

DIN EN 62550

ICS 03.120.10; 29.020

Einsprüche bis 2014-12-17

Entwurf**Ersatzteilbeschaffung
(IEC 56/1554/CD:2014)**Spare Parts Provisioning
(IEC 56/1554/CD:2014)**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2014-10-17 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de 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 dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

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 104 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe und Abkürzungen	6
3.1 Begriffe	6
3.2 Abkürzungen	11
4 Übersicht	11
4.1 Beteiligte und wesentliche Schritte im Ersatzteilbevorratungsprozess	11
4.2 Arten von Ersatzteilen	13
4.3 Die Kennzeichnung von Ersatzteilen als integraler Bestandteil der Instandsetzbarkeitsanalyse (LORA)	14
4.4 Allgemeines Bevorratungsverfahren für Ersatzteile	15
5 Bedarfsprognose	16
5.1 Allgemeines	16
5.2 Prognose auf Grundlage von Verbrauchsdaten	17
5.3 Anfängliche Bedarfsermittlung	17
6 Mengenbestimmung der Ersatzteile	19
6.1 Allgemeines	19
6.2 Strategische (kritische, Sicherheits-) Ersatzteile	26
6.3 Lagerhaltungssysteme	27
6.4 Lagerhaltungsoptimierung	29
7 Dokumentation der Ersatzteile	31
7.1 Grundsätze und Ziele	31
7.2 Bebilderter Teilekatalog (IPC)	32
7.3 Ersatzteilleiste	34
8 Versorgungsmanagement	34
8.1 Allgemeines	34
9 Bezugsquellen für Ersatzteile	35
9.1 Versorgungspolitik	35
9.2 Planung und Überwachung der Ersatzteilflüsse	38
Anhang A (informativ) Bedarfsprognose	39
Anhang B (informativ) Wirksamkeitskriterien	43
Anhang C (informativ) Beispiel 1: Berechnung der Ersatzteilmenge und Optimierung der Bevorratungsmenge	50
Literaturhinweise	54

Bilder

Bild 1 – Beteiligte und wesentliche Schritte im Ersatzteilbevorratungsprozess	12
Bild 2 – Ersatzteilidentifikation	15
Bild 3 – Ersatzteilbevorratungsverfahren während der Konstruktions- und Entwicklungsphase	16
Bild 4 – Ersatzteilbevorratungsverfahren während der Nutzung	20
Bild 5 – Prinzip einer ABC-Analyse	24
Bild 6 – Grundsätze der Lagerbestandsführung	26
Bild 7 – Hierarchisch strukturiertes Lagerhaltungssystem	27
Bild 8 – Einzelprodukt-Modelle mit einem einzelnen Bestand	29
Bild 9 – Idealisierendes Lagerhaltungsmodell für nicht-instandsetzungswürdige Artikel	31
Bild 10 – Maßnahmen des Versorgungsmanagement	35
Bild A.1 – Verfahren zur Bedarfsprognose	39
Bild B.1 – Diagramm zur Bestimmung der Bedarfsdeckungsrate (FR) mit Poisson-Bedarf	44
Bild B.2 – Diagramm zur Bestimmung des Faktors K für die benötigte Bedarfsdeckungsrate	45
Bild B.3 – Bestandssystem mit Rückstandsfallen	46
Bild B.4 – Diagramm zur Bestimmung der mittleren Wartezeit (MWT) mit Poisson-Bedarf	48
Bild E.1 – Struktur der DCN	50
Bild E.2 – Bestandssystem für DKN	53

Tabellen

Tabelle 1 – Zuständigkeiten, Ziele und Maßnahmen für Versorger, Instandsetzer, Betreiber und Nutzer	13
Tabelle E.1 – Erste Gliederungsebene – Datenkommunikationsnetzwerk	51
Tabelle E.2 – Zweite Gliederungsebene – Kommunikationssystem	51
Tabelle E.3 – Dritte Gliederungsebene – Stromversorgungssystem	51
Tabelle E.4 – Dritte Gliederungsebene – Hauptprozessor	51
Tabelle E.5 – Dritte Gliederungsebene – Lüftungssystem	51
Tabelle E.6 – Kosten der Beschaffung von Austauschteilen	52

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 56/1554/CD:2014 „Spare Parts Provisioning„ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 56 „Dependability“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Zu der in Kürze bevorstehenden Publikation IEC 60050-192 liegt bereits eine deutsche Übersetzung im Normungskomitee DKE/K 132 vor. Deshalb wurden nicht die deutschen Begriffe der Vorgängerversion IEV 191 sondern bereits der aktuellen Ausgabe IEV 192 verwendet.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 132 „Zuverlässigkeit“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnietsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO [und/oder] IEC sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Ersatzteilbeschaffung

Einleitung

Ordnungsgemäße Planung und Überwachung des Ersatzteilbestands sind unabdingbare Bestandteile einer effektiven Unterstützbarkeit. Sind die benötigten Ersatzteile für routinemäßige Instandhaltungs- oder Instandsetzungsmaßnahmen bei Bedarf nicht verfügbar, verlängert sich die Ausfallzeit. Werden wiederum zu viele Ersatzteile bevorratet, muss das Unternehmen zusätzliche Kosten und die Betriebskosten für die Unterhaltung des Bestands tragen.

Bei erfolgreicher Planung und Lieferung von Ersatzteilen geht es um vier Ziele:

- das richtige Ersatzteil
- in der richtigen Anzahl
- zur richtigen Zeit und
- am richtigen Ort.

Somit umfasst Ersatzteilbevorratung die Planung der erforderlichen Ersatzteile unter Berücksichtigung des Bedarfs, der Erfordernisse, Voraussetzungen und Rahmenbedingungen des Auftraggebers.

Eine optimale Ersatzteilbevorratung ist die Voraussetzung für alle möglichen Instandhaltungsaufgaben wie Inspektionen, vorbeugende Instandhaltung und Instandsetzung. Der Bedarf an Ersatzteilen für Instandhaltungsaufgaben entsteht in der Regel in unregelmäßigen Zeitabständen; im Rahmen vorbeugender Maßnahmen kann es bei Austauschteilen auch feste Zeitabstände geben. Die schnelle und sichere Abstimmung des Bedarfs an Ersatzteilen mit dem vorhandenen Angebot zur gegebenen Zeit spielt bei der termingerechten Instandhaltung eine wichtige Rolle. Fehlendes Material ist einer der am häufigsten genannten Gründe für Verzugszeiten bei der Instandhaltung. Da Ersatzteile häufig sehr teuer sind, kann dieses Problem aber nicht einfach durch größere Bevorratungsmengen gelöst werden.

Die Verfügbarkeit von Ersatzteilen ist einer der Faktoren, welche die Systemausfallzeit beeinflussen. Die Methoden der integrierten logistischen Unterstützung (ILS) und der logistischen Unterstützungsanalyse (LSA) liefern die notwendigen Informationen für den Ersatzteilbevorratungsprozess. Zu den Informationen, die als Grundlage für den Ersatzteilbevorratungsprozess herangezogen werden, gehören unter anderem Systemaufschlüsselung, Wartungskonzept, Versorgungskonzept, etc. Eine Ersatzteiloptimierung beinhaltet üblicherweise die Themen, die in folgenden Fragen behandelt werden:

- Sollen Ersatzteile bei der Instandhaltungsstelle oder bei einem Zulieferer gelagert werden?
- Wie viele von jedem Ersatzteil sollten vorrätig gehalten werden?

Die Optimierung der Ersatzteilbewirtschaftung beruht auf Operations-Research-Verfahren sowie ausgewählten Zuverlässigkeitsmethoden und kann sowohl analytisch sein als auch Monte-Carlo-Simulationen nutzen. Das Optimierungsverfahren strebt die Herstellung eines Gleichgewichts zwischen Bevorratungskosten für Ersatzteile und Wahrscheinlichkeit und Kosten eines Ersatzteilengpasses an.

Vor einer Anforderung von Ersatzteilen muss festgelegt werden, nach welchem Verfahren die Beschaffung, Verwaltung und Lagerung des benötigten Materials durchgeführt wird. Zudem muss ein allgemeines Versorgungskonzept erstellt und spezifiziert werden.

Das richtige Vorgehen bei der Materialversorgung muss sicherstellen, dass Ersatzteile rechtzeitig angefordert und auf Anfrage geliefert werden. Dazu gehören die Überwachung der Reparatur von Austauschteilen sowie die Überwachung der Instandsetzungsdurchlaufzeiten. Alle eingebundenen Stellen – von Produktion über Instandhaltung bis zu Beschaffung und Lagerung – sollten hinsichtlich der Materialverfügbarkeit und möglichen Durchführung der Aufgabe vollkommen transparent arbeiten. Die eingeplanten Materialkosten für die Aufgabe sollten mit dem Materialverbrauch abgeglichen und dokumentiert werden und bilden die Grundlage für eine nutzungsgesteuerte Materialplanung. Durch diese Vorgehensweise kann der Ersatzteilbestand so optimiert werden, dass mit minimalen Beständen die Verfügbarkeitsanforderungen erreicht werden.

Diese internationale Norm ist gültig für alle Industriebereiche, in denen die Unterstützbarkeit einen großen Einfluss auf die Zuverlässigkeit der Artikel während ihrer gesamten Lebensdauer hat.

1 Anwendungsbereich

In dieser Internationalen Norm werden die Forderungen, Anwendungen und Themen zur Verwaltung der Ersatzteilbevorratung als Element der Unterstützbarkeitsaktivitäten beschrieben, welche die Zuverlässigkeit der Leistung und die Aufrechterhaltung der Einsatzfähigkeit von Produkten, Ausrüstungen und Systemen im Hinblick auf ihre vorgesehene Verwendung beeinflussen.

Diese Norm ist für die Anwendung durch eine breite Palette von Zulieferern, Instandhaltungsunterstützungsorganisationen und Nutzern vorgesehen und kann auf alle Artikel angewendet werden.

Sie stellt eine Erweiterung von IEC 60300-3-12 und IEC 60300-3-14 dar. Für die meisten der empfohlenen Instandhaltungsmaßnahmen werden neben Ersatzteilen auch andere Ressourcen wie Unterstützungsausrüstung, Werkzeug und Wartungspersonal benötigt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die zitierte Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60050-191:1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 191: Dependability and quality of service*

IEC 60300-3-12:2011, *Dependability management – Part 3-12: Application guide – Integrated logistic support*

IEC 60300-3-14:2004, *Dependability management – Part 14: Maintenance and maintenance support*

IEC 60300-3-16:2004, *Dependability management – Part 16: Application guide – Guideline for the specification of maintenance support services*

IEC 62402:2007, *Obsolescence management – Application guide*

3 Begriffe und Abkürzungen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050-191 und die folgenden Begriffe.

ANMERKUNG Einige der Fachbegriffe von IEC 60050-191 sind für eine bessere Lesbarkeit hier noch einmal aufgeführt. ^{N1)}

3.1.1

Verbrauchsgegenstände

alle verbrauchbaren Artikel, die regelmäßig ersetzt werden und nicht typspezifisch sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Verbrauchsgegenstände können sein: Öl, Schmierfett, Muttern, Bolzen und Schrauben, Dichtungsringe etc.

Anmerkung 2 zum Begriff: Verbrauchsgegenstände sind normalerweise relativ kostengünstig.

3.1.2

korrektive Instandsetzung

Instandhaltung, ausgeführt nach einer Fehlzustandserkennung, mit der Absicht der Wiederherstellung

Anmerkung zum Begriff: Korrektive Instandhaltung von Software schließt ständig irgendeine Änderung ein.

^{N1)} Nationale Fußnote: Es werden die deutschen Begriffe des IEV 192 verwendet (siehe Nationales Vorwort).

[IEC 60050-191-46-06:2011]^{N2)}

3.1.3

Ausfall, <einer Einheit>

Verlust der Fähigkeit, wie gefordert zu funktionieren

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn der Verlust der Fähigkeit durch einen vorher bereits vorhandenen versteckten Fehler verursacht wurde, tritt der Ausfall auf, wenn bestimmte Umstände eintreten.

Anmerkung 2 zum Begriff: Ein Ausfall eines Artikels ist ein Ereignis das als Ergebnis den Störungszustand dieses Artikels hat.

Anmerkung 3 zum Begriff: Qualifizierende Einstufungen wie katastrophaler, kritischer, Haupt-, Neben-, grenzwertiger und unbedeutender Fehler, können je nach dem Ausmaß der Auswirkungen verwendet werden. Die Auswirkungskriterien sind abhängig vom Einsatzbereich.

[IEC 60050-191-43-01:2011]^{N3)}

3.1.4

Ausfallauswirkung

Konsequenz eines Ausfalls, innerhalb oder außerhalb der Grenzen der ausgefallenen Einheit

Anmerkung zum Begriff: Bei einigen Analysen kann es erforderlich werden, einzelne Ausfallarten und deren Auswirkungen zu betrachten.

[IEC 60050-191-43-08:2011]^{N4)}

3.1.5

Gliederungsebene

Unterteilungsebene innerhalb einer Systemhierarchie

BEISPIELE: System, Subsystem, Baugruppe und Bauelement.

Anmerkung zum Begriff: Aus Sicht der Instandhaltung hängt die Gliederungsebene von verschiedenen Faktoren ab, so von der Komplexität der Bauweise einer Einheit, der Zugänglichkeit zu Untereinheiten, der Befähigung des Instandhaltungspersonals, Prüfeinrichtungen sowie Sicherheitserwägungen.

[IEC 60050-191-41-05:2011]^{N5)}

3.1.6

Inspektion

Untersuchung eines Artikels im Hinblick auf eine bestimmte Norm

3.1.7

integrierte logistische Unterstützung

(en: **integrated logistic support; ILS**)

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

[IEC 60050-191-41-34:2011]^{N6)}

^{N2)} Nationale Fußnote: Die korrekte Quelle ist IEC 60050-192, 192-06-06.

^{N3)} Nationale Fußnote: Die korrekte Quelle ist IEC 60050-192, 192-03-01.

^{N4)} Nationale Fußnote: Die korrekte Quelle ist IEC 60050-192, 192-03-08.

^{N5)} Nationale Fußnote: Die korrekte Quelle ist IEC 60050-192, 192-01-05.

^{N6)} Nationale Fußnote: Die korrekte Quelle ist IEC 60050-192, 192-01-30.

