schwierige Zeiten“ [en: Hard Time Tasks] genannt): Diese Aufgaben werden unabhängig vom Zustand des instandgehaltenen Objekts in vorausbestimmten festen Intervallen ausgeführt. Sie sind dazu vorgesehen, mit alters- oder abnutzungsbedingten Ausfällen verbundene Probleme (z. B. Verschleiß oder Ermüdung) zu beheben. Die vorausbestimmte Instandhaltung umfasst in der Regel den Austausch eines Objekts oder von Teilen davon und/oder die Schmierung oder Reinigung des Objekts;
- c) Funktionsprüfung: Diese Aufgaben sind nur für versteckte Ausfälle maßgebend. Sie sind dazu vorgesehen, Objekte zu ermitteln, die ausgefallen sind, ohne Auswirkungen auf das System zu zeigen. Derartige Objekte sind üblicherweise und in normalen Situationen mit Standby- oder Sicherheitsfunktionen verbunden. Diese Aufgaben werden in festen Intervallen (z. B. der Betriebszeit, von kalendarischen Zeiträumen, Zyklen oder km) ausgeführt.

Die korrektive Instandhaltung wird nach der Fehlererkennung durchgeführt und ist dazu vorgesehen, ein Objekt in einen Zustand zurückzusetzen, in dem es eine geforderte Funktion erfüllen kann (QUELLE: EN 13306:2017, 7.9 [2]).

Einige Ausfälle sind annehmbar, falls die Folgen des Ausfalls (z. B. Produktionsverluste, Sicherheit, Umweltauswirkungen, Ausfallkosten) im Vergleich zu den Kosten für die vorbeugende Instandhaltung und die späteren ausfallbedingten Verluste tolerierbar sind. Dies führt zu einem Ansatz des geplanten Betriebs bis zum Eintreten eines Fehlers bzw. Ausfalls (en: Run-to-Failure) für die Instandhaltung.

Verbesserungen bestehen aus einer Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie von Maßnahmen des Managements, die dazu dienen, die immanente Zuverlässigkeit und/oder Instandhaltbarkeit und/oder die Sicherheit eines Objekts zu verbessern, ohne die ursprüngliche Funktion zu verändern. Eine Verbesserung darf auch eingeführt werden, um Fehlanwendungen im Betrieb zu verhindern und Ausfälle zu vermeiden.

5.3.5 Bestimmung der Aufgabenhäufigkeiten

Die Aufgabenhäufigkeiten für die vorausbestimmte Instandhaltung und die periodische Zustandsüberwachung sollten bestimmt werden. Zusätzlich zur Ermittlung der Aufgabe selbst sollte das Intervall, mit dem die einzelnen Aufgaben ausgeführt werden sollten, basierend auf dem damit verbundenen Risiko ermittelt werden. Die Aufgabenhäufigkeiten für die vorbeugende Instandhaltung sollten anhand der Ausfallwahrscheinlichkeit und der bekannten oder erwarteten Ausfallentwicklung und Ausfallverteilung (Ausfalldichte) bestimmt werden. Das Aufgabenintervall (oder die Aufgabenhäufigkeit) ist ein integraler Bestandteil der Wirksamkeit der Aufgabe selbst. So kann z. B. eine Inspektionsaufgabe übermäßig kostenaufwändig sein, wenn sie in kleinen Intervallen durchgeführt wird, aber möglicherweise einen potenziellen Ausfall nicht zu erkennen in der Lage sein, wenn sie in großen Intervallen durchgeführt wird.

5.3.6 Korrektive Instandhaltung

Die Ermittlung der Art der durchzuführenden korrektiven Instandhaltung (Reparatur oder Austausch/Ausrangierung) und ihres Ortes wird allgemein als “Level of Repair Analysis” (LORA) bezeichnet. Diese ist ein wichtiger Teil der Ermittlung der Aufgabenwirksamkeit, weil sie ein vollständiges Verständnis der Reparaturkosten und der Auswirkungen auf die Organisation und deren Logistik ermöglicht.

Die Politik bezüglich der vorausbestimmten korrektiven Instandhaltung dient dazu, im Voraus festzulegen, welche Maßnahmen auf den Ausfall eines Objekts hin ergriffen werden sollten. Diese Politik ist ein wichtiger Teil der Lösung für die Erreichung von Zielen bezüglich der geforderten Instandhaltungsdauer und trägt auch zu den Instandhaltungskosten bei. Kenntnisse über verfügbare Korrekturverfahren, Zugänglichkeit, Werkzeugbereitstellung und Ersatzteilverfügbarkeit sowie Strategien und Möglichkeiten des Materialmanagements (Verbrauchsmaterialien, Rohmaterialien usw.) sind wichtige Elemente bei der Entscheidung über eine Politik. Die Maßnahmen der korrektiven Instandhaltung können zu einer Minimalreparatur, einer unvollkommenen Reparatur oder einer Reparatur bis zum neuwertigen Zustand führen. Welche Maßnahmen ergriffen werden, hängt von der angewendeten Politik und von den Umständen ab, unter denen der Fehler festgestellt wird.

Tabelle 1 weist alternative Maßnahmen in Bezug auf die Politik der korrektiven Instandhaltung aus.

Tabelle 1 — Alternative Maßnahmen für das Instandhaltungsengineering in Bezug auf die korrektive Instandhaltung

	Kurzbeschreibung der Alternativen	Vollständige Beschreibung	Einschätzung des Ersatzteilbedarfs
1	Ausrangieren und ersetzen	Ausrangiert – Neue Betriebsmitteleinheit installiert	Zugriff auf vollständige Betriebsmitteleinheiten
2	Reparatur außer Haus, Ersatzeinheit verfügbar	Extern repariert – Vollständige Betriebsmitteleinheit bei laufender Reparatur installiert	Zugriff auf vollständige Betriebsmitteleinheiten
3	Reparatur vor Ort, Ersatzeinheit verfügbar	Reparatur in der anlageneigenen Werkstatt – Vollständige Betriebsmitteleinheit bei laufender Reparatur installiert	Zugriff sowohl auf Ersatzteile als auch auf vollständige Betriebsmitteleinheiten
4	Reparatur außer Haus, nicht verfügbar	Extern repariert – Ohne dass eine vollständige Betriebsmitteleinheit installiert wird	Ersatzteile sind möglicherweise nicht notwendig. Das hängt von der Vereinbarung ab, die bezüglich der externen Instandsetzung/Reparatur getroffen wurde.
5	Reparatur vor Ort, nicht verfügbar	Reparatur in der anlageneigenen Werkstatt – Ohne dass eine vollständige Betriebsmitteleinheit installiert wird	Zugriff auf Ersatzteile
6	Reparatur vor Ort	Reparatur an der Anlage	Zugriff auf Ersatzteile oder vollständige Betriebsmitteleinheit
N/A Siehe die Taxonomieebenen nach EN ISO 14224 [22]	Nicht anwendbar	Reparaturstrategie nicht anwendbar.	

5.3.7 Festlegung der Ersatzteilanforderungen

Die Disziplin Instandhaltungsengineering ist für die Kritikalitätsanalyse von Ersatzteilen und Lieferanforderungen verantwortlich.

ANMERKUNG Für eine Anleitung zur Ersatzteilbeschaffung siehe IEC 62550 [15].

Diese Politik basiert auf

- dem Instandhaltungsprogramm,
- der für Ersatzteile geforderten Lieferzeit,
- der Politik der korrektiven Instandhaltung,
- Ausfallmechanismen: mechanischer Verschleiß, Umwelt, Verlust, Korrosion usw.,
- der Fähigkeit, das (die) fehlerhafte(n) Element(e) zu orten,
- der Zugänglichkeit und Demontierbarkeit (geschweißt, geklebt, genietet, geschraubt, ...) des fehlerhaften Elements, und
- der mittleren Zeit bis zur Reparatur.

Um die optimale Ersatzteilpolitik zu bestimmen, sollte eine Analyse durchgeführt werden, die auf Folgendem basiert:

- Verfügbarkeits- und Instandhaltungsanforderungen und annehmbare Zeit bis zur Reparatur;
- Objektredundanzen, sofern vorhanden;
- Betriebsmittel-Neukonfiguration;
- Ausfallstrategien und Kostenrechnung;
- ob das Objekt reparierbar ist oder nicht;
- Ersatzteillagern, Management-Leistungsfähigkeit und Lieferervereinbarungen.

Das Ergebnis der Analyse ist die Festlegung der Reparaturpolitik und der Ersatzteilstrategie.

Die Rolle des Instandhaltungsengineerings bei der Entwicklung einer Ersatzteilstrategie besteht darin, Eingaben (Input) zu Folgendem zu liefern:

- betrieblichen Aspekten;
- Bereitstellung von Reparaturausrüstung;
- Beschaffung und Lieferung von Ersatzteilen und Instandhaltungspersonal;
- Standort der Ersatzteile (lokal oder innerhalb eines bestimmten geografischen Gebiets, einer Provinz, eines Bundeslandes usw.).

