

gwi
gaswärme
international

Zeitschrift für gasbeheizte Thermoprozesse

SCHWERPUNKT

Thermoprosesstechnik

ISSN 0020-9384

www.gaswaerme-online.de

Sonderdruck

 Vulkan-Verlag

AICHELIN
Group

Ersatzteilbedarfsplanung für Thermoprossanlagen

von Hartmut Steck-Winter,
Carsten Stölting

www.aichelin.com
www.aichelin-service.de

Bericht erschienen in der gwi gaswärme international 3/2016

Vulkan-Verlag GmbH, Essen (Germany)

Editor: Dipl.-Ing. Stephan Schalm, Tel. +49 201 82002-12, E-Mail: s.schalm@vulkan-verlag.de

Ersatzteilbedarfsplanung für Thermoprozessanlagen

von **Hartmut Steck-Winter, Carsten Stöling**

Für den dauerhaften effizienten Betrieb einer Thermoprozessanlage spielt die Instandhaltung und dabei besonders die Ersatzteilbedarfsplanung eine wichtige Rolle. Die Klassifizierung der Bauteile einer Anlage in von ihrer Ausfallcharakteristik gekennzeichneten Ersatzteiltypen erleichtert eine bedarfsgerechte Ersatzteilbedarfsplanung. Zusammen mit der Ausfallwahrscheinlichkeit, der Anzahl gleicher Bauteile in den Anlagen und der Wiederbeschaffungsdauer sind sie die wesentlichen Parameter der Ersatzteilbedarfsprognose. Die Bedarfsprognose ist der ausschlaggebende Prozess, alle nachfolgenden Planungsprozesse bauen auf deren Ergebnissen auf. Je besser die Prognose bereits bei der Erstausrüstung, desto bedarfsgerechter der Lagerbestand, umso geringer die Kosten. Die tatsächlichen Bedarfe an Verbrauchs- und Verschleißteilen ergeben sich aus den Wartungsplänen bzw. den Zustandsinspektionen.

Spare parts requirements planning for thermal processing plants

For the permanent efficient operation of a thermal processing plant maintenance and particularly the need for spare parts planning plays an important role. Components are marked by their failure characteristics. An appropriate classification enables tailored spare parts requirements planning. Along with the failure probability, the number of identical components in the systems and the replacement period, they are the essential parameters of the spare parts demand forecast. The demand forecast is the decisive process, all subsequent planning processes build on it. The better the initial demand forecast, the more need-based is the stock, the lower the costs. The actual needs for consumable and wearing parts are derived from the maintenance plans, respectively the actual components condition during an inspection.

Dieser Fachbeitrag beschäftigt sich mit einem Teilgebiet des Ersatzteilmanagements, der Ersatzteilbedarfsplanung. Der Anfangsteil des Beitrags widmet sich der Theorie, die dann im Kapitel methodische Ersatzteilbedarfsplanung zur praktischen Anwendung kommt. Es wird versucht, Antworten auf die folgenden drei häufig gestellten Fragen zu geben: (1.) Welche Ersatzteiltypen gibt es? (2.) Welche Ausfallcharakteristik liegt den Ersatzteiltypen zugrunde? (3.) Welche und wie viele Ersatzteile werden benötigt? Die Fragen stellen sich aus gutem Grund. Ersatzteile werden benötigt, weil Bauteile entweder unerwartet ausfallen oder durch Alterung und Verschleiß ihre Funktionstüchtigkeit verlieren. Der Bedarf hängt von der zum Planungszeitpunkt ermittelten Überlebenswahrscheinlichkeit bzw. Ausfallwahrscheinlichkeit der Bauteile ab [1]. Grundvoraussetzung ist dabei die Prognosefähigkeit,

also die Kenntnis der Ausfallcharakteristik und der Lebensdauerwerte der betrachteten Bauteile.

ERSATZTEILDEFINITIONEN

Ersatzteile sind in Anlehnung an DIN 24420 dazu bestimmt, beschädigte, verschlissene oder fehlende Teile, Gruppen oder Erzeugnisse eines Primärprodukts zu ersetzen. Als Primärprodukt wird die Maschine oder Anlage bezeichnet, um deren Instandhaltung es geht. Um sich dem Thema Ersatzteilplanung anzunähern, sollte sich zu Beginn daher kurz die Struktur des Primärprodukts, hier im konkreten Fall einer Thermoprozessanlage (**Bild 1**), vergegenwärtigt werden.