3.1.8

Einheit

betrachtetes Subjekt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit kann ein Teil, ein Bauelement, ein Gerät, eine Funktionseinheit, ein Betriebsmittel, ein Teilsystem oder ein System sein.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Einheit kann aus Hardware, Software, Personen oder aus beliebigen Kombinationen davon bestehen.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Einheit setzt sich häufig aus Elementen zusammen, die für sich selbst betrachtet werden können. Siehe Untereinheit (192-01-02) und Gliederungsebene (192-01-05).

Anmerkung 4 zum Begriff: In IEC 60050-191:1990 wird der englischsprachige Begriff „entity“ als ein englisches Synonym bezeichnet, dies trifft nicht für alle Anwendungen zu

Anmerkung 5 zum Begriff: Die Definition des englischsprachigen Begriffs „item“ in IEC 60050-191:1990 ist eher eine Beschreibung als eine Definition. Diese neue Definition ermöglicht eine durchgängige Ersetzung im vorliegenden Dokument. Der Inhalt der früheren Definition steht jetzt in Anmerkung 1.

[IEC 60050-191-41-01:2011]^{N7)}

3.1.9

Instandhaltungsebene

Instandhaltungstätigkeiten, die in einer festgelegten Gliederungsebene auszuführen sind

[IEC 60050-191-46-04:2011]^{N8)}

3.1.10

Austauschteil (Line Replaceable Item (LRI))

austauschbare Hard- bzw. Softwarebaueinheit, die vom Nutzer oder der Kundenbetreuung direkt am Gerät ausgetauscht werden kann

Anmerkung zum Begriff: In einigen Projekten wird statt Austauschteil (LRI) der Begriff Austauschgruppe (Line Replaceable Unit (LRU)) verwendet.

3.1.11

Instandhaltung

Kombination aller technischen und unternehmerischen Maßnahmen, mit denen eine Einheit in einem Zustand erhalten oder in ihn zurückversetzt werden soll, in dem sie wie gefordert funktionieren kann

Anmerkung zum Begriff: Zu unternehmerischen Maßnahmen sollten auch Überwachungsaktivitäten gehören.

[IEC 60050-191-46-01:2011]^{N9)}

3.1.12

Instandhaltungsgrundsätze

Festlegung der Instandhaltungsziele, der Instandhaltungsbereiche, der Gliederungsebenen, der Instandhaltungsebenen, der Instandhaltungsunterstützung und ihrer Wechselbeziehungen

Anmerkung zum Begriff: Die Instandhaltungsgrundsätze bilden die Basis für Instandhaltungsplanung, Ermittlungen der Anforderungen zur Instandhaltungsunterstützung und der Entwicklung der logistischen Unterstützung.

[IEC 60050-191-46-02:2011]^{N10)}

^{N7)} Nationale Fußnote: Die korrekte Quelle ist IEC 60050-192, 192-01-01.

^{N8)} Nationale Fußnote: Die korrekte Quelle ist IEC 60050-192, 192-06-04.

^{N9)} Nationale Fußnote: Die korrekte Quelle ist IEC 60050-192, 192-06-01.

3.1.13

Instandhaltungsstufe

Stelle innerhalb einer Organisation, an der festgelegte Instandhaltungstätigkeiten an einer Einheit durchzuführen sind

BEISPIELE: Erste Instandhaltungsstufe – Einsatzort, zweite Instandhaltungsstufe – Reparaturwerkstatt, dritte Instandhaltungsstufe – durch den Hersteller.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Instandhaltungsstufen sind durch die erforderliche Qualifikation des Personals, die vorhandenen Einrichtungen, den Standort, die Komplexität der Instandhaltungsaufgabe, usw. gekennzeichnet.

[IEC 60050-191-46-03:2011]^{N11)}

3.1.14

Instandhaltungsgrundsätze

allgemeine Herangehensweise an die Erbringung von Leistungen für Instandhaltung und Instandhaltungsunterstützung auf Grundlage der Zielstellungen und Grundsätze von Eigentümern, Nutzern und Auftraggebern

3.1.15

Instandhaltungsunterstützung

Mittel und Ressourcen zur Instandhaltung einer Einheit bereitstellen

Anmerkung zum Begriff: Die Ressourcen umfassen unter anderem Personal, Unterstützungsausrüstung, Material und Ersatzteile sowie Wartungsanlagen, Dokumentation, Informationen und Wartungsinformationssysteme.

[IEC 60050-191-46-03:2011]^{N12)}

3.1.16

Instandhaltungsvorgang

Instandhaltungsaufgabe

Aufeinanderfolge elementarer Instandhaltungselemente

BEISPIELE: Fehlzustandslokalisierung, Fehlzustandsdiagnose, Reparatur und Funktionsprüfung.

[IEC 60050-191-46-11:2011]^{N13)}

3.1.17

nicht-instandsetzbare Einheit

Einheit, die bei gegebenen Bedingungen nach einem Ausfall nicht wieder in einen Zustand versetzt werden kann, in dem sie sich wie gefordert verhält

Anmerkung 1 zum Begriff: Zu den „gegebenen Bedingungen“ können technische, wirtschaftliche und weitere Erwägungen gehören.

Anmerkung 2 zum Begriff: Eine unter gewissen Bedingungen nicht instandsetzbare Einheit kann unter anderen Bedingungen instandsetzbar sein.

Anmerkung 3 zum Begriff: Der Begriff „nicht instandgesetzter Artikel“, der für dieses Konzept in Ausgabe 1 verwendet wird, gehört nicht zum üblichen Sprachgebrauch.

[IEC 60050-191-41-12:2011]^{N14)}

^{N10)} Nationale Fußnote: Die korrekte Quelle ist IEC 60050-192, 192-06-02.

^{N11)} Nationale Fußnote: Die korrekte Quelle ist IEC 60050-192, 192-06-03.

^{N12)} Nationale Fußnote: Die korrekte Quelle ist IEC 60050-192, 192-01-28.

^{N13)} Nationale Fußnote: Die korrekte Quelle ist IEC 60050-192, 192-06-11.

3.1.18**Obsoleszenz**

3.1.18.1 Übergang eines Artikels von der Verfügbarkeit durch den Originalhersteller zur Nicht-Verfügbarkeit.

3.1.18.2 dauerhafter Übergang von Funktionsfähigkeit zur Nicht-Funktionsfähigkeit auf Grund äußerer Ursachen.

3.1.19**Wartung****vorbeugende Instandhaltung**

Instandhaltung mit der Absicht, eine etwaige Funktionsminderung zu vermeiden und die Ausfallwahrscheinlichkeit zu reduzieren

Anmerkung zum Begriff: Siehe auch zustandsorientierte Instandhaltung (192-06-07) und planmäßige Instandhaltung (192-06-12).

[IEC 60050-191-46-05:2011]^{N15)}

3.1.20**instandsetzbare Einheit****reparierbare Einheit**

Einheit die bei gegebenen Bedingungen nach einem Ausfall wieder in einen Zustand versetzt werden kann, in dem sie sich wie gefordert verhält

Anmerkung 1 zum Begriff: Zu den „gegebenen Bedingungen“ können technische, wirtschaftliche und weitere Erwägungen gehören.

Anmerkung 2 zum Begriff: Eine unter gewissen Bedingungen nicht instandsetzbare Einheit kann unter anderen Bedingungen instandsetzbar sein.

Anmerkung 3 zum Begriff: Der Begriff „instandgesetzter Artikel“ der für dieses Konzept in Ausgabe 1 verwendet wurde gehört nicht zum üblichen Sprachgebrauch.

[IEC 60050-191-41-11:2011]^{N16)}

3.1.21**planmäßige Instandhaltung**

Wartung, die nach einem festgelegten Zeitplan durchgeführt wird

Anmerkung zum Begriff: Planmäßige Instandhaltung kann die Notwendigkeit einer korrektiven Instandhaltung (Instandsetzung) aufzeigen.

[IEC 60050-191-46-12:2011]^{N17)}

3.1.22**Ersatzteil**

Instandsetzbare oder nicht-instandsetzbare Bau- oder Einzelteile von der zugehörigen Stückliste, mit denen Betriebsanlagen oder Ausrüstung instand gehalten oder instandgesetzt werden

3.1.23**Bevorratungsort**

jede Örtlichkeit, an welcher ein Ersatzteil voraussichtlich gelagert wird

^{N14)} Nationale Fußnote: Die korrekte Quelle ist IEC 60050-192, 192-06-12.

^{N15)} Nationale Fußnote: Die korrekte Quelle ist IEC 60050-192, 192-06-05.

^{N16)} Nationale Fußnote: Die korrekte Quelle ist IEC 60050-192, 192-01-11.

^{N17)} Nationale Fußnote: Die korrekte Quelle ist IEC 60050-192, 192-06-12.

3.1.24

Unterstützbarkeit

Fähigkeit, dabei unterstützt zu werden, die geforderte Verfügbarkeit bei einem definierten Betriebsprofil mittels gegebenen Logistik- und Instandhaltungsressourcen aufrecht zu erhalten

3.1.25

und logistisches und wartungsspezifisches Ressourcensystem

definierter Satz von Artikeln, die gemeinsam wirken, um eine Forderung zu erfüllen

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein System gilt als begrenzt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Externe Ressourcen (außerhalb der Grenzen des Systems) können erforderlich sein, um das System zu betreiben.

Anmerkung 3 zum Begriff: Eine Systemstruktur kann hierarchisch sein. z. B. System, Untersystem, Bauteil, etc.

Anmerkung 4 zum Begriff: Instandhaltungs- und Einsatzbedingungen sollten in der Forderung ausgedrückt oder impliziert sein.

[IEC 60050-191-41-03:2011]^{N18)}

3.2 Abkürzungen

COTS	handelsüblich (en: commercial-off-the-shelf)
ILS	integrierte logistische Unterstützung (en: integrated logistic support)
LORA	Instandsetzbarkeitsanalyse (en: level of repair analysis)
MTBF	mittlerer Ausfallabstand (en: mean operating time between failures)
MTTF	mittlere ausfallfreie Zeit (en: mean time to failure)
MTTR	mittlere Instandsetzungsdauer (en: mean time to repair)
OEM	Originalhersteller (en: original equipment manufacturer)

4 Übersicht

4.1 Beteiligte und wesentliche Schritte im Ersatzteilbevorratungsprozess

Artikel, die für einen Austausch im Rahmen der Instandsetzungsmaßnahmen vorgesehen sind, werden als Ersatzteile bezeichnet. Die Lagerung von Ersatzteilen ist Teil eines umfassenden Materialbevorratungsprozesses, durch den gewährleistet wird, dass die für die Instandsetzung geforderten Ersatzteile in der erforderlichen Anzahl, zum richtigen Zeitpunkt und an der richtigen Stelle verfügbar sind.

Diese Norm kann auf alle Arten von Produkten, Geräten und Systeme (Hardware mit der dazugehörigen Software) angewendet werden. Die meisten Artikel erfordern eine bestimmte Instandhaltungsebene, damit die Anforderungen an Funktionalität, Zuverlässigkeit und Fähigkeit ebenso wie wirtschaftliche, sicherheitsbezogene und gesetzliche Forderungen erfüllt werden.

Die Verfügbarkeit eines unterstützten Systems wird beeinflusst durch die allgemeine Effektivität der Instandhaltung. Somit kann die Verfügbarkeit des Systems als allgemeine Zielsetzung bei der Ersatzteilbevorratung angesehen werden.

Der Betreiber eines Systems muss dem Nutzer eine hohe Einsatzleistung erbringen. Ein weiteres Ziel für den Betreiber besteht darin, einen operativen Gewinn zu gewährleisten. Die Instandsetzungsorganisation ist verantwortlich für die Effektivität, die verstrichene Zeit und die Kosten der Instandsetzungsmaßnahmen. Eine

^{N18)} Nationale Fußnote: Der hier stehende Begriff ist vom Original entnommen und offensichtlich ein Fehler. In der weiteren Überarbeitung der IEC 62550, die diesem Entwurf folgt, steht hier die Definition von System, womit dann die korrekte Quelle IEC 60050-192, 192-01-03 ist.

Übersicht über die spezifischen Zuständigkeiten und Ziele sowie die wesentlichen Schritte im Ersatzteilbevorratungsprozess sind in Bild 1 enthalten.

Beteiligte und wesentliche Schritte im Ersatzteilbevorratungsprozess

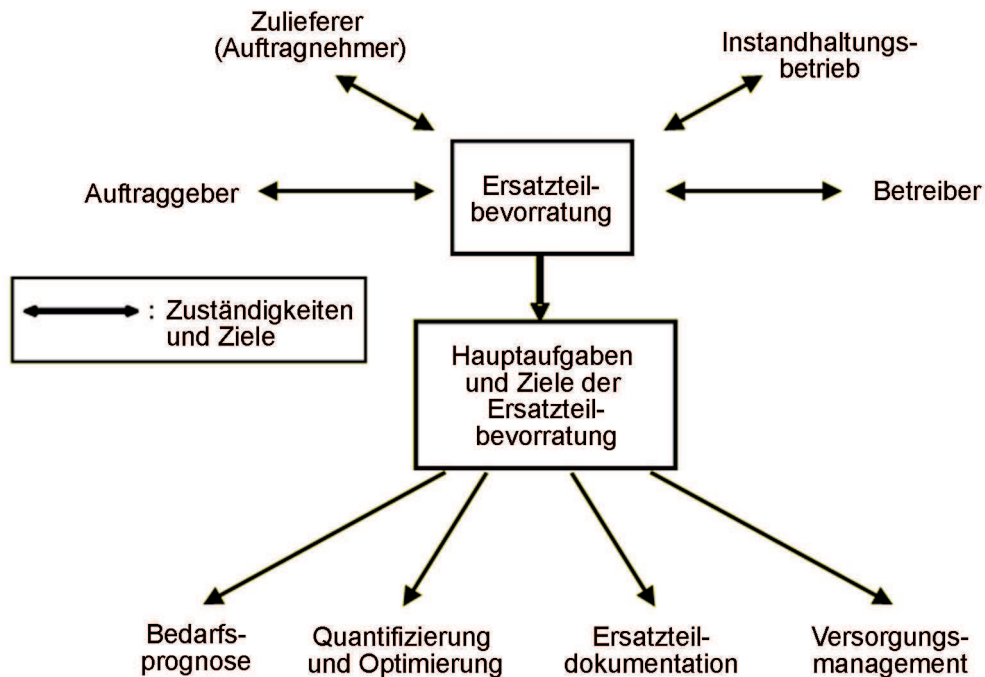


Bild 1 – Beteiligte und wesentliche Schritte im Ersatzteilbevorratungsprozess

Tabelle 1 zeigt Beispiele für die Zuständigkeiten, Ziele und Maßnahmen der verschiedenen Beteiligten.