Während Ersatzteile die wichtigste Ressource innerhalb des Instandhaltungsengineerings sind, sollte eine Analyse für andere unterstützende Ressourcen entwickelt werden: Werkzeuge, Hilfsausrüstung, Einrichtungen/Infrastrukturen, Personal und Instandhaltungsdaten.

5.3.8 Entwicklung eines vorbeugenden Instandhaltungsprogramms (PM)

Eines der Hauptergebnisse des Instandhaltungsengineerings ist die Entwicklung eines vorbeugenden Instandhaltungsprogramms. Das Ziel des vorbeugenden Instandhaltungsprogramms ist, die vorbeugenden Instandhaltungstätigkeiten zu systematisieren, so dass die Instandhaltungsressourcen in einer kontrollierten, kosteneffektiven Weise eingesetzt werden, um eine sichere Arbeitsplatzumgebung mit stabilem Betrieb und hoher Verfügbarkeit sicherzustellen.

Vorbeugende Instandhaltungstätigkeiten sollten disziplin- und systemübergreifend sowie das physische Layout (Zugänglichkeit und Zone/Bereich) und die Umgebungs- und Klimabedingungen übergreifend erwogen werden.

Nachdem alle Instandhaltungsaufgaben und ihre Intervalle festgelegt wurden, sollten sie in Pakete zusammengefasst werden, die in geeigneten Intervallen ausgeführt werden. Bei dieser Gruppierung ist es notwendig, sicherzustellen, dass eine Anpassung der ermittelten Aufgabenintervalle nicht zur Unwirksamwerdung einer Aufgabe durch Folgendes führt:

- a) unannehmbare Erhöhung des Sicherheits- oder Funktionsrisikos; oder
- b) unannehmbare Erhöhung der Aufgabenkosten.

Das Zusammenfassen von Instandhaltungsaufgaben in Paketen sollte so strukturiert werden, dass die Notwendigkeit der Abschaltung von Betriebsmitteln oder Systemen auf ein Mindestmaß verringert wird. Für eine bessere Betriebsverfügbarkeit bei der Instandhaltung kann es von Vorteil sein, redundante Systeme und Betriebsmittel zu verwenden.

5.4 Kostenvoranschläge

5.4.1 Kosten für Organisation, Personalausstattung und Support

In Tabelle 2 sind Kosten für Organisation, Personalausstattung und Support aufgeführt.

Tabelle 2 — Kosten für Organisation, Personalausstattung und Support

Kosten	Beschreibung
Schätzungen der Lebenszykluskosten der Projektentwicklung (basierend auf Erfahrungen mit ähnlichen Anlagen und Systemen), siehe Anhang D, Tabelle D.1	Schätzungen bezüglich der Personalausstattung (alle Gewerke) Schätzungen des Ersatzteilverbrauchs (vorbeugende Instandhaltung [PM] und korrektive Instandhaltung [CM]) Schätzungen bezüglich des Instandhaltungssupports
Instandhaltung während der Nutzung	Schätzungen für das erste Jahr – tatsächliches PM-Programm und CM-Schätzungen
Instandhaltung während der Nutzung – Folgejahre	Fällig werdende Kosten aus eigener Erfahrung mit PM und CM
Ersatzteile und Verbrauchsmaterialien	Beurteilung und Kriterien bezüglich der Materialverfügbarkeit und der damit verbundenen ermittelten Risiken
Support	Logistik, Auslagerung/Wiedereingliederung von zuvor ausgelagerten Prozessen (Outsourcing/Insourcing), Anbieterstrategien, Betriebseinschränkungen und Zugänglichkeit

5.4.2 Begründung für die Ausfallmanagementpolitik

Die Überprüfung der Ausfallmanagementpolitik für ein in Betrieb befindliches Objekt sollte auf strategischen Entscheidungen und einer Kosten-Nutzen-Analyse basieren. Alternative Lösungen sollten erwogen und quantifiziert werden. Im Falle von in Nutzung befindlichen Anlagen sollte die Ausfallmanagementpolitik auf der Grundlage von Erfahrungen überprüft werden. Der Detaillierungsgrad sollte die damit verbundenen Risiken und den Gesamtumfang der Investition und/oder Änderung widerspiegeln.

5.5 Anlagenleistung und kontinuierliche Verbesserung

5.5.1 Bericht der Überprüfungsergebnisse

Die Berichterstattung der Ergebnisse von Instandhaltungstätigkeiten sollte einer festgelegten und von den maßgeblichen Stakeholdern genehmigten Taxonomie folgen.

ANMERKUNG Zur Berichterstattung von Daten in Bezug auf Anlagen siehe EN ISO 14224 [22].

Die bzw. der zur Generierung der Ergebnisse angewendete Methode, Prozess oder Norm sowie die der Analyse zugrunde gelegten Annahmen und Vereinfachungen müssen immer beschrieben und dokumentiert werden, um für die entsprechende Haftbarkeit zu sorgen.

5.5.2 Analyse des Verbesserungsbedarfs

Die Eingaben (Input) aus der technischen Zustandsanalyse sollten herangezogen werden, um zu beurteilen, ob Leistung, Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Kosten und Risiken die festgelegten Anforderungen einhalten.

Die Analyse sollte die folgenden Maßnahmen zur Folge haben:

- Mitteilung an die Abteilungen zu vorzunehmenden Verbesserungen;
- Eingaben (Input) für Aktualisierungen des Instandhaltungsprogramms und der Inspektionsprogramme;
- Eingaben (Input) bezüglich der Notwendigkeit neuer Verfahren und neuer Technologie.

5.5.3 Berichterstattung zu technischen Daten und Beurteilung des technischen Zustandes

Das Management von Arbeiten, die an einer Anlage durchgeführt wurden oder werden, sollte auf strukturierte Art und Weise erfolgen. Häufig wird hierfür ein Arbeitsauftragssystem (en: work order system) genutzt.

Das Arbeitsmanagementsystem sollte mindestens die folgenden Informationen einbeziehen:

- Beschreibungen der Instandhaltungsaufgaben und dafür zu nutzende Ressourcen (einschließlich Personal, Ersatzteile, Werkzeuge, Prüfeinrichtung usw.);
- Aufzeichnungen der bzw. zu den Instandhaltungstätigkeiten, einschließlich Messwerte, Prüfergebnisse usw.;
- aktive Instandhaltungszeit, Supportzeit und Gesamtinstandhaltungszeit (TTM);
- Zustand der Objekte nach Abschluss der Arbeiten.

Die Ausfalldaten sollten in einer Störungsmeldung aufgezeichnet werden, die z. B. die folgenden Informationen enthält:

- Ausfallerkennungsverfahren (bei welcher Tätigkeit oder unter welchen Umständen der Ausfall festgestellt wurde);
- Ausfallzeit;
- Ausfallart und Ausfallmechanismus;
- Auswirkung auf Funktion und technischen Zustand;
- Instandsetzungsdatum und -uhrzeit;
- aktive Reparaturzeit;
- ermittelte Ausfallursache und für die Instandsetzung bzw. Wiederherstellung ergriffene Maßnahmen (einschließlich Personal, Werkzeuge, Prüfeinrichtung usw.).

6 Instandhaltungsengineering im Lebenszyklus

6.1 Lebenszyklusphasen

Dieses Dokument nimmt Bezug auf die in Tabelle 3 dargestellten Lebenszyklusphasen und -Teilphasen:

- 1) Konzeption;
- 2) Entwicklung;
- 3) Realisierung;
- 4) Nutzung;
- 5) Entsorgung/Übergang.

ANMERKUNG Die Lebenszyklusphasen werden als Harmonisierung dessen verwendet, was bereits in anderen Normen zur Instandhaltung geregelt ist. Organisationen können individuell eine andere Terminologie verwenden.

Die einzelnen Phasen lassen sich nur selten, wenn überhaupt, genau voneinander abgrenzen, weil die zu einer bestimmten Phase gehörenden Tätigkeiten und Prozesse eine Tendenz zu allmählicher Abnahme mit dem Beginn der nächsten Phase zeigen.

Entscheidungen werden von internen und externen Faktoren, wie z. B. der geltenden Gesetzgebung, den Märkten und den umliegenden Gemeinden, der Technologie, dem technischen Zustand von miteinander in Wechselwirkung stehenden Anlagen, der Logistik und der Kompetenz und den Eigenschaften der Organisation, bestimmt, für weitere Informationen siehe EN 16646 [7]. Aus der Notwendigkeit, einen Ausgleich zwischen diesen Faktoren zu finden, können sich nicht optimale Lösungen für die Auslegung auf Instandhaltbarkeit und Unterstützbarkeit ergeben.

Die spezifischen Instandhaltungsengineering-Tätigkeiten und die Tiefe bzw. der Detaillierungsgrad, in dem sie durchgeführt werden, hängen sowohl von der Lebenszyklusphase als auch dem abzuleitenden Nutzen und dem Grad der Kontrolle ab, den die Organisation ausüben kann. Die folgenden Abschnitte befassen sich mit dem gesamten Spektrum der Tätigkeiten, die im Verlauf des Lebenszyklus eines Objekts durchgeführt werden könnten, es liegt jedoch in der Verantwortung derjenigen, die die Arbeiten planen und durchführen, die kosteneffizientesten Ansätze zu ermitteln. Um dies zu erreichen, werden wenn irgend möglich entsprechende Anleitungen gegeben.