Bauteilstruktur im Primärprodukt

In einer typisch hierarchischen Produktstruktur besteht eine Anlage (das Primärprodukt) mit steigender Komplexität



Bild 1: Inspektion einer Thermoprozessanlage

aus Kleinteilen, Einzelteilen, Bauteilen, Baugruppen und Anlagenteilen.

Kleinteile und Normteile sind kleine Kaufteile von geringem Wert, meist genormt. Einzelteile können i. d. R. nicht zerstörungsfrei weiter zerlegt und repariert werden oder die Reparatur lohnt sich nicht. Bauteile sind eine Gruppe von Einzelteilen, die zusammen eine funktionale Einheit bilden. Bauteile sind meist, aber nicht immer, Katalogwaren eines OEM. Baugruppen sind eine Gruppe von miteinander verbundenen Einzelteilen und Bauteilen, die als zusammenhängende (funktionale) Einheit in ein Anlagenteil eingehen.

Speziell für Thermoprozessanlagen gibt es noch zwei weitere wichtige Unterteilungen: Bauteile innerhalb und Bauteile außerhalb der Ofenanlage. Für die nach der Anzahl weit überwiegenden Bauteile außerhalb des Ofens gelten die Bedingungen des Allgemeinen Maschinen- und Anlagenbaus, ggf. mit etwas erschwerten Umgebungsbedingungen. Ausgefallene Bauteile außerhalb des Ofens können i. d. R. schnell ersetzt oder repariert werden. Für Bauteile im Ofen gelten andere Regeln. Verschleiß verläuft wesentlich schneller ab und Bauteilausfälle sind meist mit gravierenden Folgen verbunden, da die Ofenanlage vor der Reparatur entgast und abgekühlt werden muss. Auf diese Besonderheit wird im Weiteren noch eingegangen.

Ersatzteiltypen

Damit können wir uns nun den Ersatzteiltypen zuwenden. Schon lange vor der Bedarfsprognose stellt sich nämlich die Frage: Welche Ersatzteiltypen gibt es, um ausgefallene oder verschlissene Teile oder Baugruppen des Primärprodukts zu ersetzen? Nicht nur bei Instandhaltern gehen die Meinungen darüber weit auseinander.

Um diese Frage beantworten zu können, muss ein Blick auf die Ersatzteildefinitionen geworfen werden. Die wohl grundlegendste Definition in DIN 13306 „Begriffe der Instandhaltung“ unterscheidet Ersatzteile in Reserveteile bzw. Austauschteile und Verbrauchsteile. Ähnlich, aber nicht identisch, werden in DIN 31051 „Grundlagen der Instandhaltung“ Ersatzteile in Reserveteile, zeitbegrenzte Teile, Verschleißteile und Kleinteile differenziert.

Wie in **Bild 2** dargestellt, werden in der Instandhaltungspraxis Ersatzteile zuerst in Katalogteile oder Konstruktionsteile unterschieden. Katalogteile sind Standardteile mit typischerweise mehreren Lieferantenalternativen. Kons-