Um den Bedarf an Ersatzteilen zu decken, müssen folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Welche Teile werden gebraucht?
- Wie viele von jedem Ersatzteil sollten vorrätig gehalten werden?
- Welches ist die wirtschaftlichste Lösung für alle Beteiligten?
- Wo sind die Ersatzteile zu bevorraten?
- Wann sollen die Ersatzteile bestellt oder nachbestellt werden?

Tabelle 1 – Zuständigkeiten, Ziele und Maßnahmen für Versorger, Instandsetzer, Betreiber und Nutzer

	Versorger von Ersatzteilen	Instandhaltungsorganisation	Betreiber/Nutzer
Zuständigkeit	Angemessene Ersatzteilverfügbarkeit Güte der gelieferten Artikel Qualität der Lieferdienste	Hohe Verfügbarkeit instandgesetzter Artikel Hohe Instandhaltungsdienstleistung	Hohe Einsatzverfügbarkeit
Ziel	Gewinn mit der Lieferung von Ersatzteilen Zertifizierung von Artikeln (falls erforderlich)	Sicherstellung dass das System erfolgreich wieder hergestellt wird Gewinn der Instandhaltungsorganisation	<i>Betreiber:</i> operativer Gewinn und Verfügbarkeit <i>Nutzer:</i> hohe Einsatzleistung
Maßnahmen	Dienstgüte Vorlaufzeit	Ausfallzeiten des Systems Instandsetzungskosten Reparaturgüte	Systemverfügbarkeit Dienstgüte

4.2 Arten von Ersatzteilen

Für die meisten Instandsetzungsaufgaben sind Materialien und Ersatzteile erforderlich. Bei Ausfall eines Bauteils wird dieses gegen ein neues oder instandgesetztes Bauteil ausgetauscht. Die Austauschzeit ist abhängig vom Instandsetzungskonzept. Ist der ausgefallene Artikel instandsetzungswürdig, wird er vor Ort oder außerhalb instandgesetzt. Der Grundsatz der Instandsetzung durch Austausch bringt es mit sich, dass neue oder gebrauchsfertige Ersatzteile zu dem Zeitpunkt, wenn ein Ausfall auftritt, schnell verfügbar sein müssen. Da komplexe technische Systeme aus tausenden Bauteilen bestehen und viele davon ausfallen können, müssen Ersatzteile für viele verschiedene Bauteile bevorratet werden.

Materialien werden bei der Instandhaltung verbraucht und Ersatzteile werden unterschieden in

- a) instandsetzbare Artikel,
- b) nicht instandsetzbare Artikel.

Im Idealfall können instandsetzbare Teile immer instandgesetzt werden. In manchen Fällen jedoch, wenn die Instandsetzung beispielsweise nicht wirtschaftlich sinnvoll oder technisch möglich ist, oder wenn die Zuverlässigkeit des Artikels durch die Anzahl der durchgeführten Instandsetzungen gelitten hat, wird das Teil ausgesondert und durch ein neues ersetzt.

In vielen Projekten, dies gilt besonders für große Systeme, machen instandsetzungswürdige Teile einen beträchtlichen Anteil der Anfangsinvestitionen bei Ersatzteilen aus. Bei Konsumartikeln wie Haushaltgeräten oder Geräten der Unterhaltungsindustrie oder auch Autos machen instandsetzungswürdige Teile nur einen geringen Teil aus.

Bei nicht instandsetzungswürdigen Teilen ist eine Instandsetzung entweder technisch oder wirtschaftlich nicht sinnvoll. Sie werden in jedem Fall ausgesondert und gegen neue Artikel ausgetauscht. Die Menge der nicht instandsetzungswürdigen Teile bestimmt sich, ähnlich wie bei den instandsetzungswürdigen Teilen, durch die Bedarfsquote und den Zeitraum, bis ein neues Teil verfügbar ist. Dieser Zeitraum umfasst Beschaffungszeit, verwaltungsbedingte Verzugs- sowie Transportzeiten.

Nicht instandsetzungswürdige Teile werden, wie Material, bei der Instandhaltung verbraucht. Die Anfangsinvestitionen in diese Artikel sind im Vergleich zu instandsetzungswürdigen Teilen eher gering, aber die jährlich anfallenden Kosten für die Lagerauffüllung können erheblich sein.

Zusätzlich zu den instandsetzbaren und nicht instandsetzbaren Artikeln, müssen noch Verbrauchsgegenstände beschafft werden, dazu gehören Muttern, Schrauben, Unterlegscheiben, Schmiermittel etc. Falls not-

wendig, werden Verbrauchsgegenstände erwähnt, aber es liegt nicht in der Absicht dieser Norm, im Detail auf Verbrauchsgüter einzugehen.

4.3 Die Kennzeichnung von Ersatzteilen als integraler Bestandteil der Instandsetzbarkeitsanalyse (LORA)

LORA ist eine spezielle Optimierungsstudie, die dazu dient, die optimale Instandsetzungsebene zu kennzeichnen bzw. den Ort für eine Instandsetzung zu ermitteln. LORA hilft auch dabei, den instandsetzbaren Artikel der niedrigsten Ebene zu ermitteln, z. B. Getriebe, Motor oder Motorantrieb komplett, der sich auf eine Kombination von Ersatzteilen mit Arbeitskosten mal Häufigkeit bezieht, im Vergleich zu den Opportunitätskosten, die die beste Investitionsrendite für die Organisation erbringen. Sie kann auch für die Konstruktionsoptimierung oder als Teil einer Bewertung des Unterstützungssystems herangezogen werden.

In den Konstruktionsphasen lassen sich mit LORA viele Szenarien durchspielen, darunter folgende:

1. Die Austausch-Methode, bestehend aus:
 - Entsorgung bei Austausch,
 - Reparatur bei Austausch,
 - Reparatur vor Ort ohne Austausch.
2. Die Gliederungsebene für die Beseitigung, z. B.
 - Entfernung eines Artikels als Teil einer Unterbaugruppe, Austausch und Instandsetzung auf aktueller Instandsetzungsstufe,
 - Entfernung eines Artikels als Teil einer Unterbaugruppe und Austausch, Instandsetzung auf höherer Instandsetzungsstufe,
 - Entfernung und Austausch eines Artikels mit Instandsetzung auf aktueller Instandsetzungsstufe,
 - Entfernung und Austausch eines Artikels mit Instandsetzung auf höherer Instandsetzungsstufe.
3. Die Instandsetzungsstufe, z. B.
 - während des Einsatzes,
 - vor Ort, System nicht im Einsatz,
 - in einer Werkstatt (kann mehrere Instandsetzungsstufen abdecken)
 - beim Hersteller.

LORA muss auch innerhalb bestimmter Einschränkungen einsetzbar sein:

- Instandsetzungskonzept, das die Instandsetzungsstufen bestimmt und deren Fähigkeit zur Instandsetzung
- Wichtigkeit der Artikel
- Nutzergrundsätze und Einschränkungen
- Sicherheitskriterien
- firmeneigene Aspekte.

Die Ersatzteilarten werden bei der Erstellung des Instandhaltungskonzepts definiert; dies ist Teil des LORA-Verfahrens bzw. der Errichtung der erforderlichen Unterstützbarkeit.

Die Prinzipien der Ersatzteilidentifizierung sind in Bild 2 dargestellt.

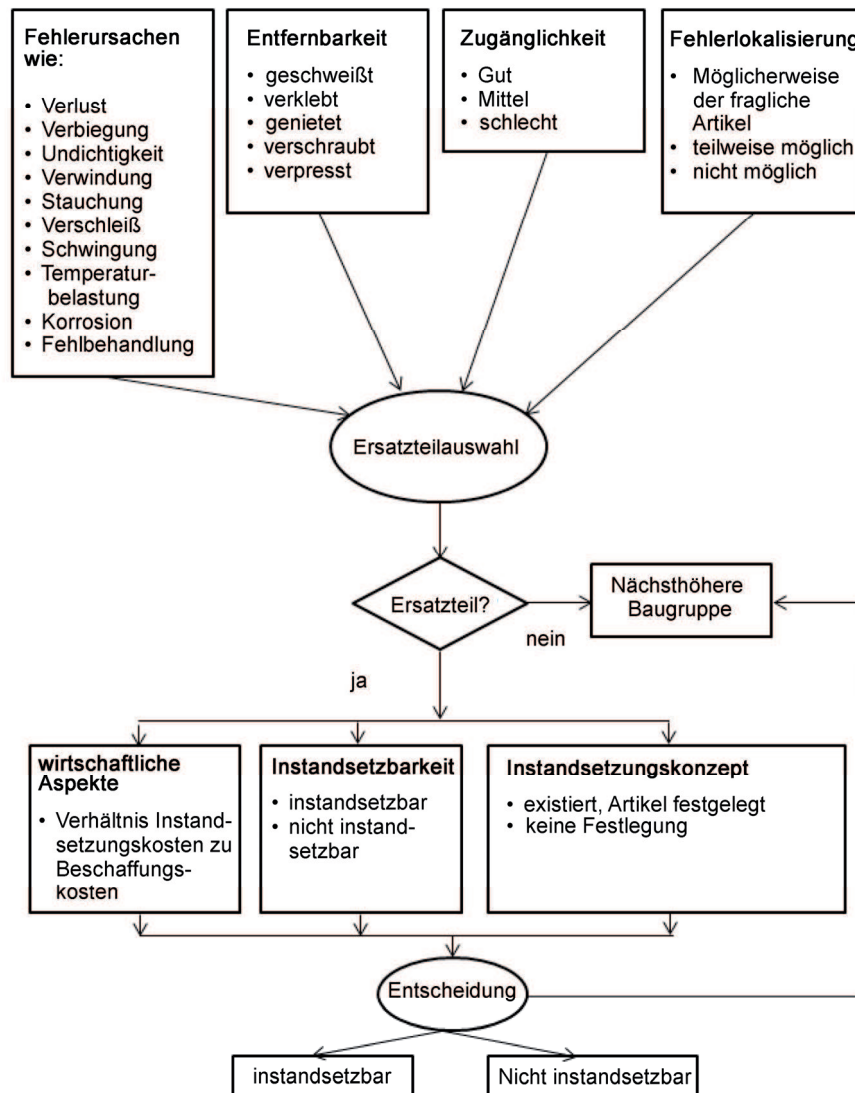


Bild 2 – Ersatzteilidentifikation

Alle Ersatzteile, Verbrauchsartikel, besondere Versorgungsartikel und ähnliche Bestände, die zur Unterstützung der vorbeugenden und korrektiven Instandhaltung benötigt werden, sind Elemente der Unterstützbarkeit. Die Menge der zu liefernden und zu bevorratenden Ersatzteile sollte für jede Instandhaltungsstufe bestimmt werden (siehe Abschnitt 6).

Die große Mehrheit der Ersatzteile (und Verbrauchsgegenstände) für geplante vorbeugende Maßnahmen können deterministisch abgeleitet werden, da die Forderungen für jede Aufgabe vorab bekannt sind. Jedoch erfordern einige Aufgaben, die eine Zustandsüberwachung einschließen, den Austausch von Artikeln, die als fehlerhaft oder kurz vor dem Ausfall stehend erkannt werden, durch Ersatzteile. Solche Ersatzteile können als Teil der Aufgabe erforderlich sein, durch die die Notwendigkeit erkannt wurde oder später im Rahmen einer geplanten korrektiven Maßnahme. In beiden Fällen kann die Quantifizierung der Ersatzteile in gleicher Weise wie für jede korrektive Maßnahme durchgeführt werden.

4.4 Allgemeines Bevorratungsverfahren für Ersatzteile

Der allgemeine Ersatzteilbevorratungsprozess kann beginnen, wenn das Instandsetzungskonzept, wie im vorherigen Unterabschnitt beschrieben, ausgearbeitet wurde und wenn ein Versorgungskonzept vorhanden ist. Sowohl Instandsetzungs- als auch Versorgungskonzept können während des Ersatzteilbevorratungsprozesses angepasst werden.

Bild 3 enthält die wesentlichen Schritte im Ersatzteilbevorratungsprozess.