In Anhang D sind Beispiele für maßgebende Techniken und Werkzeuge für das Instandhaltungsengineering in den einzelnen Lebenszyklusphasen aufgeführt.

6.2 Ziele und Rollen des Instandhaltungsengineerings für jede Lebenszyklusphase

Das Instandhaltungsengineering sollte mit allen maßgebenden Disziplinen zusammenarbeiten, um die Ziele der Organisation zu erreichen.

Die Leistung des Instandhaltungsengineerings hängt von der Erreichung der in Tabelle 3 beschriebenen Ziele und der Ausübung der damit verbundenen Rollen ab, die darauf abzielen, den Anlagenwert für die Stakeholder durch die Funktionssicherheit zu realisieren; in 6.3 bis 6.6 werden die einzelnen Lebenszyklusstadien ausführlicher beschrieben.

Während der frühen Lebensphase bis zur Bau- bzw. Errichtungsphase richten sich die Eingaben (Input) des Instandhaltungsengineerings an die für die konstruktive Gestaltung zuständige Organisation und die Verantwortlichen für Sicherheits- und Kostenbewertungen. In den verbleibenden Phasen ermöglicht das Instandhaltungsengineering das Erreichen der Stakeholder-Ziele durch die Entwicklung und Umsetzung der Instandhaltung in Zusammenarbeit mit den für die Betriebsvorgänge und die Unterstützung bzw. den Support zuständigen Organisationen.

ANMERKUNG 1 Der Aufwand und die Arbeit variieren in Abhängigkeit von Größe, Komplexität und Automatisierungsgrad einer Anlage und davon, ob es sich um eine Verbesserung, Investition usw. handelt. In Tabelle 3 bis Tabelle 9 sind typische Beispiele aufgeführt, ohne jedoch Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben.

ANMERKUNG 2 EN 17007 [9] enthält eine allgemeine Beschreibung des Instandhaltungsprozesses. Mehrere der in EN 17007 [9] beschriebenen Prozesse stehen mit dem Instandhaltungsengineering in einer Beziehung.

ANMERKUNG 3 Das Instandhaltungsengineering spielt im Kontext der Kreislaufwirtschaft eine wichtige Rolle. Gut durchdachte Instandhaltungstätigkeiten verlängern die Lebensdauer von Bauelemente oder ganzen Produkten. Im Ergebnis dessen wird die Menge an natürlichen Ressourcen, einschließlich der verwendeten Materialien, verringert.

Tabelle 3 — Ziele und Rollen des Instandhaltungsengineerings im Verlauf des Lebenszyklus

Lebenszyklus-phase	Lebenszyklus-Teilphase	Ziele des Instandhaltungsengineerings	Rollen und Ergebnisse des Instandhaltungsengineerings
Konzeption	Machbarkeit	Frühzeitige Bereitstellung von technischen Eingaben (Input) für die Machbarkeitsstudie bezüglich der aus den vorgeschlagenen Lösungen resultierenden Instandhaltungsanforderungen	Unterstützung bei der Festlegung von Designlösungen durch technische Beurteilung der damit verbundenen Folgen für die Instandhaltung und deren Auswirkungen auf die Anforderungen der Stakeholder und die Nachhaltigkeitsleistung.
	Konzept-Basislinie	Beitrag zur Festlegung des Basisliniendesigns durch Beurteilung der Instandhaltungsanforderungen.	Abgabe einer Beurteilung der Instandhaltungsanforderungen und der Instandhaltbarkeit von alternativen Optionen. Beitrag zur Beurteilung der Zuverlässigkeit, Unterstützbarkeit und Nachhaltigkeit sowie der Sicherheitsanforderungen alternativer Optionen. Sicherstellung, dass die Optionen alle geltenden gesetzlichen und organisatorischen Anforderungen erfüllen.

Lebenszyklus-phase	Lebenszyklus-Teilphase	Ziele des Instandhaltungsengineerings	Rollen und Ergebnisse des Instandhaltungsengineerings
Entwicklung	Vorentwurf	Einflussnahme auf die konstruktive Gestaltung, um die im Hinblick auf die Funktionssicherheit geforderte Leistung zu erreichen.	Beitrag zur Beurteilung der Funktionssicherheit der gewählten Lösungsoptionen für die gesamte Anlage durch Beurteilung der Instandhaltung und der Instandhaltbarkeit. Ermittlung des Ausmaßes, in dem diese Optionen die Anforderungen an die Instandhaltung und die Instandhaltbarkeit erfüllen.
	Ausführungsplanung	Entwicklung von Instandhaltungsaufgaben und Hilfestellung bei den für die konstruktive Gestaltung unternommenen Anstrengungen, um die geforderten Instandhaltbarkeitsgrade zu erreichen und die Betriebsverfügbarkeit sicherzustellen.	Unterstützung der Konstruktions-tätigkeiten mit dem Ziel, die Ziele bezüglich der Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit und Unterstützbarkeit zu erreichen. Entwicklung vorläufiger Instandhaltungsprozesse, Anweisungen und Aufzeigen von technologischen Möglichkeiten im Zusammenhang mit der Instandhaltung.
Realisierung	Bau/Errichtung	Umsetzung der aus der Konzeptions- und der Entwicklungsphase abgeleiteten Instandhaltungsentscheidungen	Beratung zu und Teilnahme an Inspektionen, Prüfungen und Konformitätsbewertungen während des Bau- bzw. Errichtungsprozesses. Bedarfsgerechte Aktualisierung von Instandhaltungsplänen als Reaktion auf Systeme im Herstellungs- bzw. Errichtungszustand. Festlegung von Instandhaltungsplänen, Verfassen von Aufgabenbeschreibungen.
	Implementierung und Inbetriebnahme	Umsetzung der aus der Konzeptions- und der Entwicklungsphase und während der Inbetriebnahme abgeleiteten Instandhaltungsentscheidungen, Vorbereitung der Übergabe an die Organisation	Ermittlung der für die Instandhaltung geltenden Ressourcen- und Kompetenzerfordernisse und entsprechende Umsetzung. Entwicklung und Umsetzung von vorbeugenden Instandhaltungsplänen, einschließlich Inspektionspläne, Instandhaltung durch den Bediener (sofern zutreffend) und Zustandsüberwachungspläne. Bei Bedarf Validierung der Instandhaltungsverfahren. Anführen der Inbetriebsetzung, des Probetriebs und der Leistungsabnahmeprüfung.

Lebenszyklus- phase	Lebenszyklus- Teilphase	Ziele des Instandhaltungsengineerings	Rollen und Ergebnisse des Instandhaltungsengineerings
Nutzung	Betrieb und Instandhaltung	Ausführung von Instandhaltungsaufgaben und Aktualisierung von Plänen, um die Funktionssicherheitsziele zu erreichen	Durchführung der Aufgaben- analyse, Festlegung von Zeitplänen und Programmen, Reparatur- plänen und Entwicklungsplänen für die zustandsorientierte Instandhaltung. Aktualisierung der Instandhal- tungsprogramme und anderer ausgewählter des Ausfallmanage- ment betreffender Politiken anhand der technischen Beurtei- lung von Instandhaltungsergeb- nissen und als Reaktion auf sich ändernde Betriebsbedingungen. Beteiligung an der Überarbeitung von Instandhaltungsplänen und der Planung maßgebender Tätigkeiten zur Verbesserung der Betriebsvorgänge. Unterstützung bei der Entwicklung von Betriebs- praktiken und Bedienerfähigkeiten (sofern angemessen). Beteiligung an Analysen von Support-Anforderungen.
Entsorgung/ Übergang	Wiederverwendung, Recycling oder Entsorgung	Erleichterung der Wiederverwendung, des Recyclings oder der Entsorgung eines Objekts oder einer Anlage	Abschätzung des Endes der Nutzungsdauer von Objekten oder Anlagen. Hilfestellung bei der Ermittlung von Objekten für Wiederverwendung, Recycling, Veralterung oder Entsorgung.

6.3 Instandhaltungsengineering-Tätigkeiten während der einzelnen Lebenszyklusphasen

Bild 3 beschreibt Instandhaltungs- und Instandhaltungsengineering-Tätigkeiten in Bezug auf die Haupt- und Teilphasen des Lebenszyklus. Es gibt einen Überblick über die Lebenszyklusphasen, deren Teilphasen und die diesen zugeordneten Instandhaltungstätigkeiten. Bild 3 zeigt die Gemeinsamkeiten und Unterschiede des Instandhaltungsengineerings in den verschiedenen Phasen und Teilphasen auf und veranschaulicht, wie diese Phasen einander überschneiden und wie sie sich in ihrer Granularität bzw. Detailgenauigkeit voneinander unterscheiden. Es zeigt auch den Regelkreis, der notwendig ist, um die Lieferqualität von einer Phase zur nächsten sicherzustellen. Sein Zweck ist, Vertrauen zu schaffen, dass das zu entwickelnde System über seine gesamte Lebensdauer hinweg den Anforderungen entsprechend funktioniert.