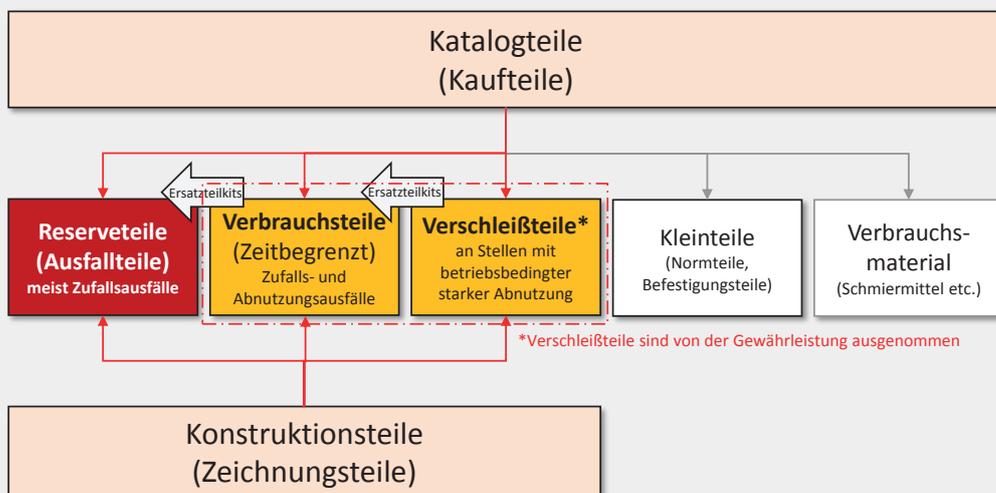


Bild 2: Ersatzteildefinitionen

truktionssteile, synonym auch Zeichnungssteile genannt, werden beim Anlagenhersteller konstruiert und in der Regel auch gefertigt.

Sowohl Konstruktionssteile als auch Katalogteile können Reserveteile, Verbrauchsteile und Verschleißteile, ggf. auch noch Kleinteile und Verbrauchsmaterial sein.

Für diese Differenzierung gibt es, wie im Folgenden ausgeführt, gute Gründe.

Reserveteile bzw. Ausfall- oder Austauschsteile

Reserveteile bzw. Austauschsteile (nach DIN 31051 „Grundlagen der Instandhaltung“ bzw. DIN 13306 „Begriffe der Instandhaltung“) werden für ausfallkritische Bauteile vorgehalten, um diese bei einem Ausfall umgehend ersetzen zu können. Die charakteristische Lebensdauer von Reserveteilen entspricht mit i. d. R. deutlich mehr als zehn Jahren häufig der des Primärprodukts bzw. übertrifft diese sogar.

Reserveteile können elektronische, elektromechanische sowie mechanische Bauteile oder Baugruppen sein. Typische elektromechanische oder mechanische Reserveteile sind Getriebemotoren (Bauteil) oder Gasumwälzer (Baugruppe). Typische elektronische Reservebauteile sind Näherungsschalter, Frequenzumrichter oder SPS-Baugruppen.

Der konkrete Ausfallzeitpunkt eines Reserveteils lässt sich nicht vorhersagen, wohl aber seine Ausfallwahrscheinlichkeit. Oft ist auch keine zustandsorientierte Instandhaltung möglich, da es keine inspizierbare Abnutzung gibt.

Allerdings enthalten viele Reserveteile wiederum Verbrauchs- und Verschleißteile, z. B. das Rollenlager in einem Gasumwälzermotor. Solche Reserveteile können auch repariert werden, um dann erneut als Reserveteile zur Verfügung zu stehen. Für die im Reserveteil enthaltenen Verbrauchsteile ist dann manchmal auch eine zustandsorientierte Instandhaltung oder ein Condition Monitoring möglich.

Reserveteile sind meist hochwertig. In der Regel werden daher nur so viele Reserveteile bevorratet, um die Instandsetzungszeit (Wiederbeschaffungs- oder Reparaturzeit) zu überbrücken. Im Bedarfsfall sollte aber mindestens ein Reserveteil am Lager vorhanden sein.

Verbrauchsteile bzw. zeitbegrenzte Teile

Verbrauchsteile, beispielsweise Rollenlager, sind (nach DIN 13306) Teile, die sich durch Gebrauch abnutzen. Verbrauchsteile werden (in DIN 31051) auch zeitbegrenzte Teile genannt. In der Literatur (und in diesem Beitrag) werden beide Bezeichnungen verwendet.

Ihre charakteristische Lebensdauer ist im Vergleich zu Reserveteilen mit i. d. R. weniger als 10 Jahren deutlich geringer. Die voraussicht-

liche Restlebensdauer lässt sich im besten Fall bei einer Zustandsinspektion vorhersagen (im Gegensatz zu den meisten Reserveteilen). Typischerweise steigt die Ausfallwahrscheinlichkeit mit der Gebrauchsdauer an. Verbrauchsteile werden i. d. R. im Rahmen von Wartungen präventiv (zeit- oder zustandsabhängig) ausgetauscht.

Verschleißteile

Verschleißteile, z. B. Gleitschienen, sind eine Untermenge der zeitbegrenzten Teile. Sie werden (nach DIN 31051) an den Stellen eingesetzt, an denen betriebsbedingt eine hohe Abnutzung auftritt, um dadurch andere Bauteile zu schützen. Verschleißteile sind schon vom Konzept her für den Austausch vorgesehen.