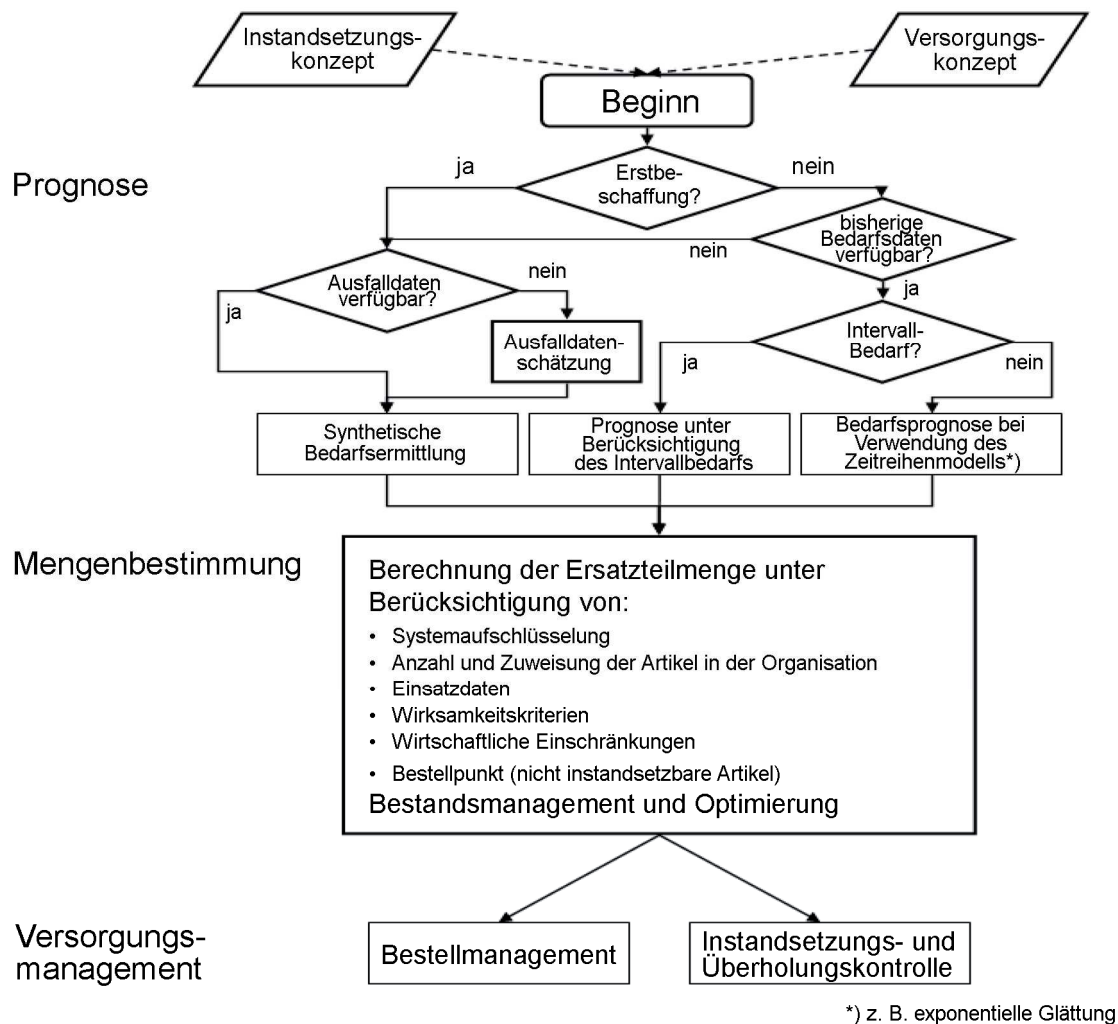


Bild 3 – Ersatzteilbevorratungsverfahren während der Konstruktions- und Entwicklungsphase

5 Bedarfsprognose

5.1 Allgemeines

Die Nachfrage nach Ersatzteilen bestimmt die Größe und Organisation des Lagersystems. Die Genauigkeit der Bedarfsprognose stellt einen entscheidenden Faktor für die Qualität des Dispositionsmodells dar. Der Bedarf wird ausgedrückt durch die geforderte Menge eines Artikels während eines spezifischen Zeitraums.

Ist die Höhe des zukünftigen Bedarfs bekannt und kann festgelegt werden, wird er als deterministisch bezeichnet, im anderen Fall als stochastisch. Ein Bedarf oder die Verteilung des Bedarfs, der im Laufe der Zeit variiert, wird als ein dynamischer Prozess angesehen. Wenn die Zeit keinen Einfluss auf den Bedarf hat, wird der Prozess als stationär bezeichnet. Eine relativ gleichmäßige Bedarfsstruktur führt zu einer kontinuierlichen Ersatzteilforderung; schwankende Nachfrage wird als sporadisch bezeichnet. Für Ersatzteile sind alle beschriebenen Bedarfsmerkmale anwendbar. Eine allgemein bevorzugte Methode der Bedarfsprognose gibt es nicht.

Für technische Systeme oder Anlagen tritt ein Bedarf ein, wenn ein Artikel ausfällt und durch einen funktionierenden Artikel ersetzt werden muss. Der Bedarf wird bestimmt durch die Nutzungsintensität, das Ausfallverhalten des Artikels und Umweltaspekte. Idealerweise werden in diesem Zusammenhang genaue Zahlen für anwendbare Parameter festgelegt. Die Festlegung der Ausfallrate wird erzielt mittels Untersuchungen zum Verhalten einer repräsentativen Anzahl von identischen Artikeln oder von Artikeln mit ähnlicher Bauweise durch Anwendung statistischer Verfahren. Das Prognoseverfahren, das gegenwärtig zur

Bedarfsprognose verwendet wird, ist von der jeweiligen aktuellen Informationssituation abhängig. Wenn die Ausfallrate und/oder Nutzungsintensität nicht als konkrete Zahlenangaben vorliegen, können nur Prognoseverfahren eingesetzt werden, bei denen die fehlenden Daten durch Annahmen ersetzt werden, womit ein höheres Risiko verbunden ist.

5.2 Prognose auf Grundlage von Verbrauchsdaten

5.2.1 Allgemeines

Ein Herstellungsverfahren kann im Allgemeinen als deterministischer Prozess angesehen werden. Die Materialplanung basiert auf Herstellungsverfahren und untereinander zusammenhängenden Beständen. Puffervorräte sind nur für kurz- und mittelfristige Abweichungen in der Produktion anzulegen. Bei größeren Bedarfsänderungen muss die Produktionskapazität angepasst werden. Die Anforderungen an Ersatzteilverräte sind primär stochastischer Natur, der Bedarf kann also nur über einen längeren Zeitraum bzw. für eine größere Anzahl von betriebsfähigen Systemen auf Grundlage von Durchschnittswerten ermittelt werden. Die Abweichungen von diesen Durchschnittswerten sind jedoch oft signifikant.

Auf Grund von Ausfällen tritt Bedarf bei Ersatzteilen häufig stoßweise auf, was eine Anwendung konventioneller, zeitreihenbasierter Algorithmen erschwert. Daher ist die Wahl des richtigen Modells entscheidend und dieses hängt von den verwendeten Nutzungsraten und Betriebsmuster ab.

5.2.2 Prognoseverfahren

Der Überblick über existierende Prognoseverfahren beschrieben in Anhang A gilt nicht nur für die Bedarfsprognose von Ersatzteilen, sondern kann generell zur Bedarfsprognose in Industrie und Handel angewendet werden.

Die Verfahren für die Bedarfsprognose lassen sich in drei Hauptkategorien unterteilen:

- Deterministische Verfahren
- Stochastische Verfahren
- Subjektive Schätzung

Bei manchen Artikeln kann die Bedarfsplanung auf Grundlage der vorliegenden Stückliste von Halbfabrikaten und/oder fertigen Produkten zu kompliziert sein. In diesen Fällen kann der bisherige Verbrauch als Indikator für den künftigen Bedarf herangezogen werden. So werden die Einflussfaktoren auf den Materialverbrauch nicht näher betrachtet; stattdessen wird angenommen, dass die in der Vergangenheit relevanten Einflussvariablen auch in der Zukunft entsprechend weiter gelten. Somit wird der frühere Bedarf als Grundlage für die Bedarfsplanung herangezogen. Aus sogenannten Zeitreihen werden dann Schlussfolgerungen über den zukünftigen Bedarf abgeleitet.

5.3 Anfängliche Bedarfsermittlung

5.3.1 Allgemeines

Im vorangegangenen Abschnitt wurde dargestellt, dass beim Vorliegen vergangenheitsbezogener Daten der Bedarf für eine Einheit prognostiziert werden kann. Vor Betriebsbeginn liegen oft keine vergangenheitsbezogenen Daten vor, mit denen der Umfang von Instandhaltung und logistischer Unterstützung einschließlich Ersatzteilen geschätzt werden könnte. Demzufolge sind Verfahren für die Zuverlässigkeitsvorhersage in einer frühen Phase der Systementwicklung erforderlich. Solche Verfahren existieren (besonders im Hinblick auf elektronisches Gerät). Es ist zu bedenken, dass sich die Verfahren auf empirische Daten stützen. Das heißt, dass Formeln und Daten sich auf vorhandene Technologie, Konstruktionspraxis und Geräteumfeld stützen.

Die folgenden Eigenschaften beeinflussen die Zuverlässigkeit beträchtlich:

- Systemkonstruktion
- Qualität der Bauteile

- Belastungsintensität
- Umweltfaktoren

Nähere Informationen finden sich in spezifischen Normen oder Handbüchern für Zuverlässigkeitsdaten entsprechender Industriezweige.

Dabei kann auch Folgendes berücksichtigt werden:

- Forderungen des Zulieferers hinsichtlich Instandsetzungsverfahren und -häufigkeit, sowie -Austauschhäufigkeit des Zulieferers für Verschleißteile bezüglich Auftragnehmergewährleistungen.
- Spezifische Versicherungsforderungen.
- Zusicherung von Ersatzteilen für Systeme/Bauteile mit langer Lebensdauer, langer Verwendungsphase, wenn technische Entwicklung oder andere Faktoren (z. B. Geschäftsaufgabe des Zulieferers) die Verfügbarkeit von Ersatzteilen beeinflussen.
- Alterung von Ersatzteilen/Verbrauchsgütern im Lager. Forderungen an korrekte Lagerung, Verpackung, Umwelteigenschaften, z. B. Feuchtigkeit und Temperatur.

5.3.2 Vorhersage von Ausfallraten

Die Ausfallrate eines Artikels ist ein wesentlicher Parameter bei der Festlegung der Anzahl erforderlicher Ersatzteile. Die Genauigkeit des Wertes der Ausfallrate stellt einen Risikofaktor dar, der bei der Schätzung der Anzahl der Ersatzteile zu berücksichtigen ist. Die Ausfallrate kann aus veröffentlichten Daten, historischen Daten, Prüfergebnissen und der einsatzmäßigen Verwendung gewonnen werden. Handelsorganisationen veröffentlichen Mittelwerte für Fehlerraten von Bauteilen sowie Umweltfaktoren auf der Grundlage von Daten aus verschiedenen Industriesektoren. Historische Daten von Betrieben für einen Artikel (oder ähnliche Artikel) können genauere Ausfallraten bieten, wenn eine ausreichende Zahl von Daten für die Artikel verfügbar ist, die in dem speziellen oder einem vergleichbaren Umfeld eingesetzt werden. Ein System zu testen, um genaue Ausfallraten zu erhalten, kann äußerst kostspielig sein und dient nur dazu, die abgeleiteten Werte zu bestätigen. Eine einsatzmäßige Verwendung liefert die besten Daten, dies ist jedoch nicht möglich für den Ersatzteilerstvorrat. Jedoch wird es durch das Sammeln dieser Daten möglich, die Ausfallraten für zukünftige Ersatzteilbevorratung anzupassen. Siehe auch IEC 62308 und IEC 61709.

Bei der Berechnung der Anzahl von Ersatzteilen geht man normalerweise davon aus, dass sich die Ausfallrate mit der Zeit (oder Betriebszyklen, zurückgelegte Strecke etc.) nicht verändert. Eine solche konstante Ausfallrate ist eventuell nicht korrekt, wenn aber eine große Anzahl von Artikeln verwendet wird, haben trotz zufällig auftretender Ausfälle, über einen langen Zeitraum alle Artikel die Tendenz zu einer konstanten Ausfallrate. Es ist wichtig zu erkennen, dass für die Ersatzteilerstbevorratung ein Risikofaktor existiert, wenn man eine gleichbleibende Ausfallrate zugrunde legt, wenn nur eine geringe Stückzahl im Einsatz ist; auch für größere Mengen kann es ein Jahr oder mehr dauern, bis die Ausfälle mit der Zeit ausreichend zufällig auftreten und die Artikelausfallrate konstant wird.

Das Ausfallverhalten wird entweder durch die Ausfallrate oder durch den mittleren Ausfallabstand (MTBF) spezifiziert. Bei einer konstanten Ausfallrate ist der mittlere Ausfallabstand reziprok zur Ausfallrate.

5.3.3 Berechnung von Bedarfsquoten

Beim synthetischen Verfahren wird die Bedarfsquote λ auf Grundlage der geschätzten Ausfallrate und der Anzahl identischer Artikel, die zu analysieren sind, berechnet. Ein Beispiel ist in Anhang A.3 enthalten.

Der Wert λT steht für den durchschnittlichen Bedarf in einem vorgegebenen Zeitraum T . Er kann mit der Gleichung (B.3) in Anhang B berechnet werden.

Manchmal werden Fehler angezeigt, die sich in späteren Tests als nicht zutreffend erweisen. Die Wahrscheinlichkeit für das Ereignis „Kein Fehler gefunden“ (No Fault Found (NFF)) muss daher in die Berechnung der Bedarfsquote einbezogen werden. Einige Ausfälle (Folgefehler – secondary failures (SEC)) werden durch äußere Einflüsse wie unsachgemäße Instandsetzung oder Ausfall anderer Teile herbeigeführt. Daher muss bei der Mengenbestimmung für Ersatzteile nicht die Ausfallrate, sondern die Ersatzquote genutzt werden. Die

Ersatzrate bezieht alle äußeren Faktoren mit ein, die sich darauf auswirken, wie oft ein Artikel ausgebaut wird (hierzu siehe Anhang B).

6 Mengenbestimmung der Ersatzteile

6.1 Allgemeines

6.1.1 Prozessübersicht

Die Methoden, die zur Verwaltung der Ersatzteilbevorratung verwendet werden, sind abhängig von ihrer Verwendung für vorbeugende oder korrektive Instandhaltung.

Für korrektive Instandhaltung sollte die ersatzteilbezogene Mengenbestimmung und Optimierung anfangs auf Grundlage des mittleren Ausfallabstands (MTBF), der mittleren ausfallfreien Zeit (MTTF) oder nicht-konstanter Ausfallraten unter Verwendung mathematischer und statistischer Verfahren erfolgen. Die Genauigkeit der Mengenbestimmung wirkt sich deutlich auf Kosten und Verfügbarkeit des Produkts aus. Zuerst wird eine Schätzung für MTBF, MTTF bzw. Ausfallrate vorgenommen; mit zunehmender Erfahrung können die Zusammenhänge jedoch anhand der tatsächlichen Nutzungsdaten besser analysiert werden. Zusätzlich zu den Zuverlässigkeitsdaten wird zur Bestimmung der erforderlichen Menge nicht instandsetzungswürdiger Teile auch die Beschaffungsperiode herangezogen und diese sollte optimiert werden. Für die Bestimmung der Menge instandsetzbarer Artikel muss die Durchlaufzeit der Instandsetzung berücksichtigt werden.

Für die vorbeugende Instandhaltung ist die erforderliche Ersatzteilmenge mit Hilfe deterministischer Verfahren ermittelbar, in einigen Fällen wird die Ersatzteilmenge auch nach einem wahrscheinlichkeitstheoretischen Muster abgeleitet.