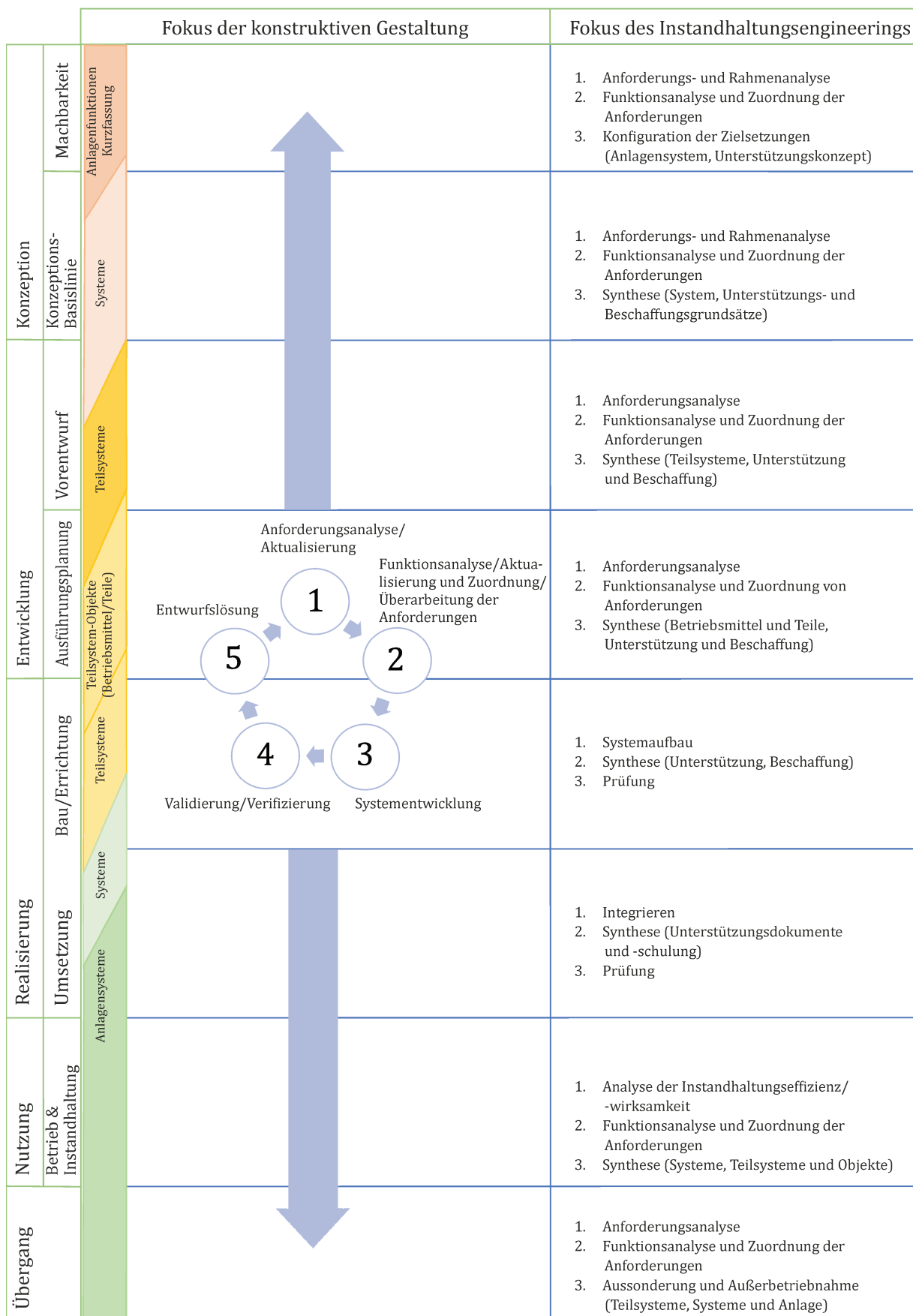


Bild 3 — Instandhaltungsengineering-Tätigkeiten in den einzelnen Lebenszyklusphasen

Zwischen den verschiedenen Lebenszyklusphasen gibt es erhebliche zeitliche Überschneidungen. Das bedeutet, dass Zeit eingespart wird, es bedeutet aber auch, dass Änderungen und Modifikationen in den nachfolgenden Phasen vorgenommen werden müssen. Das ist von besonderer Bedeutung zwischen der Entwicklungsphase und der Realisierung und der Entsorgungs-/Übergangsphase. Wenn die Realisierungsphase früh in der Entwicklungsphase beginnt, sind Änderungen in der konstruktiven Gestaltung und auch Modifikationen der Anlage zu erwarten.

Die Beschreibung der Lebenszyklusphasen und des Arbeitsumfangs hängt von der Ebene in der Anlagenhierarchie ab. Beispiele für die Anlagenhierarchie sind in Bild 1 als Infrastruktursystem (Ebene 4), System (Ebene 5), Teilsystem (Ebene 6) und Teilsystem-Objekte (Ebene 7) dargestellt. Siehe auch Anhang G für Beispiele hierzu.

6.4 Konzeptionsphase

6.4.1 Ziele der Konzeptionsphase

In der Konzeptionsphase werden die für ein bestimmtes Objekt geltenden Instandhaltbarkeits- und Instandhaltungsanforderungen festgelegt.

Das Hauptziel des Instandhaltungsengineerings während der Konzeptionsphase der konstruktiven Gestaltung ist, Folgendes zu beurteilen:

- die Relevanz und die Auswirkungen von gewählten oder alternativen technischen Lösungen auf die Instandhaltung und die Instandhaltbarkeit;
- die Möglichkeiten zur Verringerung des Instandhaltungsbedarfs auf ein Mindestmaß;
- die potenzielle Instandhaltungsbelastung (Personalbedarf, Verfügbarkeitsverluste usw.) infolge der gewählten oder alternativen technischen Lösungen;
- Möglichkeiten zur Verlängerung der Betriebslebensdauer und zur Verringerung der Verwendung kritischer Ersatzteile auf ein Mindestmaß;
- den Bedarf hinsichtlich Neukonstruktion, falls die gewählte technische Lösung die festgelegten Leistungsanforderungen, einschließlich der Anforderungen an Sicherheit und Schutz, nicht erfüllt;
- die Richtigkeit der Politik bezüglich des Ausfallmanagements für ausgewählte technische Lösungen (Instandhaltungsprogramm, Betriebsverfahren für Fehlfunktionen, Zustandsüberwachung, Run-to-Failure usw.).

In den frühen Phasen der Entwicklung der konstruktiven Gestaltung gibt es kostengünstiger als in den späteren Phasen Möglichkeiten, Einfluss auf die Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit (RAM) und die Betriebskosten des Objekts zu nehmen. Sobald technische Entscheidungen getroffen wurden und die konstruktive Gestaltung feststeht, ist es deutlich teurer und zeitaufwändiger, Änderungen zur Verbesserung dieser Attribute vorzunehmen.

Die Instandhaltbarkeit ist eine Eigenschaft der konstruktiven Gestaltung und Installation, die in Form der Mühelosigkeit und Wirtschaftlichkeit der Instandhaltung, der Verfügbarkeit des Objekts, der Sicherheit und der Genauigkeit bei der Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen ausgedrückt wird. Das Ziel der Instandhaltbarkeit besteht darin, Objekte zu konstruieren und zu entwickeln, die in möglichst kurzer Zeit, mit möglichst geringen Kosten und minimalem Aufwand an Unterstützungsressourcen instandgehalten werden können, ohne die Leistungs- oder Sicherheitseigenschaften negativ zu beeinflussen. Um die Instandhaltbarkeitsziele zu erreichen, ist es während des gesamten Entwicklungsprozesses notwendig, Erwägungen in Bezug auf die Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Instandhaltbarkeit (RAM) anzustellen. Dies umfasst die Vorausplanung, Konstruktionsentwicklung, Herstellung, Installation und Inbetriebnahme eines Objekts.

Für die Instandhaltbarkeit wird während der Konzept- und Entwicklungsphase Sorge getragen. Es kann auch später dafür Sorge getragen werden, aber nicht mit dem gleichen Erfolg und nicht unter Erreichung der gleichen Ziele.

Der erwartete oder geforderte Nutzungszyklus, die Verfügbarkeit und die für die Instandhaltung zur Verfügung stehende Zeit werden üblicherweise als Teil der Konstruktionsanforderungen sowie der spezifischen Betriebsumgebungsbedingungen (z. B. klimatische, korrosive, elektrostatische, elektromagnetische, Druck-, seismische Bedingungen usw.) festgelegt. Alle diese Faktoren bestimmen die Grenzen, die die Kriterien für Konstruktionsentscheidungen, einschließlich Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Redundanz und Wahl der Überwachungstechniken und der Steuer- und Regeltechnologien, festlegen.