Die charakteristische Lebensdauer von Verschleißteilen mit i. d. R. weniger als zwei Jahren liegt typischerweise unterhalb der üblichen Gewährleistungsdauer „normaler“ Bauteile. Verschleißteile sind daher oft von der Gewährleistung ausgeschlossen. Der eindeutigen Definition und Abgrenzung der Verschleißteile zu „normalen“ Verbrauchsteilen kommt demzufolge eine besondere Bedeutung zu.

Verschleißteile können noch weiter in Verbrauchsmaterial (Druckerpatronen, Reinigungsmittel, Schmiermittel, Klebstoffe etc.) differenziert werden.

Reparatursets

Die horizontalen Pfeile in Bild 2 sollen zeigen, dass reparierbare Reserveteile häufig Verbrauchsteile oder Verschleißteile beinhalten. Reparatursets sind wichtige Komponenten in der Ersatzteilbedarfsplanung, da hochwertige Reserveteile



Bild 3: Ersatzteileset eines Noxmat-Gasbrenners

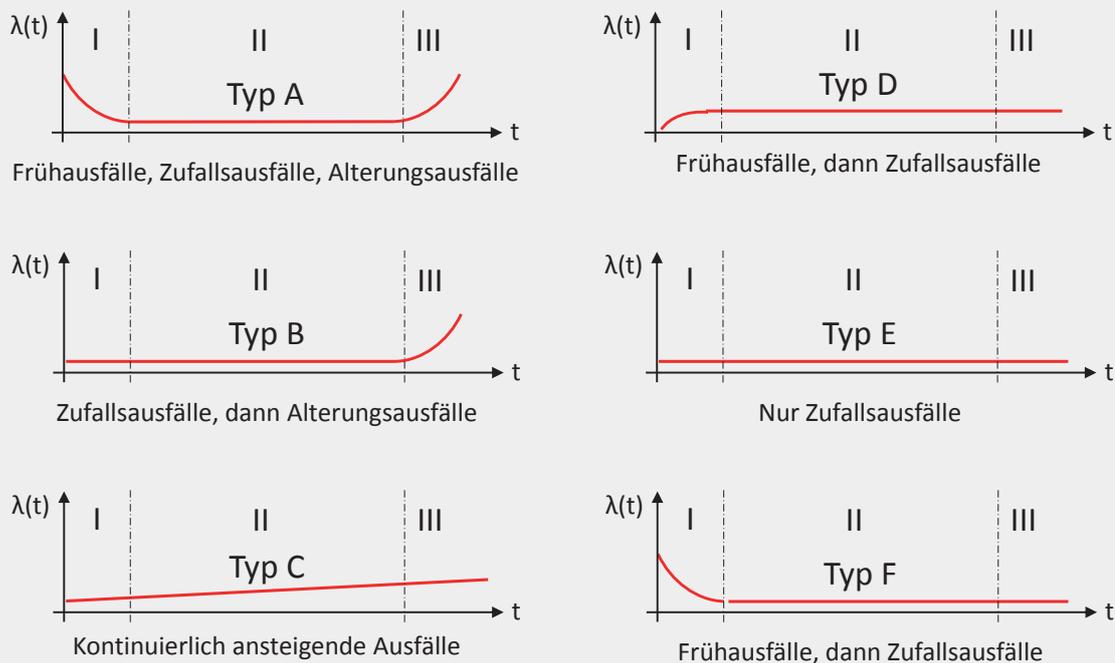


Bild 4: Charakteristische Verläufe der Ausfallrate

häufig preisgünstig repariert werden können und danach wieder als vollwertige Reserveteile zur Verfügung stehen.

In **Bild 3** ist beispielsweise das Ersatzteileset „Brennerwartung mit neuer Zündelektrode“ für einen Noxmat-Gasbrenner Typ RHGB 15 dargestellt. Neben der Zündelektrode beinhaltet das Set alle Dichtungen, die für eine Brennerwartung benötigt werden.