Komplexe technische Systeme bestehen aus vielen Artikeln. Diese Artikel setzen sich wiederum aus Baugruppen, Unterbaugruppen und Bauteilen zusammen. Wie schnell ein Ausfall in einem solchen System behoben werden kann und das System wieder einsatzfähig ist, hängt maßgeblich von der Qualität der Fehlerdiagnose und -eingrenzung sowie dem Instandsetzungsaufwand ab. Ein weiterer wichtiger Faktor hierbei ist die Verfügbarkeit von Ersatzteilen. Eine ausreichende Versorgung mit Ersatzteilen ist unabdingbar für eine hohe Systemverfügbarkeit und insbesondere bei langen Instandsetzungszeiten von Baugruppen bzw. einzelnen Teilen auf der einen und kurzen Austauschzeiten auf Systemebene auf der anderen Seite von entscheidender Bedeutung.

Der Ersatzteilbestand erfordert eine beträchtliche Investition. Auf Grund von sinkenden Budgets und wachsendem Wettbewerbsdruck müssen Verfahren zur Mengenbestimmung von Ersatzteilen sowohl technische als auch wirtschaftliche Rahmenbedingungen berücksichtigen.

Die Kosten für instandsetzungswürdige Artikel machen das Gros der Gesamtkosten für Ersatzteile aus. Jedoch ist die Zahl der instandsetzungswürdigen Teile relativ gering. Die erforderliche Menge wird im Prinzip durch Instandsetzungsdurchlaufzeit und Ausfallhäufigkeit bestimmt. Daher müssen bei Auswahl und Mengenbestimmung instandsetzungswürdiger Teile große Sorgfalt angewandt werden.

Neben der Ausfallhäufigkeit wird die erforderliche Menge nicht instandsetzungswürdiger Artikel in erheblichem Maße durch die Wiederaufstockungszeit einschließlich Bearbeitungs- und Abwicklungszeit bestimmt. Die Verfahren für die Mengenbestimmung der nicht instandsetzungswürdigen Artikel unterscheidet sich deshalb von denen für die instandsetzungswürdigen Artikel.

Der Gesamtprozess der Ersatzteilbevorratung während der Konstruktions- und Entwicklungsphase ist in Bild 4 dargestellt.

Die Ersatzteilmengen basiert auf folgenden Angaben:

- für korrektive Instandhaltung benötigte Ersatzteile (instandsetzungswürdige und nicht instandsetzungswürdige Teile)
- für vorbeugende Instandhaltung benötigte Ersatzteile (regelmäßig auszutauschende Artikel);

- Ersatzteile zur Ergänzung des Bestands an nicht instandsetzungswürdigen Teilen;
- Ersatzteile zur Betriebsunterstützung während der Instandsetzung instandsetzungswürdiger Artikel (Instandsetzungsdurchlaufzeit)
- Teile zum Ersatz ausgesonderter instandsetzungswürdiger Artikel (ausgesonderte Artikel werden aus dem Bestand genommen)

Ersatzteile können direkt von einem Händler bzw. Hersteller bezogen oder aber zur Gewährleistung der Verfügbarkeit einsatzbereit vorgehalten werden. Dabei ist es wichtig, darauf zu achten, dass sie für die vorgesehene Nutzung geeignet sind.

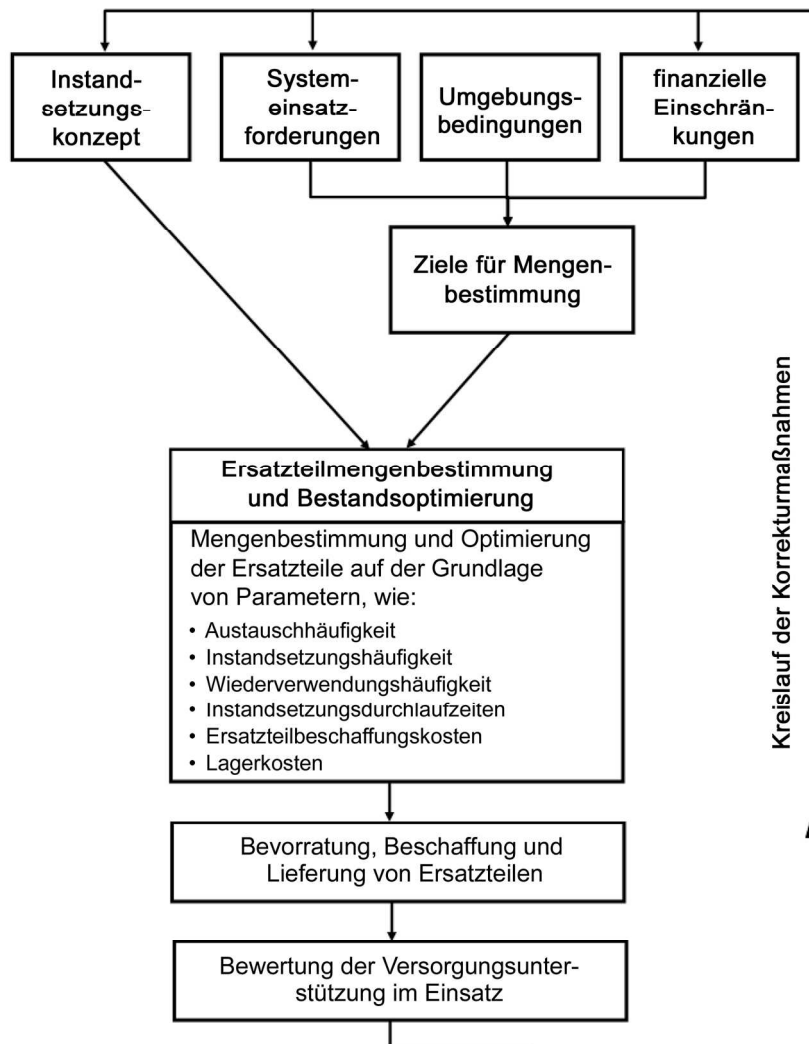


Bild 4 – Ersatzteilbevorratungsverfahren während der Nutzung

6.1.2 Statistische Verteilungen für die Mengenbestimmung der Ersatzteile

Die Mengenbestimmung der Ersatzteile erfolgt auf der Grundlage von Wahrscheinlichkeitsverteilungen. Die Auswahl der anwendbaren Verteilung ist abhängig von den Ausfalleigenschaften. Die vier am häufigsten verwendeten statistischen Verteilungen für die Mengenbestimmung der Ersatzteile sind:

- Poisson-Verteilung,
- Gauß'sche Verteilung, Normalverteilung,
- negative Binomialverteilung,
- Weibull-Verteilung.

Die Poisson-Verteilung ist eine Einzelparameter-Verteilung, bei der der erwartete Wert und die Varianz denselben Wert haben. Sie kann angewendet werden, wenn die Eintrittswahrscheinlichkeit sehr gering ist. Dies ist bei langen Zeitintervallen bzw. niedrigen Bedarfsquoten der Fall. Die Poisson-Verteilung ist die am häufigsten verwendete Wahrscheinlichkeitsverteilung bei der Mengenbestimmung von Ersatzteilen.

Die Gauß'sche Verteilung ist eine zwei Parameter Verteilung und wird angewendet, wenn die Verteilung einer Zufallsvariablen durch viele, voneinander unabhängige, Faktoren bestimmt wird. Die Gauß'sche Verteilung wird angewendet, wenn eine hohe Bedarfsquote eintritt. Die Gauß'sche Verteilung wird deshalb häufig zur Ermittlung der Sicherheitsbestände an nicht instandsetzungswürdigen Artikeln bei hohen Verbrauchsquoten verwendet.

Die negative Binomialverteilung kann als eine spezielle Art der Poisson-Verteilung angesehen werden. Die negative Binomialverteilung wird manchmal für ein Bestandssystem auf mehreren Gliederungsebenen und Stufen verwendet.

Die Weibull-Verteilung, eine sogenannte Extremwertverteilung, wird insbesondere zur Betrachtung von Lebensdauern in den Bereichen Technik, Wirtschaft und Medizin verwendet. Sie kann als verallgemeinerte Form der Poisson-Verteilung angesehen werden.

Zur Durchführung der Ersatzteilmengenbestimmung wird eine konstante Ausfallrate über eine bestimmte Zeit angenommen. Für umfangreiche Mengen erscheint die beobachtete Zahl konstant zu sein, weil die unterschiedlichen Betriebszeitenintervalle dazu führen, dass die Ausfälle in gleichmäßiger Verteilung auftreten. Die Anwendung der Weibull-Verteilung oder der negativen Binomialverteilung erfordert zwei Parameter mit ausreichender statistischer Zuverlässigkeit. Die Abschätzung der beiden Parameter kann etwas schwieriger sein. Zudem werden die mathematischen Operationen wesentlich komplexer und die Rechenzeit erheblich länger.

Generell lässt sich empfehlen, die folgenden Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die Mengenbestimmung bei Ersatzteilen zu verwenden:

- Poisson-Verteilung bei allen einfachen Rechenverfahren, z. B. in Tabellenprogrammen, wenn der Wert (λT) kleiner 50 ist; bei $50 \leq \lambda T \leq 100$ kann sowohl Poisson- als auch Gaußverteilung verwendet werden;
- Gaußverteilung bei Werten (λT) größer 100;
- negative Binomialverteilung bei komplexen Problemen, z. B. Anwendungen mit mehreren Stufen oder Gliederungsebenen, wenn dies möglich ist; andernfalls kann ohne größere Genauigkeitsverluste auch die Poisson-Verteilung angewendet werden;
- andere Wahrscheinlichkeitsverteilungen nur in Ausnahmefällen, z. B. Weibull.

6.1.3 Bewertungsmaßstäbe (Measures of Effectiveness (MoE))

6.1.3.1 Übersicht

Eine hohe Effektivität der Unterstützbarkeit ist für die Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit eines Systems von entscheidender Bedeutung. Deshalb sollte die Optimierung von Instandhaltungsgrundsätzen, Instandhaltungsressourcen und Grundsätzen der Ersatzteilbevorratung parallel erfolgen.

Bewertungsmaßstäbe für Ersatzteilibewirtschaftung können in zwei Gruppen eingeteilt werden:

- Auf das Lager bezogene Messkriterien für die Wirksamkeit, wie Erfüllungsquote, Engpass-Risiko, erwartete Nachbestellungen, mittlere Wartezeit
- systembezogene Messkriterien für die Wirksamkeit, wie Verfügbarkeit des einsatzreifen Systems, Anzahl der nicht einsatzbereiten Systeme, Wahrscheinlichkeit des Einsatzerfolgs.

Die Kostenoptimierung eines Bestandssystems wird durch Abwägung dieser Bewertungsmaßstäbe gegen die Bestandskosten erreicht.

6.1.3.2 Bedarfsdeckungsrate

Dieses Effektivitätskriterium beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Bedarf unverzüglich gedeckt werden kann. Sie wird für jede Lagerposition berechnet. Die Bedarfsdeckungsrate wird zum Teil auch als Lieferbereitschaftsstufe oder Erfüllungsgrad bezeichnet.

Die durchschnittliche Bedarfsdeckungsrate berechnet sich als gewichtetes Mittel für Gruppen von Lagerpositionen entsprechend der relativen Bedarfsquote je Lagerposition. Die relative Bedarfsquote bezieht sich in diesem Zusammenhang entweder auf die Gesamtbedarfsquote bezüglich einer Lagerposition, oder auf Bedarfsquoten mit einem bestimmten Ursprung.

6.1.3.3 Engpassrisiko

Dieses Effektivitätskriterium beschreibt die Wahrscheinlichkeit eines ungedeckten (zurückgestellten) Bedarfs. Sie wird für jede Lagerposition mit denselben Definitionen und Annahmen berechnet, die weiter oben für die Bedarfsdeckungsrate beschrieben wurden.

Das Engpassrisiko ist das Gegenstück zur Bedarfsdeckungsrate und berechnet sich als 1-FR.

Dabei sagt das Kriterium „Engpassrisiko“ nichts über den Zeitverzug aus, der durch die fehlenden Ersatzteile entsteht. Das relevante Kriterium hierfür ist die mittlere Wartezeit.

6.1.3.4 Erwartete Rückstände

Ein zusätzliches Effektivitätskriterium bei der Mengenbestimmung von Ersatzteilen ist die durchschnittliche Anzahl von Rückständen (erwartete Rückstände – expected backorders (EBO)). Dieses Kriterium gibt die Bedarfe an, die nicht unmittelbar gedeckt werden können, sondern bis zur nächsten Lieferung (bei instandsetzungswürdigen Teilen: bis zum nächsten Rücklauf eines instandgesetzten Teils) zurückgestellt werden müssen. Es werden sowohl Anzahl der Rückstände als auch die entstehende zeitliche Verzögerung berücksichtigt.

6.1.3.5 Mittlere Wartezeit (MWT)

Die Wartezeit bei einer Bestandslage ist die Zeit ab Entstehen eines Bedarfs (einer Bestellung) bis zur Auslieferung des angeforderten Artikels aus dem Bestand. Ist der Artikel bei Entstehen des Bedarfs verfügbar, beträgt die Wartezeit 0. Lieferverzögerungen aufgrund administrativer Verfahren oder der Handhabung der Artikel werden als Teil der administrativen Verzugs- und Transportzeit angesehen.

Die mittlere Wartezeit ist der gewichtete Durchschnitt anhand des relativen Bedarfs für jede Lagerposition.

Es wird angenommen, dass eine Einheit direkt nach Erreichen der Lagerposition für die Auslieferung verfügbar ist. Für das Auspacken des Artikels aufgewendete Zeiten werden daher den verwaltungsbedingten Verzugszeiten zugeschlagen.

Es ist anzumerken, dass oben genannte Definition auch dann verwendet wird, wenn die nominale (maximale) Anzahl im Bestand 0 beträgt. Die Wartezeit entspricht dann der Wartezeit an der unterstützenden Lagerposition plus Transport- und Instandsetzungsdurchlaufzeit.

Die mittlere Wartezeit spielt bei der Mengenermittlung und Optimierung von Lagerhaltungssystemen mit vielen Gliederungsebenen und Stufen eine große Rolle.

6.1.3.6 Systembetriebsfähigkeit

Der Anteil der Zeit, zu der das System während des gesamten Betriebszeitraumes verfügbar ist, wird als Systembetriebsfähigkeit bezeichnet.