Eine erhöhte Zuverlässigkeit und Instandhaltbarkeit kann die Investitionskosten erhöhen, aber zu einer Senkung der Betriebskosten führen. Die zum Instandhaltungsengineering gehörenden Tätigkeiten sollten daher darauf abzielen, die Instandhaltungskosten zu verstehen, die anfallen, wenn es erforderlich ist, einen Kompromiss zwischen diesen und anderen Kosten zu unterstützen.

6.4.2 Teilphase Machbarkeit

Eine Machbarkeitsstudie ist eine Beurteilung der Zweckmäßigkeit eines vorgeschlagenen Projekts oder Systems, für die Eingaben aus dem Instandhaltungsengineering erforderlich sind. Für die Haupteingaben ist die Teilnahme an Folgendem erforderlich:

- Lebenszyklus-Kosten/Nutzen-Analyse (LCC, LCP); und
- ILS-Analyse (siehe IEC 60300-3-12 [56] und Anhang A).

Mit diesen Beiträgen wird sichergestellt, dass Instandhaltungserwägungen bei der Beurteilung der Machbarkeit berücksichtigt werden.

6.4.3 Teilphase Konzeptbasislinie

Eine Konzept-Basislinienstudie umfasst die Beurteilung von alternativen Anlagenlösungen unter dem Gesichtspunkt der Funktionssicherheit. Die Eingaben des Instandhaltungsengineerings in dieser Phase dienen zur Aktualisierung und Bereitstellung einer detaillierteren Beurteilung der in der Teilphase Machbarkeit gemachten Eingaben. Darüber hinaus können ähnliche Eingaben für alternative Konstruktionslösungen erforderlich sein, die in dieser Phase betrachtet werden.

6.4.4 Instandhaltungsengineering in der Konzeptionsphase

In Tabelle 4 bis Tabelle 9 wird beschrieben, was in der jeweiligen Lebenszyklusphase zu erreichen ist. Unter Schlüsseltätigkeiten sind die wichtigsten der während dieser Lebenszyklusphase durchzuführenden Tätigkeiten aufgeführt. Die Tätigkeiten basieren auf den Eingaben und Ergebnissen (Input und Output). Ein Output ist ein Ergebnis (en: result) und keine Tätigkeit. Das Ergebnis (Output) einer Phase dient als Eingabe (Input) für die nächste Phase. In den Tabellen sind auch die wichtigsten Stakeholder des Instandhaltungsengineerings aufgeführt, d. h. Stakeholder an dem, was das Instandhaltungsengineering erzeugt. Wer ein Stakeholder ist, hängt von der Lebenszyklusphase ab. Es ist wichtig, sich der gegebenenfalls geltenden Einschränkungen und Begrenzungsfaktoren bewusst zu sein, und diese sind in den Tabellen enthalten.

Die für die Konzeptionsphase geltenden Schlüsseltätigkeiten des Instandhaltungsengineerings sowie deren Eingaben (Input), Ergebnisse (Output), Stakeholder, Prozessschnittstellen und Einschränkungen (mögliche Begrenzungsfaktoren) sind in Tabelle 4 beschrieben.

Tabelle 4 — Instandhaltungsengineering in der Konzeptionsphase

Schlüsseltätigkeiten Auf der Grundlage der verfügbaren Informationen: sind generische Analysen durchzuführen, die die Auswirkungen der vorgeschlagenen Lösungen in Bezug auf bestimmte Themen wie HSE, Instandhaltungsbedarf, Produktionsverfügbarkeit, Personalausstattung, Energieverbrauch, Lebenszykluskosten usw. aufzeigen. Die den Analysen zugrunde gelegten Annahmen, einschließlich der impliziten Einschränkungen, Unsicherheiten und Erwartungen, sind zu dokumentieren, um sie in der nächsten Projektphase verwenden zu können.	
Eingaben (Inputs) — Auslegungskapazität; — Betriebsanforderungen; — Funktionssicherheitsanforderungen; — Instandhaltungspolitik (Grundlagen, Unternehmensgrundsätze); — Zeitrahmen und Budget; — vorläufige Ersatzteilstrategie; — Rahmenbedingungen und Infrastruktur; — Auswirkungen und Beschränkungen auf der Anlagen- und Systemebene; — andere maßgebende Dokumente.	Ergebnisse (Outputs) — vorläufige (falls zutreffend und maßgebend): — Zuverlässigkeitsergebnisse; — FMECA des Systems; — Verfügbarkeitsanalyse; — Instandhaltbarkeitsanalyse; — Eingaben (Inputs) für die Schätzung der Lebenszykluskosten (siehe Tabelle D.1); — Eingaben (Inputs) für die Personalausstattungsstudie; — Instandhaltungsansatz; — Instandhaltbarkeitsanforderungen; — Eingaben (Inputs) für die Ausschreibungsunterlagen; — Eingaben (Inputs) für die Entwurfsdokumentation.
Stakeholder im Instandhaltungsengineering — Betreiber; — Betriebsorganisation/Produktion; — Anlagenbauer.	Prozessschnittstellen — Projektmanagement; — Betriebsvorgänge; — Zuverlässigkeitstechnik (Reliability Engineering); — Sicherheitsmanagement.
Einschränkungen (mögliche Begrenzungsfaktoren) — unklare Ziele des Betreibers; — Zeitrahmen; — Fähigkeiten der Anlagenbauer und Anbieter; — Technologie und Innovation; — physische Begrenzungen in bestehenden Tragwerken (bei Projektentwicklungen mit Bezug auf bestehende Infrastruktur).	

6.5 Entwicklungsphase

6.5.1 Ziele der Entwicklungsphase

Die Entwicklungsphase umfasst die konstruktive Gestaltung bzw. das Design und die Vorbereitung auf den Bau eines Objekts. In einigen Fällen gehört dazu auch die Entwicklung eines Prototyps für die Prüfung und Verbesserung des Designs.

Das Hauptziel des Instandhaltungsengineerings während der Entwicklungsphase ist, in einer solchen Weise Einfluss auf die konstruktive Gestaltung zu nehmen, dass in Bezug auf Instandhaltung, Instandhaltbarkeit, Support und Unterstützbarkeit eine angemessene Funktionssicherheitsleistung erreicht wird. Die Haupteingaben betreffen die Aspekte der Instandhaltung und Instandhaltbarkeit der konstruktiven Gestaltung, es wird aber auch eine Wechselwirkung mit der Auslegung von Support und Unterstützungsfähigkeit erforderlich sein

Da die Instandhaltbarkeit ein Maß für die Mühelosigkeit und Schnelligkeit ist, mit der eine festgelegte Aufgabe erledigt werden kann, ist sie eine Eigenschaft der konstruktiven Gestaltung, Konstruktion, Installation und Inbetriebnahme des Objekts sowie der Aufgabe selbst. Die Eigenschaft der Instandhaltbarkeit wird auch durch die Bereitstellung der tatsächlichen Betriebs- und Instandhaltungsunterstützung beeinflusst, die zur Durchführung der Instandsetzungstätigkeit angewendet wird.

Die Betriebs- und Unterstützungstätigkeiten liegen üblicherweise in der Verantwortung von Bereichen einer Organisation, die nicht mit der Instandhaltungsfunktion befasst sind, das Instandhaltungsengineering sollte jedoch Eingaben für diesen Tätigkeiten liefern, um sicherzustellen, dass die Instandhaltungsziele in geeigneter Weise berücksichtigt werden. Eine ausführliche Erörterung der Instandhaltbarkeit findet sich in IEC 60300-3-10 [53].

ANMERKUNG Die Instandhaltungsunterstützung ist üblicherweise eine Teilmenge des gesamten Unterstützungssystems für ein Objekt und wird daher in die Betriebsunterstützungsanforderungen integriert.

6.5.2 Vorentwurf

6.5.2.1 Allgemeines

Der Vorentwurf wird als gleichbedeutend mit dem grundlegenden Engineering angesehen, das nach Abschluss des konzeptionellen Entwurfs oder der Machbarkeitsstudie durchgeführt wird. In dieser Phase, vor Beginn der Realisierungsphase, finden verschiedene Studien mit dem Ziel statt, alle eventuellen technischen Probleme zu ermitteln und eine erste Schätzung der Investitionskosten vorzunehmen.

Während der Vorentwurfsphase findet eine enge Kommunikation zwischen den Projekteigentümern und -betreibern und der technischen Planung statt, um die mit der Erfüllung der Anforderungen der Stakeholder verbundenen Detailanforderungen festzulegen.

Zu den Instandhaltungsengineering-Aspekten des Vorentwurfs gehören die folgenden:

- die Entwicklung der Instandhaltungsstrategie;
- Eingaben (Inputs) für die Funktionsspezifikationen des Supports;
- Eingaben (Inputs) für Systemanforderungen bezüglich der Instandhaltung;
- Eingaben (Inputs) für die Systemmodellierung;
- die Ermittlung der Anlagenlösungen zur Erfüllung des Instandhaltungsrahmens;

- Instandhaltungsanforderungen;
- die Bereitstellung von Instandhaltungsdaten für die Verfügbarkeitsanalyse;
- Instandhaltungsprioritäten;
- Eingaben (Inputs) für die Analyse der Lebenszykluskosten;
- Eingaben (Inputs) für den Strategiemanagementplan für die Anlage oder das Objekt.