LEBENSDAUER UND AUSFALLCHARAKTERISTIK EINES BAUTEILS

Mit der Typisierung eines Bauteils als Reserveteil, Verbrauchsteil oder Verschleißteil ist jedoch noch nicht viel über die voraussichtliche Lebensdauer gesagt. Die berechtigte Frage der Instandhalter nach der erwartbaren Lebensdauer eines Bauteils ist also bisher nicht beantwortet. Um sich einer Antwort anzunähern, müssen wir uns mit der Ausfallrate und (anschließend auch) mit den Lebensdauerdaten befassen.

Definition Lebensdauer und Ausfall

Mit Lebensdauer ist diejenige Zeit gemeint, welche ein einzelnes Bauteil einer Anlage, ohne den Ausfall von Funktionen, welche die Nutzung beeinträchtigen, überlebt. Von einem Ausfall wird gesprochen, wenn ein bestimmtes Bauteil seine spezifizierten Funktion nicht mehr erfüllt. Dies können zum einen ein plötzlicher totaler Funktionsverlust (Sprungausfall) oder zum anderen eine schleichende Verringerung der Funktionserfüllung (Driftausfall) über einen

gesetzten Grenzwert (also das Ausfallkriterium) hinaus sein. Das Bauteil wird zustandsabhängig erst dann ersetzt, wenn der festgelegte Grenzwert überschritten wird. Beispielsweise kann ein Gasumwälzer in einem Anlassofen seine Funktionsfähigkeit auch dann verlieren, wenn das Lüfterrad wegen Anbackungen nicht mehr die volle Umwälzmenge fördert.

Ausfallrate

Ist der Ausfall hinreichend definiert, kann im nächsten Schritt die Ausfallrate bzw. die Ausfallcharakteristik betrachtet werden. Trägt man die Ausfälle einer Gruppe identischer Bauteile auf einer Zeitskala auf, solange bis alle Teile ausgefallen sind, dann wird sich einer der in **Bild 4** dargestellten prinzipiellen Verläufe der Ausfallrate ergeben.

Verläufe der Ausfallrate

Bild 4, Typ A entspricht dem klassischen Verlauf der Ausfallrate. Sie kann als Kombination mehrerer unterschiedlicher Ausfallmuster aufgefasst werden. Die sogenannte Badewannenkurve unterteilt den Lebenszyklus in eine Phase der Frühhaussfälle (I), darauf folgt die Phase der Zufallsausfälle (II). Mit zunehmender Gebrauchsdauer beginnt die letzte Phase der Alterungsausfälle (III). Die Ausfallrate steigt dann an.

Diese Sichtweise ist aber bestenfalls nur die halbe Wahrheit. Tatsächlich ist die Badewannenkurve eher die Ausnahme als die Regel, wie sich in empirischen Studien schon vor mehr als 20 Jahren zeigte [2]. Deutlich häufiger

(ca. 2/3 der Gesamtheit) kommen Verläufe der Ausfallrate ohne Alterungsausfälle vor.

Die charakteristischen Verläufe der Ausfallrate sind insofern ein Spiegelbild der Ersatzteiltypen. Reserveteile zeigen Verläufe der Ausfallrate nach Typ C, D, E oder F, Verbrauchs- und Verschleißteile nach Typ A oder B. Bei Verschleißteilen sind die Phasen I und II sehr kurz oder nicht vorhanden.

Frühausfälle (Phase I)

Frühausfälle (in Typ A und F) werden zum größten Teil durch fehlerhafte Bauteile verursacht, die meist noch vor der Auslieferung erkannt werden. Im Anlagenbetrieb kommen Frühausfälle daher nur noch selten vor. Wenn aber, dann sind sie besonders ärgerlich, obwohl die Instandhaltung meist nichts dafür kann.

Zufallsausfälle (Phase II)

Zufallsausfälle mit konstanter Ausfallrate kommen während der Nutzungszeit jedes Bauteils vor. Es muss immer (auch in Phase I und III) mit zufälligen Ausfällen gerechnet werden, die meist durch äußere Einflüsse verursacht werden.

Bei Reserveteilen sind Ausfälle nahezu immer Zufallsereignisse. Konstante Ausfallraten (nach Typ D, E und F) haben das Prinzip der Vergangenheitslosigkeit. Wie lange ein Bauteil schon fehlerfrei funktioniert hat, hat keinen Einfluss auf das weitere Ausfallverhalten.