6.1.3.7 Anzahl nicht betriebsbereiter Systeme

Die erwartete Anzahl nicht betriebsbereiter Systeme (en: not operationally ready (NOR)) wird für alle Systemgruppen berechnet, für die auch die Verfügbarkeit berechnet wird. Dieses Effektivitätskriterium gibt die mittlere Anzahl von Systemen in einer Gruppe an, die wegen Unklarzeit nicht verfügbar sind.

6.1.4 ABC-Analyse (Paretoanalyse)

Ersatzteillager enthalten oft eine große Anzahl verschiedener Ersatzteile, insbesondere nicht instandsetzungswürdiger Teile. Eine solche Artikelpalette wird gemeinhin als Hindernis für eine eingehende Bestandsanalyse angesehen. Die Kosten für die Bewertung tausender Artikel mit einem niedrigen Einzelpreis übertreffen deren Lagerwert. Aus praktischen Gründen können nicht alle Artikel mit dem gleichen Aufwand geplant und kontrolliert werden. Daraus ergibt sich die Forderung nach einem Verfahren, das die Kosten für Planung und Überwachung einzelner Artikel zu ihrer Bedeutung im Hinblick auf die Gesamtinvestitionen in Beziehung setzt.

Lagerkosten und Kosten für die Nicht-Verfügbarkeit des Systems können auch als Bestandteil der Gesamtinvestition einbezogen werden, wenn sie als bedeutend angesehen werden.

Die ABC-Analyse bietet ein Verfahren zur Klassifizierung einer Reihe von Ersatzteilen durch die Einordnung einzelner Artikel in drei Klassen. Die Analyse umfasst folgende Schritte:

- Berechnung der jährlich verfügbaren Mittel für jeden einzelnen Artikel unter Berücksichtigung von Preis und jährlichem Bedarf des Artikels;
- Rangfolge aller Artikel absteigend nach den jährlich für sie verfügbaren Mitteln;
- Berechnung des prozentualen Anteils, den die Mittel für jeden Artikel am Gesamtbudget haben;
- Summierung der Prozentsätze;
- Einstufung in Klassen A, B und C (siehe Bild 5).

Ist der Preis eines Artikels nicht bekannt, muss eine Schätzung vorgenommen werden. Zur Prognose des jährlichen Bedarfs siehe Abschnitt 5.

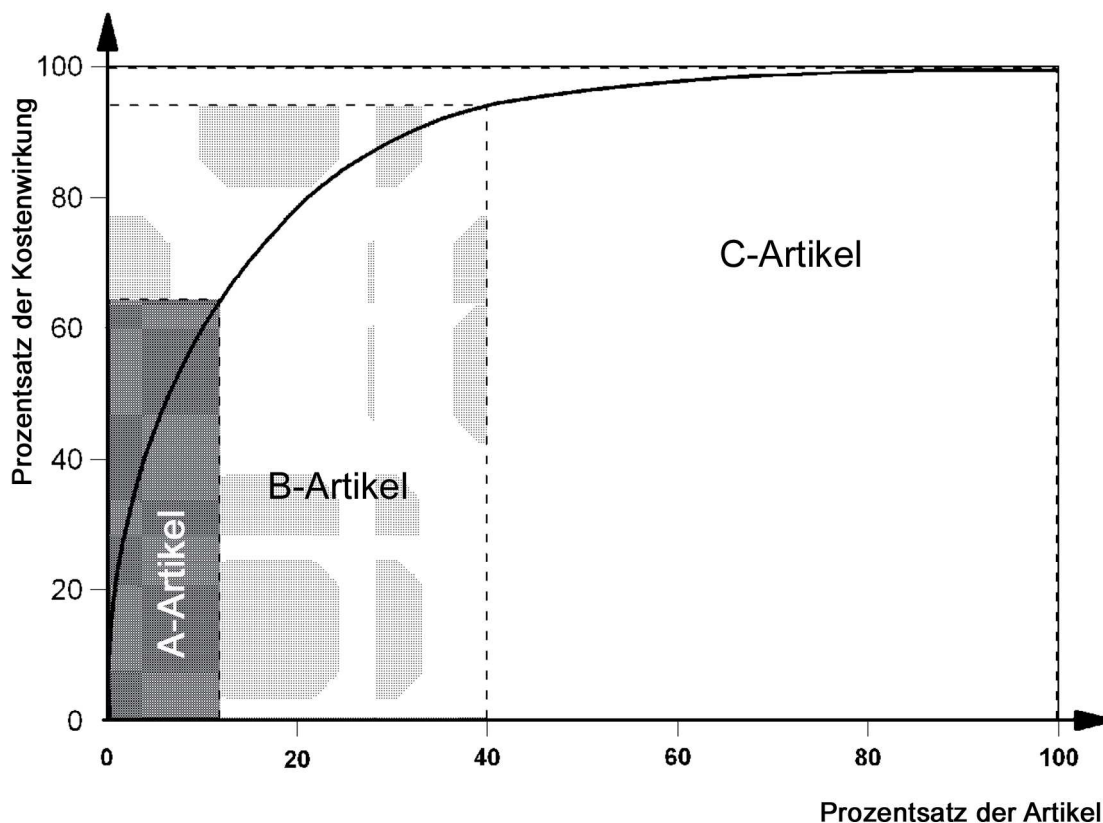


Bild 5 – Prinzip einer ABC-Analyse

Typischerweise ergibt sich bei der Artikel/Budget-Statistik folgendes Bild:

- Nur sehr wenige Artikel, etwa 5 % bis 10 % aller Artikel, machen 65 % des Gesamtbudgets aus. Diese Artikel werden als A-Artikel eingestuft.
- Wenige Artikel, 25 % bis 30 % aller Artikel, machen 25 % bis 30 % des Gesamtbudgets aus. Diese Artikel werden als B-Artikel eingestuft.
- Viele Artikel, 65 % bis 70 % aller Artikel, machen 10 % bis 15 % des Gesamtbudgets aus. Diese Artikel werden als C-Artikel eingestuft.

In einem Bestandssystem sollten A-Artikel im Hinblick auf ihre Auswirkungen auf die Gesamtkosten betrachtet werden. Bei diesen Artikeln lohnt es sich, mehr Zeit für Planung und Überwachung aufzuwenden, damit größere Einsparungen erzielt werden können.

B-Artikel unterliegen Routine-Verfahren. Der Ersatzteil-Verwalter unterzieht Bestandsmengen und Bestandsentwicklung einer eingehenden Überwachung.

Die Überwachung von C-Artikeln erfolgt nach einem einfachen System, das automatisiert werden sollte, auch wenn dies möglicherweise zu geringfügig höheren Bevorratungsständen führen kann.

Für die unterschiedlichen Artikelklassen sind folgende Verfahren zu berücksichtigen:

- Für A-Artikel:
 1. eingehende Analyse von Markt-, Preis- und Kostenstruktur sowie Wert,
 2. präzise Versorgungsverfahren,
 3. individuelle Bedarfsprognose,
 4. präzise Materialwirtschaft,
 5. genaue Überwachung der Lieferkette,

6. sorgfältige Festlegung von Sicherheits- und Bestellbeständen,
 7. exakte Berechnung der kostenoptimalen Bestellmengen,
 8. strikte Überwachung von Fristen.
- Für B-Artikel:

Die Verfahren für Artikel dieser Klasse sollten sich zwischen den Verfahren für A- und C-Artikeln bewegen.
 - Für C-Artikel:
 1. vereinfachte Versorgungsverfahren,
 2. vereinfachtes Bestandsüberwachungsverfahren,
 3. Grundüberwachung der Lieferkette,
 4. Festlegung größerer Sicherheits- und Bestellbestände,
 5. einfache Berechnung der Bestellmengen,
 6. einfache Überwachung von Fristen.

6.1.5 Mengenbestimmung für instandsetzungswürdige Teile

Generell können instandsetzungswürdige Artikel im Rahmen einer ABC-Analyse als A- bzw. B-Artikel eingestuft werden.

Zu jeder Phase im gesamten Nutzungszeitraum werden durchgehend die gleiche Ausfallwahrscheinlichkeit und konstante Instandsetzungsdurchlaufzeiten vorausgesetzt. Es wird außerdem davon ausgegangen, dass die Instandsetzung instandsetzungswürdiger Teile in einem geschlossenen Kreislauf erfolgt. In der Praxis ist das jedoch nicht immer der Fall, es kommt vor, dass Artikel aus Gründen der Wirtschaftlichkeit, Abnutzung oder Überalterung nicht mehr instandgesetzt werden können.

Nachstehend werden die wichtigsten Bedingungen und Voraussetzungen für die Mengenbestimmung instandsetzungswürdiger Teile beschrieben:

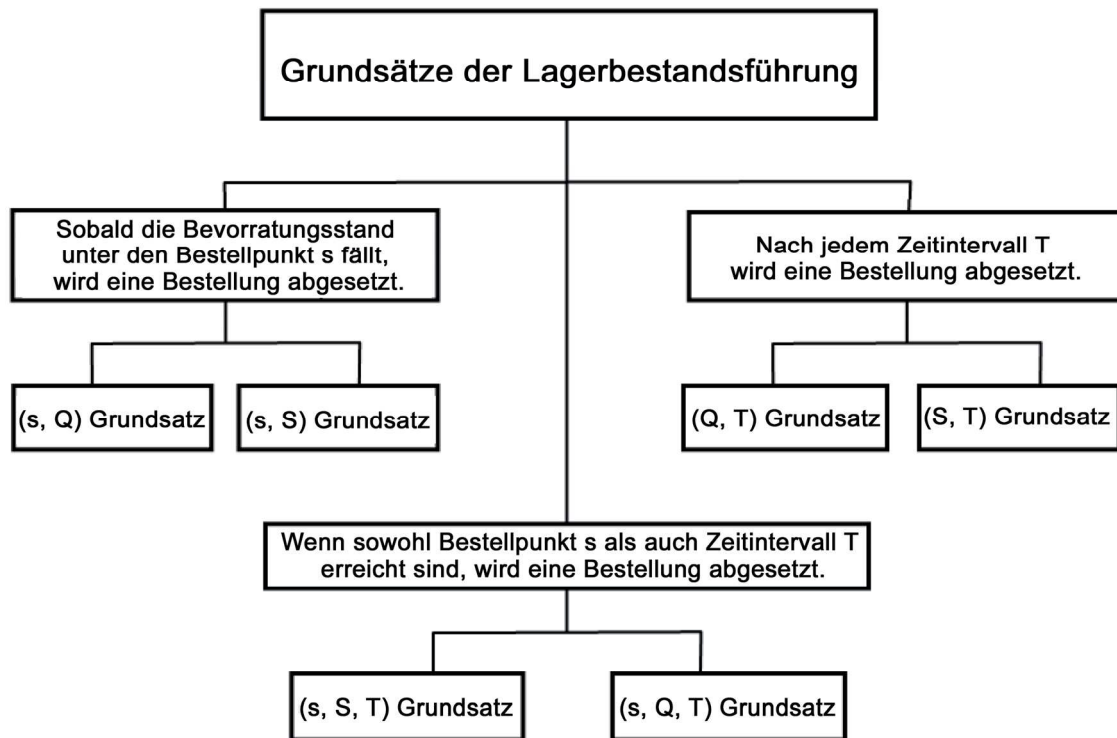
- Ausfälle verschiedener Artikel erfolgen unabhängig voneinander, d. h. der Ausfall eines Artikels führt nicht zum Ausfall eines anderen Artikels auf der gleichen Gliederungsebene. Wenn solche Folgefehler oder durch äußere Einwirkung hervorgerufene Fehler zu berücksichtigen sind, muss ein entsprechender Faktor in die Bedarfsquote einbezogen werden (siehe 5.3.3).
- Die Ausfallrate bleibt konstant, Materialermüdung bzw. Abnutzung werden nicht explizit berücksichtigt.
- Es wird von konstanten Transport- und Instandsetzungsdurchlaufzeiten ausgegangen, das heißt, Zeitverteilung und Abhängigkeit von Instandsetzungsvolumina werden also nicht berücksichtigt.
- Es wird von einem geschlossenen Instandsetzungskreislauf ausgegangen. Teilweise instandsetzungswürdige Artikel sind mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit als instandsetzungswürdig und der übrige Anteil als nicht instandsetzungswürdig zu betrachten.

Die Instandsetzungsdurchlaufzeit ist die Zeit vom Ausbau eines defekten Artikels aus dem System bis zu seinem Wiedereintreffen im Ersatzteillager nach abgeschlossener Instandsetzung. Zusätzlich zur reinen Instandsetzungszeit müssen auch Transportzeiten und verwaltungsbedingte Verzugszeiten berücksichtigt werden.

6.1.6 Mengenbestimmung für nicht instandsetzungswürdige Teile

Generell können nicht-instandsetzungswürdige Artikel im Rahmen einer ABC-Analyse als B- bzw. C-Artikel eingestuft werden.

Die Überwachung der Bestandslage kann im Rahmen eines Bestandsüberwachungssystems kontinuierlich oder in bestimmten Zeitabständen erfolgen. Bei einer kontinuierlichen Prüfung wird bei Unterschreiten einer bestimmten Grenzmenge im Bestand eine Bestellung eingeleitet, die nach einer bestimmten Bearbeitungszeit geliefert wird (Bestellpunkt s). Eine Alternative wird als periodische Prüfung bezeichnet, bei der die Bestandslage nur in bestimmten, üblicherweise regelmäßigen, Zeitabständen T geprüft wird. Es ist auch möglich, diese beiden Vorgehensweisen zu kombinieren. Die gängigsten Bestellverfahren, die mit der Bestandsüberwachung verbunden sind, werden in Bild 6 dargestellt.

**Bild 6 – Grundsätze der Lagerbestandsführung**

Im Prinzip wird die Lagerbestandsführung von zwei Parametern bestimmt:

- Bestellzeitpunkt („Wann ist eine Bestellung abzusetzen?“)
 - a) Es wird eine Bestellung abgesetzt, wenn die Bevorratungshöhe unter eine bestimmte Grenzmenge fällt. Diese Grenzmenge wird als Bestellpunkt s bezeichnet.
 - b) Bei jedem Zeitintervall T wird eine Bestellung abgesetzt.
 - c) Es wird eine Bestellung abgesetzt, wenn sowohl Bestellpunkt als auch Zeitintervall T erreicht sind; nach jeder Zeiteinheit T wird eine Bestellung also nur abgesetzt, wenn der Bestand unter den Bestellpunkt s sinkt.
- Bestellmenge („Wie viel muss bestellt werden?“)
 - a) Es wird jedes Mal eine Menge Q bestellt, die als optimale Bestellmenge angesehen wird.
 - b) Es wird die Differenz S zwischen maximaler und tatsächlicher Bevorratungshöhe zum Zeitpunkt der Bestellung angefordert.