6.5.2.2 Instandhaltungsengineering beim Vorentwurf

Die für die Vorentwurfsphase geltenden Schlüsseltätigkeiten des Instandhaltungsengineerings sowie deren Eingaben, Ergebnisse, Stakeholder, Prozessschnittstellen und Einschränkungen (mögliche Begrenzungsfaktoren) sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5 — Instandhaltungsengineering in der Entwicklungs- und Vorentwurfsphase

Schlüsseltätigkeiten Auf der Grundlage der verfügbaren Informationen: — sind detaillierte Analysen von generischen Daten durchzuführen, die die Auswirkungen der gewählten Lösung auf spezifische Themen wie HSE, Instandhaltungsbedarf, Produktionsverfügbarkeit, Personalausstattung, Energieverbrauch, Lebenszykluskosten usw. aufzeigen; — sind die in der vorangegangenen Phase zugrunde gelegten Annahmen zu verifizieren, und diese Annahmen sind in aktualisierten Analysen zu dokumentieren, um sie in den nächsten Phasen des Projekts verwenden zu können; — Systeme, Betriebsmittel und instandhaltbare Objekte auszuweisen.	
Eingaben (Inputs) — Auslegungskapazität (Nenn-Funktionsleistung); — Betriebsanforderungen; — Funktionssicherheitsanforderungen; — der Instandhaltungspolitik zugrundeliegende Philosophie; — Systemdokumente, Datenblätter und Diagramme; — Zeitrahmen und Budget; — Rahmenbedingungen und Infrastruktur; — Auswirkungen und Einschränkungen auf der Anlagen- und Systemebene; — Leistungsanforderungen bezüglich der technischen Integrität und Sicherheit; — FMECA des Systems; — Funktionsspezifikationen für die Unterstützung; — vorläufige — Funktionssicherheitsergebnisse; — Verfügbarkeitsanalyse; — Schätzung der Lebenszykluskosten; — Personalausstattungsstudie; — Hauptersatzteil-Strategie; — Instandhaltbarkeitsanalyse.	Ergebnisse (Outputs) — aktualisierte — Verfügbarkeitsanalyse, — Instandhaltbarkeitsanalyse, — FMECA (Betriebsmittel und Baugruppen) (siehe Tabelle D.3), — Eingaben (Inputs) für die Schätzung der Lebenszykluskosten (siehe Tabelle D.1), und — Eingaben (Inputs) für die Personalausstattungsstudie. — Instandhaltungsstrategie für — die Instandhaltung der Sicherheitsbarriere, — die Inspektion/Oberfläche, — CBM/PdM, — die periodische Instandhaltung, — geplante korrektive Instandhaltung, und — Eingaben für Entwicklungsverträge.

Stakeholder im Instandhaltungsengineering — Betreiber; — Betriebsorganisation/Produktion; — Projektdisziplinen; — Anlagenbauer; — Anbieter/Lieferer.	Prozessschnittstellen — Projektmanagement; — Beschaffung; — Betriebsvorgänge; — Zuverlässigkeitstechnik (Reliability Engineering); — Sicherheitsmanagement.
Einschränkungen (mögliche Begrenzungsfaktoren) — unklare Ziele des Betreibers; — Zeitrahmen; — Fähigkeiten der Anlagenbauer und Anbieter; — Technologie und Innovation; — physische Begrenzungen in bestehenden Tragwerken (bei Projektentwicklungen mit Bezug auf bestehende Infrastruktur).	

6.5.3 Ausführungsplanung

6.5.3.1 Allgemeines

In der Detail-Engineering-Phase wird der Entwurf so weit ausgearbeitet, dass die technischen Eingaben für die Bau- bzw. Errichtungsphase ausreichend detailliert festgelegt werden können.

Zu den Instandhaltungsengineering-Aspekten der Detail-Engineering-Teilphase gehören:

- Beratung zu Instandhaltungsaspekten während der Optimierung der konstruktiven Gestaltung;
- Bestätigung der Instandhaltungs- und Instandhaltbarkeitsanforderungen;
- Durchführung einer Instandhaltbarkeitsanalyse (siehe Anhang H);
- Entwicklung detaillierter Instandhaltungspläne;
- Unterstützung der Entscheidungsfindung zu den Betriebsmitteln für die Zustandsüberwachung;
- Bereitstellung von Daten für die Entwicklung von Verfügbarkeitsmodellen;
- Erstellung von Spezifikationen zur Instandhaltung, Instandhaltbarkeit und Instandhaltungsunterstützung.

6.5.3.2 Instandhaltungsengineering in der Ausführungsplanung

Die für die Vorentwurfsphase geltenden Schlüsseltätigkeiten des Instandhaltungsengineerings sowie deren Eingaben, Ergebnisse, Stakeholder, Prozessschnittstellen und Einschränkungen (mögliche Begrenzungsfaktoren) sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 6 — Instandhaltungsengineering in der Entwicklungs- und Ausführungsplanungsphase

Schlüsseltätigkeiten Auf der Grundlage der verfügbaren Informationen: — sind Systeme, Betriebsmittel und instandhaltbare Objekte auszuweisen; — detaillierte Analysen zu spezifischen Daten auf der System- und Betriebsmittelebene in Bezug auf bestimmte Themen wie HSE, Instandhaltungsbedarf, Produktionsverfügbarkeit, Personalausstattung, Energieverbrauch, Lebenszykluskosten usw. durchzuführen und zu aktualisieren; — sind die in der vorangegangenen Phase zugrunde gelegten Annahmen zu überprüfen, ist eine erneute Prüfung auf Lücken durchzuführen und sind die in aktualisierten Analysen getroffenen Annahmen zu dokumentieren; — ist ein vorläufiges Instandhaltungsprogramm zu entwickeln; — die ermittelten Systeme, Betriebsmittel und instandhaltbaren Objekte systematisieren.	
Eingaben (Inputs) — Auslegungskapazität (Nenn-Funktionsleistung); — Betriebsanforderungen; — Funktionssicherheitsanforderungen; — Zeitrahmen und Budget; — Rahmenbedingungen und Infrastruktur; — Systemdokumente, Datenblätter und Diagramme; — Auswirkungen und Einschränkungen auf der Anlagen- und Systemebene; — aktualisierte — Verfügbarkeitsanalyse, — Instandhaltbarkeitsanalyse, — Eingaben (Inputs) für die Schätzung der Lebenszykluskosten, — Eingaben (Inputs) für die Personalausstattungsstudie. — Instandhaltungsstrategie für — die Instandhaltung der Sicherheitsbarriere, — die Inspektion/Oberfläche, — CBM/PdM, — die periodische Instandhaltung, — geplante korrektive Instandhaltung.	Ergebnisse (Outputs) — aktualisierte — Verfügbarkeitsanalyse, — Analyse des Instandhaltungsaufwands, — Eingaben (Inputs) für die Schätzung der Lebenszykluskosten, — Eingaben (Inputs) für die Personalausstattungsstudie. — Eingaben für Entwicklungsverträge; — Politik des Ausfallmanagements; — Instandhaltungstätigkeiten (siehe Anhang C); — CBM/PdM; — geplante korrektive Instandhaltung; — Bedienerdienstleistung (Stufe 1-2). — Reparaturstrategien (Instandhaltungsstufe); — Eingaben (Inputs) für KPI.
Stakeholder im Instandhaltungsengineering — Betreiber; — Betriebsorganisation/Produktion; — Projektdisziplinen; — Anlagenbauer; — Anbieter/Lieferer.	Prozessschnittstellen — Projektmanagement; — Beschaffung; — Betriebsvorgänge; — Zuverlässigkeitstechnik (Reliability Engineering); — Sicherheitsmanagement.

Einschränkungen (mögliche Begrenzungsfaktoren)

- unklare Ziele des Betreibers;
- Zeitrahmen;
- Fähigkeiten der Anlagenbauer und Anbieter;
- Technologie und Innovation;
- physische Begrenzungen in bestehenden Tragwerken (bei Projektentwicklungen mit Bezug auf bestehende Infrastruktur).

6.6 Realisierungsphase

6.6.1 Allgemeines

Mit Hilfe von Instandhaltungsengineering-Tätigkeiten sollte ermittelt werden, welche Probleme oder Ausfälle bei der Herstellung, Lieferung, Installation und Inbetriebnahme auftreten können und vor dem Betrieb behoben werden sollten. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit mit den Verantwortlichen für Inspektion, Prüfung, Ausfallmeldung und Korrekturmaßnahmen.

Während der Realisierungsphase umfasst das Instandhaltungsengineering folgende Tätigkeiten:

- Bereitstellen von Anweisungen und Arbeitsplänen einschließlich Zeitplänen für Zustandsüberwachungstechniker und Instandhaltungstechniker;
- Mitarbeit an der Erstellung von Schulungsplänen für Bediener und Instandhaltungspersonal;
- Bereitstellen von Instandhaltungsinformationen für ILS-Analysen und -Pläne;
- Überprüfen auf Konformität mit den Instandhaltungs- und Instandhaltbarkeitsanforderungen und der technischen Spezifikation;
- Konformität mit den vertraglichen Anforderungen und Spezifikationen.