Mit dem Begriff „Zufallsausfall“ tun sich die meisten Instandhalter schwer. Dieser Begriff sollte auch nicht zu wörtlich genommen werden. Gemeint sind alle Ausfälle ohne systematische Ursachen, also alles andere nur nicht Abnutzung und Verschleiß.

Alterungsausfälle und Verschleiß (Phase III)

Verbrauchs- und Verschleißteile zeigen typischerweise Ausfallraten nach Typ B und C. Mit zunehmender Zyklusfrequenz bzw. Betriebszeit treten zunehmend Verschleißausfälle auf.

Die wichtigsten technisch-physikalischen Beanspruchungsparameter sind Kraft, Geschwindigkeit, Temperatur, Werkstoff und Beanspruchungsdauer. Der eingetretene Verschleiß wird meist durch Bauteilersatz beseitigt, die Beanspruchungsdauer beginnt dann wieder neu. Verschleiß an Bauteilen im Inneren einer Thermoprozessanlage wird durch thermochemische Vorgänge¹ erheblich beschleunigt. Ofenbautypische Bauteile, beispielsweise Ofenmauersteine oder Gasumwälzer, zeigen eine Ausfallrate nach Typ B, wobei Phase I und II sehr kurz bis nicht vorhanden sind. Aufgrund der sehr individuellen Einsatzbedingungen von Thermoprozessanlagen können die Ausfallraten selbst beim Einsatz in gleichartigen Anlagen sehr unterschiedlich sein.

¹ Die Ursachen sind vielfältig, dazu gehören Abrasion, Erosionsverschleiß, Kavitation, Materialermüdung, Reibung, Störgrößen wie Vibration, Tribochemie etc.

Relevanz der Ausfallrate für die Instandhaltung

Die Ausfallraten von meist elektronischen Bauteilen werden in speziellen Normen, z. B. in der MIL-HDBK-217F2 oder SN29500, gelistet. Sammlungen mit Ausfallraten für im Maschinenbau typische Bauteile gibt es nach Kenntnis der Autoren derzeit jedoch leider nicht. Schon gar nicht für Ofenbauteile.

Für die Instandhaltungspraxis von Thermoprozessanlagen haben Ausfallraten daher wenig Relevanz, sie helfen aber Lebensdauer und Ausfallcharakteristik eines bestimmten Bauteils besser zu verstehen.

ZUVERLÄSSIGKEITS- UND LEBENS-DAUERANGABEN

Kein Produkt ist für die Ewigkeit bestimmt. Alle Bauteile haben zuzusagen eine ihnen inhärente Ausfallcharakteristik und charakteristische Lebensdauer. Solche Lebensdauerangaben in Produktkatalogen sind sowohl für die Konstruktion als auch die Instandhaltung wichtige Informationen. Leider sind auch diese Daten nur sehr lückenhaft vorhanden. Die kooperative Erfassung der Lebensdauerwerte, besonders von Ofenbauteilen, wird daher an Dringlichkeit zunehmen [3].

Zu beachten ist, dass Zuverlässigkeits- und Lebensdauerangaben nie für ein einzelnes Teil gelten, sondern immer ein statistischer Wert, also keinesfalls Mindestwerte oder gar Garantiewerte für ein einzelnes Teil sind!

Zuverlässigkeit und Lebensdauer variieren darüber hinaus sehr stark mit den Betriebsbedingungen, insbesondere Beanspruchung, Taktzeit, Temperatur und den Umgebungsbedingungen. Dies gilt besonders für Ofenbauteile. Trotzdem ist es nach Ansicht der Autoren besser, mit den bauteilinhärenten Richtwerten zu arbeiten, als sich alleine auf die individuelle Erfahrung zu verlassen.

MTTF und MTBF

MTTF und MTBF sind übliche Lebensdauerangaben für i. d. R. nicht verschleißbehaftete Bauteile (Reserveteile) während der Nutzungszeit mit konstanter Ausfallrate.

Die Mean Time to Failure (MTTF) ist der Erwartungswert der mittleren Zeit, bei dem ca. 2/3 der betrachteten Bauteile ausgefallen sind. Je höher die MTTF, desto zuverlässiger sind die Bauteile.