Der Grundsatz (S, T) hat den Nachteil schwankender Bestellmengen, die bei abnehmendem Verbrauch sehr kleine Bestellvolumina mit sich bringen können, so dass die mit dem Zulieferer ausgehandelten Auftragsbedingungen möglicherweise nicht mehr gelten. Die Vorgehensweise (Q, T) kann bei abnehmendem Verbrauch zu hohe Lagerbestände mit sich bringen, sie gilt allgemein als höchst unflexibel.

Grundsätze (Q, T) und (s, Q) führen bei kontinuierlichem und deterministischem Bedarf zu den gleichen Bestandsprozessen.

Somit beinhaltet das Verfahren für die Mengenbestimmung nicht-instandsetzungswürdiger Artikel die Festlegung von Bestellpunkt s und die maximale Bevorratungshöhe S.

6.2 Strategische (kritische, Sicherheits-) Ersatzteile

Da das Vorhalten großer Mengen von Ersatzteilen zu beträchtlichen Kosten führt, müssen weitere Faktoren bezüglich der Betriebsfähigkeit eines Systems untersucht werden, wie:

- schnellere Instandsetzungszeit, bzw. Vorlaufzeit,

- größere Zuverlässigkeit des Systems/Untersystems/Artikels,
- ein oder mehrere betriebsfähige Systeme.

Eine sehr wirksame Methode zur Untersuchung ist die Grenzkostenanalyse, bei der die Vorteile und Kosten verschiedener Alternativen durch die Prüfung einer stufenweisen Wirkung auf die Gesamteinnahmen und Gesamtkosten verursacht durch eine geringe Änderung (nur ein Teil) beim Ausgang bzw. Eingang einer jeden Alternative untersucht werden. Die Grenzkostenanalyse unterstützt den Entscheidungsprozess auf der Grundlage marginaler oder stufenweiser Änderungen an den Ressourcen statt einer Analyse auf der Grundlage von Gesamt- oder Durchschnittswerten.

In Situationen, in denen die zukünftige Fertigung von Ersatzteilen nicht gewährleistet ist oder Ersatzteile nur mit hohen zusätzlichen Kosten gefertigt werden können, kann es erforderlich sein, solche Teile über den geforderten Bestand hinaus als Sicherheitsreserve (Sicherheitsersatzteile) zu bevorraten.

6.3 Lagerhaltungssysteme

Ersatzteile können im Rahmen eines Lagerhaltungssystems zentral oder lokal vorgehalten werden. Größere Unternehmen/Organisationen wählen bei der Bevorratung der benötigten Ersatzteile in der Regel ein hierarchisch strukturiertes Lagerhaltungssystem. Bild 7 zeigt ein Beispiel für ein derartiges mehrstufiges System. An oberster Stelle steht der Ursprung in Form des Zentrallagers, die zweite Stufe kann das Land sein, an dritter Stelle steht die Region, die beiden letzteren sind Zwischenlager, schließlich kommt die vierte Stufe, die das lokale Lager vor Ort sein kann.

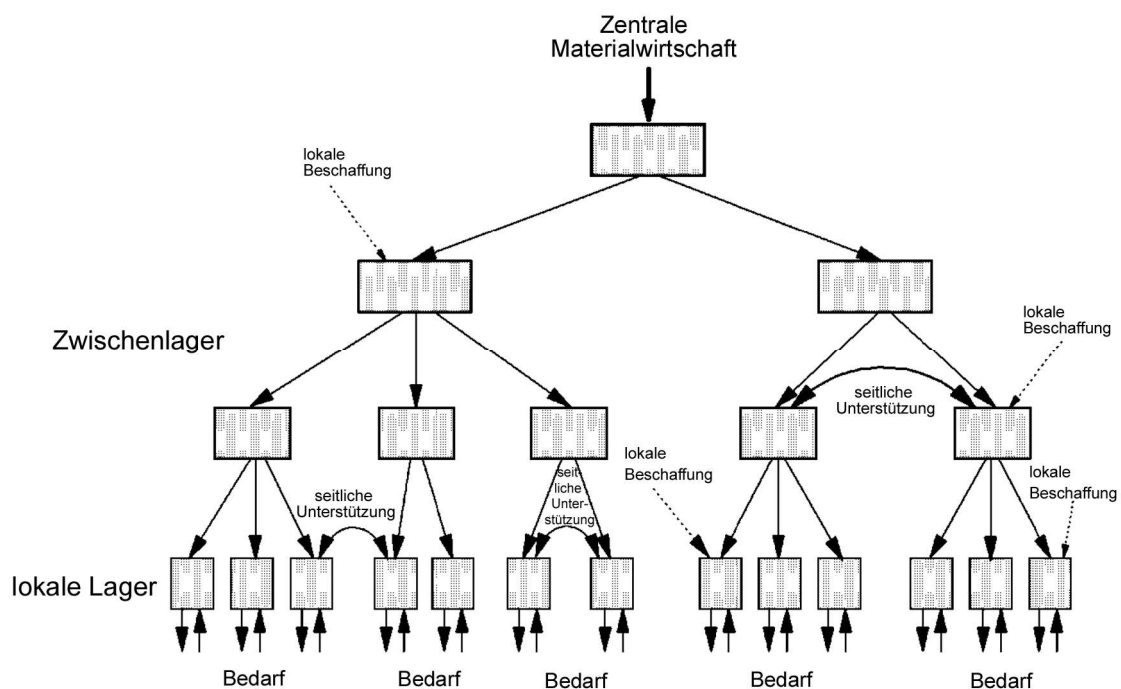


Bild 7 – Hierarchisch strukturiertes Lagerhaltungssystem

In einem solchen hierarchischen Lagerhaltungssystem wird der Bedarf ausgehend von der Basis kumuliert. Auf der Ebene, wo die Systeme/Geräte betrieben werden, gibt es für verschiedene Ersatzteile verschiedene Bedarfsquoten. Die Bedarfe auf der untersten Stufe können sich sporadisch ändern, wohingegen auf einer höheren Stufe, wo sie kumuliert werden, gleichmäßiger verteilt ist. Dieser Effekt ist zu berücksichtigen bei der Auswahl der entsprechenden Verteilung zur Berechnung der individuellen Bedarfsquoten, der Antwortzeiten und Transportzeiten vom liefernden Lager zum belieferten Lager.

In den traditionellen Lagerhaltungssystemen weiß die Leitung eines einzelnen Lagers nur, wo die betriebsbereiten Ersatzteile zu bestellen sind, und wohin die defekten Ersatzteile abzugeben sind. In solchen Situationen werden typischerweise hierarchisch strukturierte Lagerhaltungssysteme eingesetzt. Da üblicherweise computerunterstützte Informationssysteme verfügbar sind und auch im Lagerhaltungsmanagement

eingesetzt werden, sollte es für jeden Lagerleiter möglich sein, über die einzelnen Bevorratungsstände in den benachbarten Lagern Informationen zu erhalten um die Unterstützung flexibler zu gestalten. Beispiele sind Bild 7 zu ersehen, dort heißen sie „seitliche Unterstützung“.

Die Bewertungsmaßstäbe sind von der Spitze der Hierarchie nach unten zu berechnen. In vielen Fällen kann es besser sein, die Nachbestellungsgrundsätze festzulegen, um die erwartete Anzahl von Rückständen (EBO) oder die mittlere Wartezeit (MWT) zu minimieren, und eine Optimierung auf mehreren Ebenen anzuwenden, um die geeigneten Werte zu finden statt Erfüllungsquoten (FR) zu benutzen.

Durchschnittswerte der Bewertungsmaßstäbe (MoE) lassen sich auf verschieden Weise gruppieren, wie beispielsweise:

- alle Lagerpositionen an einem Standort (MoE je Standort),
- alle Lagerpositionen, die unmittelbar eine bestimmte Systemart an einem bestimmten Standort unterstützen,
- alle Lagerpositionen für einen bestimmten Stammartikel zur unmittelbaren Unterstützung von Systemen,
- alle Lagerpositionen, die Systeme unmittelbar unterstützen, also der absolute Bewertungsmaßstab aus Perspektive der Systemebene.

In der Lagerhaltungstheorie unterscheidet man zwischen folgenden Systemarten:

- Mehrprodukt-Systeme mit mehreren Beständen;
- Einzelprodukt-Systeme mit mehreren Beständen;
- Einzelprodukt-Systeme mit einem einzelnen Bestand.

In der Praxis finden sich Mehrprodukt-Systeme mit mehreren Beständen, die wie folgt charakterisiert werden können:

- In jedem Lager werden mehrere Artikel vorgehalten.
- Der Bedarf ist stochastisch und tritt in der Regel stoßweise auf.
- Die Lieferzeit ist stochastisch.
- Die Abfertigung erfolgt nach festgelegten Zeiträumen (täglich, wöchentlich, monatlich), entweder für jeden Artikel separat oder für mehrere Artikel eines Zulieferers zusammen.
- Die Materialwirtschaft erfolgt größtenteils kontinuierlich.
- Bei der Wahl der Abfertigungsverfahren werden langfristige Kostenaspekte berücksichtigt.

Bei der Gestaltung des Abfertigungsverfahrens werden Mehrprodukt-Systeme mit mehreren Beständen hilfsweise durch Einzelprodukt-Systeme mit einem einzelnen Bestand ersetzt, z. B. eine Geschäftskette unterhält für ihr Warensortiment (Mehrprodukt) jeweils zentrale, regionale und lokale Lager (mehrere Bestände); diese werden für jedes Produkt (Einzelprodukt) und jedes Lager (Einzelbestand) separat betrachtet. Dasselbe gilt für Ersatzteillager, die hierarchisch beliefert werden und verschiedene Ersatzteile vorhalten.

Diese Vereinfachung ist notwendig, da stochastisch-dynamische Mehrprodukt-Systeme mit mehreren Beständen meist nicht in ihrer ganzen Komplexität analytisch lösbar sind. Für Ersatzteillager erfolgt die Vereinfachung in zwei Schritten:

- Vereinfachung eines Mehrprodukt-Systems mit mehreren Beständen in einen Verbund von Einzelprodukt-Systemen mit mehreren Beständen unter Ermittlung der Zielmengen für die abhängigen Unterstützungslager.
- Vereinfachung des Einzelprodukt-Systems mit mehreren Beständen in ein Einzelprodukt-System mit einem Bestand zur Wahl des Abfertigungsverfahrens auf der obersten Bestandsebene.

Bild 8 enthält eine Übersicht der grundlegenden Einzelprodukt-Einzelbestand Modelle. Hierbei wird zwischen deterministischen und stochastischen Modellen unterschieden.

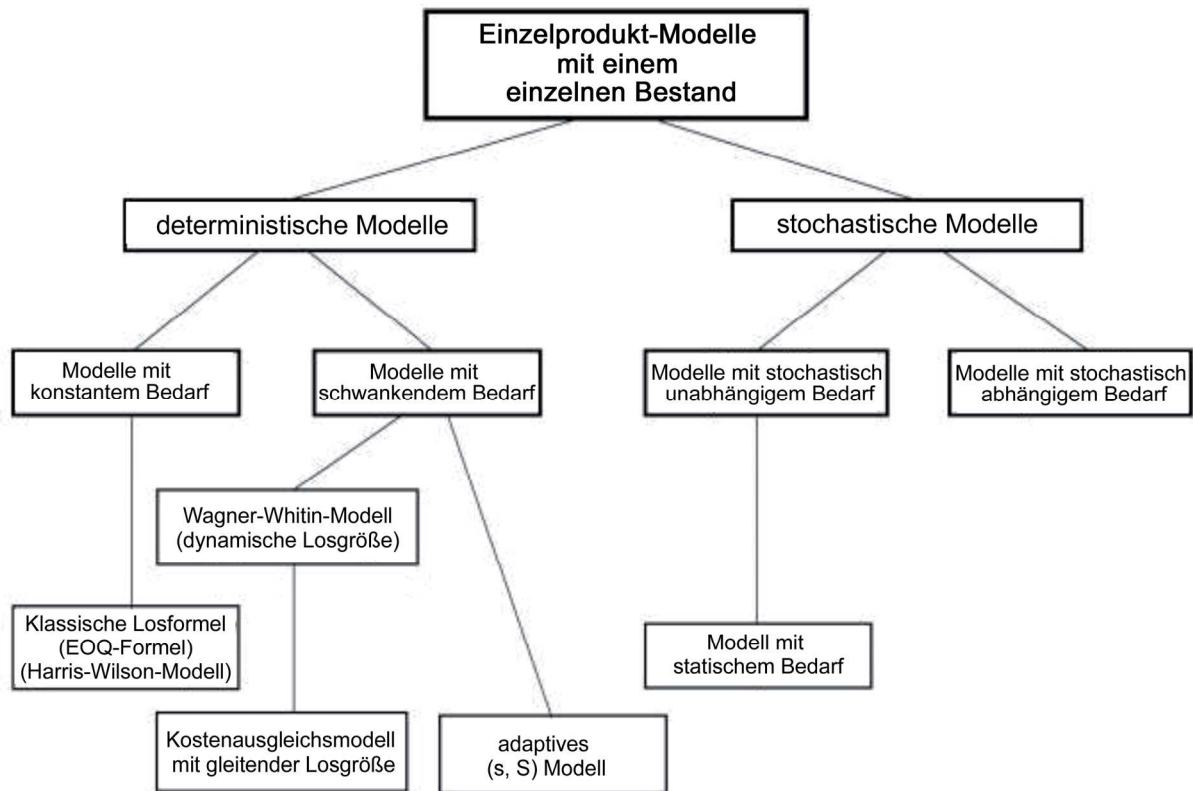


Bild 8 –Einzelprodukt-Modelle mit einem einzelnen Bestand

Mit Simulationsverfahren können Lösungen auch für hochkomplexe Anwendungen entwickelt werden, jedoch nur mit hohem Aufwand. Auch können die entwickelten Lösungen über den betrachteten Einzelfall hinaus oft nicht verallgemeinert werden.