6.6.2 Instandhaltungsengineering in der Realisierungsphase

Die für die Realisierungsphase geltenden Schlüsseltätigkeiten des Instandhaltungsengineerings sowie deren Eingaben (Inputs), Ergebnisse (Outputs), Stakeholder, Prozessschnittstellen und Einschränkungen (mögliche Begrenzungsfaktoren) sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Tabelle 7 — Instandhaltungsengineering in der Realisierungsphase

Schlüsseltätigkeiten

Auf der Grundlage der verfügbaren Informationen:

- sind Instandhaltungsinformationen für ILS-Analysen und -Pläne bereitzustellen;
- detaillierte Analysen zu spezifischen Daten auf der System- und Betriebsmittelebene in Bezug auf bestimmte Themen wie HSE, Instandhaltungsbedarf, Produktionsverfügbarkeit, Personalausstattung, Energieverbrauch, Lebenszykluskosten usw. durchzuführen und zu aktualisieren;
- ist die Konformität mit den Instandhaltungs- und Instandhaltbarkeitsanforderungen und der technischen Spezifikation sowie mit den vertraglichen Anforderungen und Spezifikationen zu überprüfen;
- sind die in der vorangegangenen Phase zugrunde gelegten Annahmen zu überprüfen, ist eine erneute Prüfung auf Lücken durchzuführen und sind die in aktualisierten Analysen getroffenen Annahmen zu dokumentieren.

Eingaben (Inputs) — Auslegungskapazität (Nenn-Funktionsleistung); — Betriebsanforderungen; — Funktionssicherheitsanforderungen; — Instandhaltungsstrategie; — Zeitrahmen und Budget; — Rahmenbedingungen und Infrastruktur; — Auswirkungen und Einschränkungen auf der Anlagen- und Systemebene; — aktualisierte — Verfügbarkeitsanalyse, — Analyse des Instandhaltungsaufwands, — Schätzung der Lebenszykluskosten, — Personalausstattungsstudie, — Hauptersatzteil-Strategie, und — Instandhaltbarkeitsanforderungen. — Entwicklungsverträge; — Politik des Ausfallmanagements; — Instandhaltungstätigkeiten (siehe Anhang C); — CBM/PdM; — geplante korrektive Instandhaltung; — Bedienerdienstleistung (Vor-Ort-Instandhaltung, Stufe 1-2). Reparaturstrategien (Instandhaltungsstufe)	Ergebnisse (Outputs) — Vollständige Klassifizierung aller instandhaltbaren Objekte; — detaillierte Politik des Ausfallmanagements für alle instandhaltbaren Objekte, z. B.: — vorausbestimmte Instandhaltung, — zustandsbasierte Instandhaltung, — voraussagende Analysen, — Lauf bis zum Ausfall (run to failure), und — Instandhaltung durch den Bediener. — Eingaben (Inputs) für die Reife der Lebenszykluskosten; — detaillierter Ersatzteilbedarf; — detaillierte Auslastungsanalysen; — Zeitschätzungen; — arbeitsunterstützende Tätigkeiten.
Stakeholder im Instandhaltungsengineering — Betreiber; — Betriebsorganisation/Produktion; — Anlagenbauer; — Anbieter/Lieferer.	Prozessschnittstellen — Projektmanagement; — Instandhaltungsmanagement; — Betriebsvorgänge; — Zuverlässigkeitstechnik (Reliability Engineering); — Sicherheitsmanagement.
Einschränkungen (mögliche Begrenzungsfaktoren) — unklare Ziele des Betreibers; — IT-Infrastruktur; — Kodierstruktur für kontinuierliche Verbesserung.	

6.7 Nutzungsphase

Die Nutzungsphase umfasst den Betrieb und die Instandhaltung des Objekts oder dessen geplante Lebensdauer in festgelegten Zustandsteilphasen. Die vorbeugende und die korrektive Instandhaltung sind Bestandteil dieser Phase und können auch Verbesserungen an der Anlage umfassen. Im Allgemeinen werden Verbesserungen jedoch auf die gleiche Weise vorgenommen wie Design- und Planungsprojekte.

Zu den Instandhaltungsengineering-Tätigkeiten der Nutzungsphase gehören:

- die Unterstützung des Instandhaltungsmanagements, um die von den Stakeholdern gesteckten Ziele zu erreichen;
- die systematische Verbesserung von Instandhaltungsprogrammen und anderen ausgewählten Strategien zur Störungsbeseitigung;
- die Aktualisierung oder Änderung von Instandhaltungsanforderungen als Reaktion auf sich ändernde betriebliche Rahmenbedingungen;
- die Aktualisierung von Instandhaltungsplänen und Zeitplänen;
- die Überprüfung der Instandhaltung auf Effizienz und Wirksamkeit;
- die Unterstützung von im Rahmen von Lebensdauerabschätzungen vorgenommenen Beurteilungen und Hilfestellungen bei der Weiterentwicklung des Entwurfs bis zur Reife und bei der Entwicklung von Modifikationen.

ANMERKUNG In EN 17007 [9] wird der Instandhaltungsprozess in der Nutzungsphase mit seinen Teilprozessen und Anforderungen an Eingaben und Ergebnisse (Inputs und Outputs) näher beschrieben.

Die für die Realisierungsphase geltenden Schlüsseltätigkeiten des Instandhaltungsengineerings sowie deren Eingaben (Inputs), Ergebnisse (Outputs), Stakeholder, Prozessschnittstellen und Einschränkungen (mögliche Begrenzungsfaktoren) sind in Tabelle 8 aufgeführt.

Tabelle 8 — Instandhaltungsengineering in der Nutzungsphase

Schlüsseltätigkeiten Auf der Grundlage der verfügbaren Informationen: sind detaillierten Analysen zu spezifischen Daten auf der System- und Betriebsmittelebene in Bezug auf bestimmte Themen wie HSE, Instandhaltungsbedarf, Produktionsverfügbarkeit, Personalausstattung, Energieverbrauch, Lebenszykluskosten usw. durchzuführen und zu aktualisieren; sind die in der vorangegangenen Phase zugrundegelegten Annahmen zu überprüfen, ist eine erneute Prüfung auf Lücken durchzuführen und sind die in aktualisierten Analysen getroffenen Annahmen zu dokumentieren; sind Systeme, Betriebsmittel und instandhaltbare Objekte auszuweisen.	
Eingaben (Inputs) — Betriebsanforderungen; — Instandhaltungsstrategie; — Zeitrahmen und Budget; — Rahmenbedingungen und Infrastruktur; — Auswirkungen und Einschränkungen auf der Anlagen- und Systemebene; — Instandhaltungshistorie; — Betriebshistorie; — Ausfalldaten (Ausfallarten, Ausfallmechanismen, Ausfallraten und Reparaturzeit); — Ausfallanalysen; — Instandhaltungseffektivitätsanalysen; — Erfahrungswerte; — Funktionssicherheit; — Verfügbarkeit; — Betriebskosten; — Personalbedarf; — Ersatzteilverbrauch; — Instandhaltbarkeitsprobleme; — Ausfälle.	Ergebnisse (Outputs) Kontinuierliche Verbesserung der Instandhaltung durch: — Instandhaltungsanalysen; — (wiederholte) Überprüfungen von Annahmen, Analysen und Entscheidungen in Projektphasen; — Grundursachenanalyse (siehe Tabelle D.2); — Schadensverursacher (Betriebsmittel, Praktiken, Sicherheitsleistung); — Instandhaltungskostenanalyse; — integrierte logistische Unterstützung; — Restnutzungsdauer; — Empfehlungen für — Verbesserungen der Politik des Ausfallmanagements, — Schulung, — unterstützende Tätigkeiten, und — Dokumentation. — Anpassungen aufgrund von Änderungen im Betrieb; — Projektunterstützung für Verbesserungen und Änderungen; — Nachweis der Validität von wirksamen Instandhaltungspraktiken.
Stakeholder im Instandhaltungsengineering — Instandhaltungsmanagement; — Betriebsorganisation/Produktion.	Prozessschnittstellen — Instandhaltungsmanagement; — Sicherheitsmanagement; — Betriebsvorgänge; — Änderungs-/Verbesserungsprojekte.
Einschränkungen (mögliche Begrenzungsfaktoren) — Mangelnde Qualität der Instandhaltungsmanagementsysteme und -verfahren; — Mangelnde Qualität der Instandhaltungsberichte; — Mangelnde Qualität der Instandhaltungsdatenstrukturen.	

6.8 Entsorgungs-/Übergangsphase

Die Entsorgungs-/Übergangsphase umfasst sowohl die Wiederverwendung, das Recycling und die Wiederaufarbeitung als Teil der Kreislaufwirtschaft als auch die Entsorgung eines Objekts oder einer Anlage. Sie umfasst Aussonderung, Demontage, Vorbereitung für den Transport, Außerbetriebnahme, Stilllegung, Stabilisierung, Passivierung und dauerhafte Lagerung (Deponien).