Die Mean Time between Failure (MTBF) ist das Äquivalent zur MTTF für reparierbare Bauteile. Die MTBF schließt also die mittlere Reparaturzeit (MTTR) mit ein. In der Praxis können die MTBF-Werte mit den MTTF-Werten gleichgestellt werden ($MTBF + MTTR = MTTF$), weil die mittlere Reparaturzeit (MTTR) in Relation zur MTBF meist nicht ins Gewicht fällt.

MTTF-/ MTBF-Werte werden für im Maschinenbau und der Elektrotechnik typische Bauteile oft im Bereich von 50-100 Jahren oder mehr angegeben.

B₁₀-Wert

Der B₁₀-Wert ist ein Erwartungswert in Zyklen/Schaltspielen für i. d. R. Verbrauchsteile, bei dem 10 % der Bauteile ausgefallen sind.

B₁₀-Werte sind übliche zyklenabhängige Lebensdauerangaben für Bauteile, deren Abnutzung in der Praxis aber ohne deren Zerlegung nicht inspizierbar ist, beispielsweise Magnetventile oder Pneumatikzylinder.

Unter Annahme einer mittleren Schalthäufigkeit wird der B₁₀-Wert in der Praxis oft in einen einfacher handhabbaren B₁₀-Zeitwert bzw. in die charakteristische Lebensdauer umgerechnet.

Weibull-Exponentialverteilungsfunktion

Alle Kurvenverläufe der Ausfallrate lassen sich (getrennt für jede Phase) mathematisch mit Exponentialverteilungsfunktionen darstellen. Die Weibull-Verteilung² als Verallgemeinerung der Exponentialverteilungsfunktion hat in der industriellen Anwendung eine weite Verbreitung.

Die Weibullfunktion ist für die Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit für alle Ersatzteiltypen gut geeignet. Die kennzeichnenden Parameter sind die charakteristische Lebensdauer T und der Formfaktor b für die Ausfallcharakteristik.

Die charakteristische Lebensdauer T ist die Zeit, bis zu der ca. 2/3 (rechnerisch exakt 63,2 %) einer Betrachtungseinheit ausgefallen sind³. Für ofentypische Bauteile, bei denen die Lebensdauer überschaubar ist, kann die charakteristische Lebensdauer oft schon aus der eigenen Erfahrung geschätzt werden. Die charakteristische Lebensdauer ist dann auch ein Abbild der eigenen Vergangenheitsbedarfe⁴!

Die Ausfallcharakteristik, synonym auch Ausfallsteilheit genannt, wird durch den Formfaktor b zum Ausdruck gebracht. In der Nutzungsphase (II) mit konstanter Ausfallrate ist b = 1. In der Verschleißphase (III) steigt die Ausfallrate mit b > 1 an.

Bei Reserveteilen (mit nur Zufallsausfällen) ist der Formfaktor i. d. R. = 1, bei Verbrauchsteilen in der Verschleißphase ca. 2 und bei Verschleißteilen in der Verschleißphase > 3. Für die unvermeidlichen Zufallsausfälle, die auch bei Verbrauchs- und Verschleißteilen auftreten können, ist eine Mindestausfallwahrscheinlichkeit sinnvoll.

Die Ausfallwahrscheinlichkeit wird nach

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{T}\right)^b\right)$$

²Die Anwendung der Weibull-Verteilung wird in der DIN IEC 61649 ausführlich beschrieben.

³Der Wert ergibt sich aus der Exponentialfunktion von -1 in Gleichung 1 bei t = T.

⁴Dieses Thema wurde bereits ausführlich im Beitrag „Vorausschauende Instandhaltung von Thermoprozessanlagen“ behandelt [4]. Gerade bei hochwertigen Ofenbauteilen kann so eine gut nachvollziehbare Prognose erstellt werden, die nur mit einem geringfügig höheren Aufwand verbunden ist.

oder der funktionsgleichen Weibullfunktion in Excel berechnet.

Für nicht verschleißbehaftete Bauteile (Reserveteile) mit konstanter Ausfallrate ist der Formfaktor b = 1. Die charakteristische Lebensdauer T ist identisch mit MTBF/MTTF, da sich sowohl MTTF/MTFB als auch T nach der Zeitdauer, nach der ca. 2/3 einer Betrachtungseinheit ausgefallen sind, definieren.