6.4 Lagerhaltungsoptimierung

Viele Industriezweige wie Luft- und Raumfahrt, Kraftwerke und Herstellungsbetriebe, in denen komplexe Maschinen eingesetzt werden, stehen oft vor der schwierigen Aufgabe, eine hohe Systemverfügbarkeit aufrecht zu erhalten und gleichzeitig den Umfang der Ersatzteilbestände zu beschränken. Der zufällige Ausfall nur eines Bauteils kann dazu führen, dass das gesamte System nicht verfügbar ist. Da Unklarzeiten sehr teuer sein können, müssen Ersatzteilbestände diese Zeiten auf ein Minimum beschränken. Die Wahrscheinlichkeit, dass Teile nicht auf Lager sind, muss daher so niedrig wie möglich gehalten werden. Die meisten Teile sind jedoch recht kostenintensiv, daher sollte auch die Bevorratung unnötig vieler Ersatzteile vermieden werden.

Durch diese Vorgehensweise kann der Ersatzteilbestand so optimiert werden, dass mit minimalen Beständen eine maximale Verfügbarkeit unterstützt wird.

Grundsätze der Instandhaltung und Lagerhaltung für Ersatzteile dürfen nicht getrennt oder nacheinander abgehandelt werden, wie es in der Praxis oft vorkommt. Um die Verfügbarkeit von Ersatzteilen für ein laufendes System sicherzustellen, werden oft tendenziell zu viele Ersatzteile bevorratet. Übermäßige Bestandsmengen binden Kapital. Die Bevorratungshöhe von Ersatzteilen hängt hauptsächlich von den angewendeten Instandhaltungsgrundsätzen ab. Instandhaltungsprogramme sollten daher so angelegt sein, dass sowohl instandhaltungs- als auch lagerhaltungsbezogene Kosten verringert werden.

Bei der Minimierung der Gesamtbestandsinvestitionen handelt es sich um ein nichtlineares, diskretes Optimierungsproblem. Solche Probleme sind bekanntermaßen schwer zu lösen, selbst in vergleichsweise überschaubaren Fällen.

Anhang C gibt einen Überblick über Methoden zur Bestandsoptimierung.

Die Verfahren zur Optimierung im Hinblick auf nicht instandsetzungswürdige Teile können auch Lager- und Bestellkosten berücksichtigen, also Kosten für die Abwicklung der Bestellung. Das gesamte Bestellvolumen hängt dabei vom Bestellzyklus ab; welcher optimiert werden muss. Die wichtigsten Parameter der Gesamtkosten sind Lagerkosten, Mindestbestellmengen, mengenabhängige Preise und die Kosten für die Abwicklung der Bestellung.

Kostenoptimierung für nicht instandsetzungswürdige Teile strebt grundsätzlich eine optimale Bestellpolitik an, zum Beispiel optimale Bestellmenge und optimaler Bestellzeitpunkt in Übereinstimmung mit dem Lieferservice. Die Berechnung von Bestellmenge und Bestellzeitpunkt kann nur begrenzt unabhängig voneinander erfolgen. Große Bestellmengen führen bei gleichen Rahmenbedingungen zu größeren Lagersortimenten, größeren Beständen und weniger Bestellvorgängen als kleine Bestellmengen. Es gilt daher, Einflussfaktoren und Kosten des bestehenden Lagerhaltungssystems zu optimieren.

Die Optimierung für nicht instandsetzungswürdige Teile erfolgt dabei auf Grundlage von zwei Parametern des Bestandsmodells (siehe Bild 9), diese sind:

- Bestellmenge Q und
- Sicherheitsbestand SS .

Die Anzahl benötigter Ersatzteile kann anhand der prognostizierten Verbrauchsquote eines Artikels bestimmt werden. Der operative Vorrat wird so optimiert, dass die Gesamtkosten für:

- Lagerkosten,
- mittelbare (bestellmengenabhängige) Beschaffungskosten und
- unmittelbare Beschaffungskosten.

minimiert werden.

Die Bestellmenge Q beinhaltet

- operativen Vorrat,
- Vorrat verbraucht innerhalb der Nachschubdauer und
- Sicherheitsbestand.

Der Sicherheitsbestand bestimmt sich anhand eines festgelegten Systemverfügbarkeitsgrades unter Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Er wird für jeden nicht instandsetzungswürdigen Artikel so bestimmt, dass die Lagerkosten bei Annahme einer vorgegebenen mittleren Wartezeit minimiert werden.

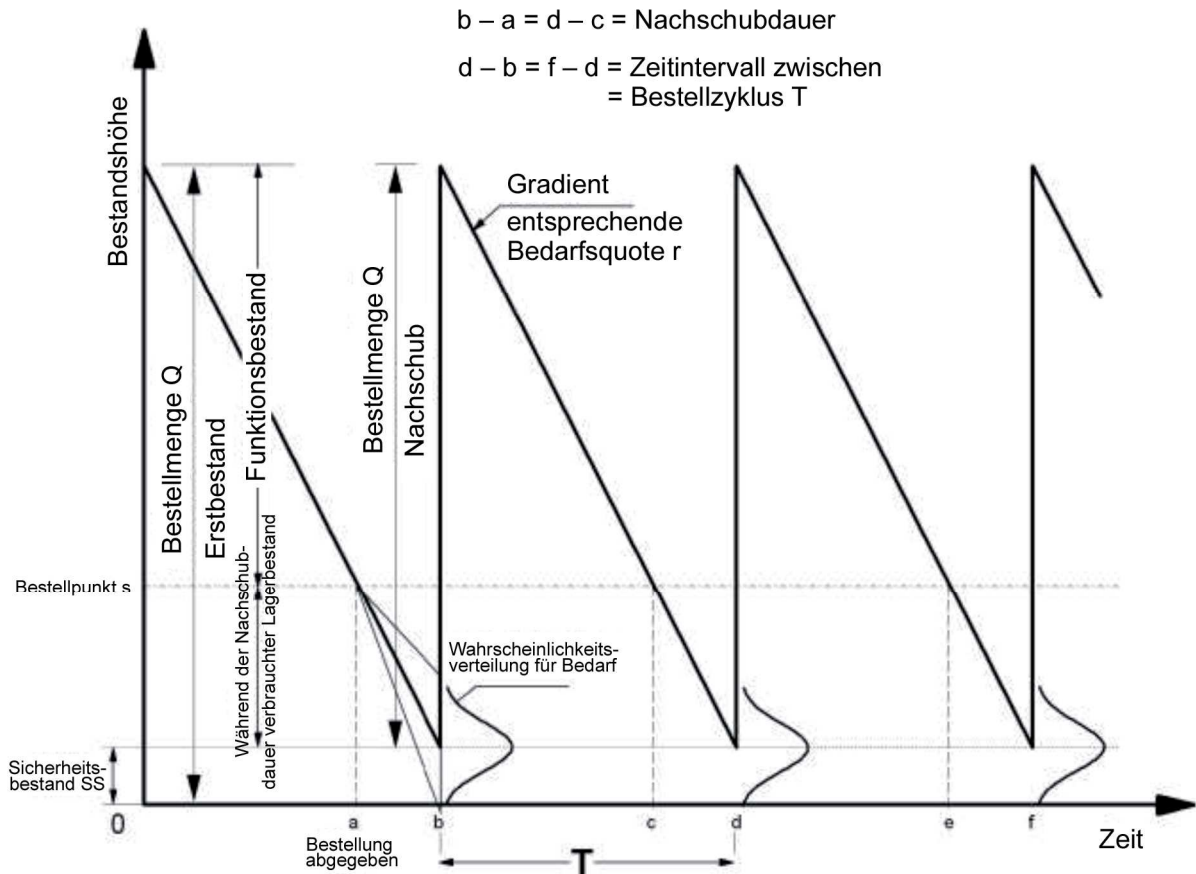


Bild 9 – Idealisiertes Lagerhaltungsmodell für nicht-instandsetzungswürdige Artikel

Der Sicherheitsbestand an Ersatzteilen bildet einen Puffer, durch den die Lieferverfügbarkeit bei Schwankungen im Verbrauch bzw. bei Austauschzeiten gewährleistet wird. Sicherheitsbestände sind notwendig, um die Lieferverfügbarkeit und somit die Systemverfügbarkeit aufrecht zu erhalten. Gleichzeitig verursachen sie aber auch Lagerkosten. Daher ist es erforderlich, ein optimales Verhältnis zwischen dem Umfang der Sicherheitsbestände und den Lagerkosten herzustellen.

7 Dokumentation der Ersatzteile

7.1 Grundsätze und Ziele

Im Idealfall verfügen alle bestellten Ersatzteile über eine eindeutige Identifikation, anhand derer klar ersichtlich wird, zu welchem Gerät, welcher Baugruppe oder Unterbaugruppe sie gehören. Während des Bevorratungsverfahrens sollte ein Code erstellt und jedem Teil zugeordnet werden. Dieser Code ist die Verbindung zwischen der Analyse der Unterstützbarkeit und dem Nutzer, für den er den zugelassenen Instandhaltungsplan definiert.

Ersatzteilkataloge bzw. -listen sind von wesentlicher Bedeutung für die Instandsetzung und stellen die Verbindung zwischen dem Einbauort des Artikels im Produkt und der eindeutigen Kennung für die Unterstützbarkeit dar.

Der Ersatzteilkatalog und/oder die Ersatzteillisten stellen üblicherweise eine vertragliche Forderung für die Lieferung an den Auftraggeber dar. Sie sollten so ausgelegt sein, dass sie der vom Auftraggeber oder von anderen Instandsetzungsorganen durchzuführenden Instandsetzung angepasst sind.

7.2 Bebildeter Teilekatalog (IPC)

Eine allgemeine Herangehensweise an die Datenerfassung stellt der technische Aufbruch in Zerlegereihenfolge dar, wobei alle Baugruppen und ihre einzelnen Bauteile sowie andere Einzelteile, die keiner Baugruppe zugeordnet werden können, gemäß den entsprechenden technischen Zeichnungen und Stücklisten identifiziert werden. Die Festlegung der Reihenfolge dieser Artikel erfolgt anhand der eindeutigen Kennung, und diese Praxis ermöglicht die Erstellung des Ersatzteilkatalogs aus denselben Daten. Der technische Aufbruch wird bis zu der Ebene vorgenommen, die dem Instandhaltungsplan des Auftraggebers entspricht.

Neben dem technischen Aufbruch werden auch folgende Angaben aufgeführt:

- Ausgangsmaterial,
- Verbrauchsgegenstände,
- Instandsetzungssätze,
- Versand-, Lagerungsteile.

Falls erforderlich, sollten die Erstbeschaffungsdaten so aufbereitet werden, dass sie für mehr als einen Auftraggeber, der das gleiche System/Gerät nutzt, verwendet werden können. Unterschiedliche Konfigurationsstandards können problemlos identifiziert und die kundenspezifischen Daten auf einer Liste zusammenfasst werden.

Wenn für zwei oder mehr Auftraggeber unterschiedliche Aufbrüche erforderlich sind, muss bei Erfassung und Aufbereitung der Erstbeschaffungsdaten die maximal erforderliche Aufgliederung vorgenommen werden.

Ein Datenverzeichnis (Beispiel siehe Anhang D) enthält alle erforderlichen Datenelemente, um die verschiedenen Informationsarten abzudecken, die möglicherweise für einen zusammengesetzten Artikel bereitgestellt werden müssen. Bei der Erstellung eines Verzeichnisses dürfen allerdings nur artikelrelevante Daten bereitgestellt werden; dafür müssen die Datenelemente so kategorisiert werden, dass die passenden Datenelemente logisch und ordnungsgemäß ausgewählt werden können.

Bei dieser Kategorisierung werden Datenelemente in drei Gruppen unterteilt:

- obligatorische Datenelemente, die für die Erstellung eines Datensatzes wichtig sind
- bedingte Datenelemente, die je nach Art des Datensatzes verwendet werden,
- fakultative Datenelemente, die durch besondere Vereinbarungen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer eingeführt werden

Bei der Erstellung wird die Kategorisierung für teil- und positionsbezogene Daten ermittelt. Dadurch wird angezeigt, ob ein Datenelement für einen bestimmten Artikel an jedem Einbauort des Artikels identisch ist (teilbezogen), oder ob es für einen bestimmten Artikel unterschiedliche Werte haben kann und für jeden Einbauort separat festgehalten werden muss (positionsbezogen). Der mittlere Ausfallabstand beispielsweise kann an verschiedenen Einbauorten identisch sein oder abweichen.

Für die Datenerfassung werden Informationen aus technischen Zeichnungen, Stücklisten und anderen zugehörigen Datenquellen zur Produktdefinition verwendet und mit entsprechend zugeordneten Datenelementen in Erstbeschaffungsdatenverzeichnissen strukturiert. Der hierarchische Aufbruch muss sich in der Struktur der Erstbeschaffungsdaten widerspiegeln, indem der technische Zusammenhang zwischen Baugruppe und Bauteilen als logische Folge von Aufbrüchen von Artikeln dargestellt wird. Dieser Zusammenhang wird anhand des Kaskadenkodes der Datenelemente ermittelt; dabei handelt es sich um einen zugewiesenen numerischen Code, der die unterschiedlichen Aufbruchsebenen anzeigt. Kaskadenkode 1 zeigt die erste Einrückstufe an, danach Stufe 2 usw. Für alle Artikel sollte die Anzahl je nächst höherer Baugruppe angegeben werden, also die Anzahl von Artikeln, die in einer Einheit der nächsthöheren Baugruppe verbaut sind.

In der Darstellung der Ersatzteilliste kann die übergreifende Datenstrukturierung durch eine bestimmte Kapiteleinteilung festgelegt werden. Viele Industriezweige wie Luftfahrt, Eisenbahn und Kraftfahrzeugtechnik haben eine Standardkapiteleinteilung eingeführt. Diese gibt die Kapitel und Unterkapitel vor, in die die Daten einzuteilen sind, und liefert somit Vorgaben für die ersten Zeichen der eindeutigen Kennung. Zur Festlegung der Werte für die übrigen Zeichen der eindeutigen Kennung wird bei der weiteren Unterteilung in nachgeordnete Unterkapitel, Abschnitte und Abbildungen insbesondere auf den Inhalt jedes Unterkapitels