Diese Phase umfasst auch Interaktionen mit maßgebenden Parteien mit dem Ziel, den Zustand des Betriebsmittels zu bewerten. Besonders dann, wenn dieses entsorgt werden soll, ist es wichtig, eventuelle Abnutzungen, Schäden usw. festzustellen, die bei zukünftigen Projekten Aufschluss über die Instandhaltungsanforderungen geben können.

Die Ziele des Instandhaltungsengineerings in der Entsorgungs-/Übergangsphase bestehen darin, die Wiederverwendung, das Recycling, die Wiederaufarbeitung oder die Entsorgung eines Objekts vorzuschlagen. Die Entsorgungs-/Übergangsphase sollte auch in allen früheren Phasen beurteilt werden, um die Ziele einer Kreislaufwirtschaft im Einklang mit den Anforderungen der Stakeholder zu erfüllen.

ANMERKUNG Für weitere Hinweise zur Kreislaufwirtschaft siehe BS 8001 [59].

Die für die Entsorgungs-/Übergangsphase geltenden Schlüsseltätigkeiten des Instandhaltungsengineerings und deren Eingaben (Inputs), Ergebnisse (Output), Stakeholder, Prozessschnittstellen und Einschränkungen (mögliche Begrenzungsfaktoren) sind in Tabelle 9 aufgeführt.

Tabelle 9 — Instandhaltungsengineering in der Entsorgungs-/Übergangsphase

Schlüsseltätigkeiten Auf der Grundlage der verfügbaren Informationen: sind die Objektinformationen für die Übergabe (Wiederverwendung) und entsprechend auch die Systeminformationen zu aktualisieren.	
Eingaben (Inputs) — Anwendungsbereich der Entsorgung/des Übergangs.	Ergebnisse (Outputs) — anhand der tatsächlichen Änderung aktualisierte Systeme; — Bedingungen für die Wiederverwendung, das Recycling und die Wiederaufarbeitung.
Stakeholder im Instandhaltungsengineering — Betreiber; — Betriebsorganisation/Produktion; — Entsorgungsunternehmen; — Anbieter/Lieferer.	Prozessschnittstellen — Betriebsorganisation/Produktion; — HSE-Prozesse; — Behörden.
Einschränkungen (mögliche Begrenzungsfaktoren)	

7 Leistungsbeurteilung anhand von Leistungskennzahlen

Leistungskennzahlen (KPI) für die Instandhaltung sind in EN 15341:2019 [5] festgelegt. Wie dort angegeben, ist eine solche Leistungskennzahl ein „quantitatives oder qualitatives Maß für ein Merkmal oder eine Reihe von Merkmalen eines Vorkommens oder einer Erbringung von Tätigkeiten, nach definierten Kriterien oder einer gegebenen Formel oder einem Erfassungsbogen“. Darüber hinaus ist eine KPI eine „als bedeutend betrachtete Leistungskennzahl“.

In den frühen Phasen des Lebenszyklus eines physischen Systems oder eines Betriebsmittels müssen KPI festgelegt werden, um dessen Leistung zu überwachen. Diese Leistungskennzahlen sind zu verwenden, um es der Organisation zu ermöglichen, Ziele festzulegen, die Leistung zu messen, während des Lebenszyklus Leistungsvergleiche vorzunehmen und die Instandhaltungsstrategien und -prozesse zu verbessern, wobei die Gesamtstrategie der Anlagen und die Stärken und Schwächen der Anlagen in der Betriebsumgebung zu berücksichtigen sind.

Leistungskennzahlen können auf verschiedene Arten und Weisen gruppiert werden, im Allgemeinen gibt es jedoch zwei Hauptgruppen von Leistungskennzahlen:

- 1) vorlaufende Leistungskennzahlen oder Frühindikatoren (en: leading indicators);
- 2) nachlaufende Leistungskennzahlen oder Spätindikatoren (en: lagging indicators).

Frühindikatoren werden in der Regel bei der Prognose zur Vorhersage eines Ergebnisses oder zu Steuerungszwecken verwendet.

Spätindikatoren werden dazu verwendet, ein Ergebnis eines Prozesses zu dokumentieren. Diese Leistungskennzahlen dürfen für Statusberichte, als Ergebnisindikatoren oder zur Messung des Erfolgs einer Organisation oder eines Prozesses verwendet werden. Unter letzteren gibt es einige Indikatoren, die als geschäftskritisch angesehen werden, und diese werden als wesentliche Leistungskennzahl (KPI) definiert.

In einer komplexen Organisation kann eine einzige Leistungskennzahl je nach Kontext alle oben genannten Funktionen erfüllen.

In Anhang E (informativ) sind einige KPI festgelegt.

KPI und andere Leistungskennzahlen sollten mit Sorgfalt verwendet werden, und wie bei jedem anderen Maß gilt, dass sie, sobald sie zu einem Ziel werden, kein gutes Maß mehr darstellen. Es obliegt dem Instandhaltungsingenieur, die besten KPI festzulegen, die auf ein technisches System oder ein Betriebsmittel in einer bestimmten Phase von dessen Lebenszyklus anzuwenden sind, und die Ergebnisse auszuwerten. Er muss die richtigen Daten verwenden, um die Werte der Leistungskennzahlen zu erhalten, und diese Leistungskennzahlen dazu nutzen, Ergebnisse aus der Vergangenheit zu analysieren und Entscheidungen zur Verbesserung der Leistung der betreffenden Anlagen zu treffen. Die für eine Leistungskennzahl zu verwendenden Daten sollten sorgfältig ausgewählt werden, um sicherzustellen, dass die erhaltenen Werte die Vergangenheit korrekt widerspiegeln und zur Verbesserung der zukünftigen Leistung der Anlage verwendet werden können.

8 Die Digitalisierung des Instandhaltungsengineerings

8.1 Allgemeines

Bei der Digitalisierung des Instandhaltungsengineering, wie sie in Anhang F beschrieben und im Einzelnen erläutert wird, geht es um die Erfassung und Nutzung von digitalen Daten mit dem Ziel

- ein besseres Verständnis für das physische bzw. physikalische Verhalten von Betriebsmitteln im Verlauf ihres Lebenszyklus zu vermitteln,
- die Fähigkeit zu stärken, Szenarien für das zukünftige Betriebsmittelverhalten im betrieblichen Kontext und die damit verbundenen Instandhaltungstätigkeiten zu erstellen,
- besser mit anderen Bereichen der Organisation zusammenzuwirken, um den betrieblichen Kontext der Betriebsmittel besser zu verstehen, und
- die Unsicherheit in Entscheidungsprozessen des Instandhaltungsengineerings zu verringern.

8.2 Umsetzungsschritte

Die Umsetzung der Digitalisierung ist ein fortschreitender Prozess, der Folgendes umfasst:

- Modellierung des Systems;
- Ermittlung der möglichen Ausfälle von Betriebsmitteln und deren Kritikalität;
- Ermittlung der zu überwachenden physischen Objekte;
- Festlegung der vorzunehmenden Messungen;
- Festlegung der zu verwendenden Sensoren, ihrer Zuverlässigkeit und ihrer Position;
- Festlegung von Maßnahmen, die als Reaktion auf bestimmte Sensorinformationen zu ergreifen sind;
- Prüfung und Validierung;
- Implementierung des Voraussagemodells;
- Implementierung der Infrastruktur;
- Umsetzung der Änderungen innerhalb der Organisation;
- Prüfschleife, falls für Verbesserungen notwendig.

8.3 Mit der Digitalisierung verbundene Risiken

Eine Einführung in die Digitalisierung der Funktion des Instandhaltungsengineerings wird in Anhang F gegeben.

Die mit der Digitalisierung verbundenen Risiken sind

a) Qualität der Daten,

Die Anwendung der Maßnahmen der voraussagenden und der präskriptiven Instandhaltung hängt von der Qualität der Daten und von der Fähigkeit ab, deren Bedeutung im Hinblick auf die Qualitätsminderungsprozesse zu verstehen, die zu Ausfällen von Betriebsmitteln führen. Die Datenerfassung und -aufbereitung sind die zeitaufwändigsten Tätigkeiten bei der Entwicklung von KI-Anwendungen.

b) Durch mathematische Algorithmen eingeführte systematische Fehler,

Systematische Fehler oder Verzerrungen (en: bias) können unterschiedlicher Art sein und durch absichtlich oder unabsichtlich erfolgendes menschliches Handeln eingeführt werden. Dabei kann es sich um Folgendes handeln:

- handlungsorientierte Verzerrungen;
- interessenbezogene Verzerrungen;
- Mustererkennungsverzerrungen;
- Stabilitätsverzerrungen;
- soziale Verzerrungen oder Voreingenommenheiten.

Weitere Informationen zu Verzerrungen in der Datenanalyse können Baer et al (2017) [33] entnommen werden.

c) Cybersicherheit und Stabilität des Kommunikationsnetzwerks oder Probleme, die sich aus der Kommunikationsumgebung ergeben, und