Gebrauchsdauer der Primärprodukte

Lebens- und Gebrauchsdauer sind nicht dasselbe. Die Gebrauchsdauer ist die Zeit, für die ein Bauteil oder eine Baugruppe konstruktiv ausgelegt ist.

In der Praxis ist die Gebrauchsdauer⁵ deutlich kürzer als die MTTF/MTBF bzw. die charakteristische Lebensdauer. Sie beträgt für Bauteile des Maschinenbaus ca. 20 Jahre. Oft endet die „sinnvolle“ Gebrauchsdauer eines Bauteils noch früher, zum einen weil bessere, energieeffizientere Nachfolgeprodukte auf den Markt gekommen sind, oder aber zum anderen, weil Vorschriften, z. B. die CQI-9, die Gebrauchsdauer einschränken. Modernisierung und Retrofits sind daher immer ein weiteres wichtiges Thema, insbesondere in Anbetracht der Langlebigkeit von Thermoprozessanlagen [4].

Zwischenfazit: Ersatzteiltyp, Ausfallcharakteristik und Lebensdauer

Zeit für ein Zwischenfazit: Die Ersatzteiltypen sind in erster Linie durch ihre charakteristische Lebensdauer und ihre Ausfallcharakteristik gekennzeichnet.

Reserveteile haben eine mit dem Primärprodukt vergleichbar lange bzw. längere charakteristische Lebensdauer mit i. d. R. mehr als zehn Jahren und eine (lange) konstante Ausfallrate nach Typ C, D, E oder F.

Verbrauchsteile haben eine im Vergleich zu Reserveteilen deutlich kürzere charakteristische Lebensdauer mit i. d. R. weniger als zehn Jahren und eine mit der Nutzungsdauer ansteigende Ausfallrate nach Typ A oder B.

Verschleißteile mit einer charakteristischen Lebensdauer von i. d. R. weniger als zwei Jahren sind eine Untermenge der Verbrauchsteile. Sie werden an den Stellen eingesetzt, an denen betriebsbedingt eine hohe Abnutzung auftritt.

Ausfallraten und Lebensdauerdaten sind ineinander überführbar. Näherungsweise gilt:

$$T = \text{MTTF} = \text{MTFB} = 1/\text{Ausfallrate}$$

Alle Kurvenverläufe der Ausfallrate lassen sich mathematisch mit Exponentialverteilungsfunktionen, insbesondere der Weibullverteilung, modellieren.

Die Weibullfunktion mit den Parametern T und b ermöglicht eine einfache, von der Nutzungsdauer abhängige

⁵Eine direkte Korrelation zwischen der Gebrauchsdauer und dem MTTF/MTBF gibt es nicht.

Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit für alle v. g. Ersatzteiltypen. Der wichtigste Vorteil der Weibullverteilung für die Instandhaltung ist aber, dass bereits wenige Ausfalldaten aus der Vergangenheit schon ordentliche eigene Prognosen ermöglichen.

METHODISCHE ERSATZTEILBEDARFS-PLANUNG

Nach der Theorie nun zur Praxis. Bei der Ersatzteilbedarfsplanung wird der zukünftige Ersatzteilbedarf geplant.

Sehr viele Instandhalter führen eine rein vergangenheitsbezogene Ersatzteilbedarfsplanung durch, wobei die zur Verfügung stehenden Daten oft eine schlechte Qualität haben und für mathematische Methoden nicht geeignet sind [5]. Rein vergangenheitsbezogene Planungen setzen auch eine Vergangenheit voraus, die es für die Erstausrüstung jedoch noch nicht gibt. Es kommt dann sehr auf die Erfahrung mit ähnlichen Bauteilen an.

In diesem Beitrag wird ein auf einem Lebensdauermodell basierender methodischer Planungsansatz vorgeschlagen. Die methodische Ersatzteilbedarfsplanung ist in diesem Planungsansatz, wie in **Bild 5** dargestellt, ein vorwiegend technisch orientierter Prozess.

Ersatzteilbedarfe können im Lebenszyklus einer Anlage durch drei unterschiedliche Ereignisse ausgelöst werden:

Jede neue Anlage braucht erst einmal ein initiales Ersatzteilkpaket, d. h. eine Erstausrüstung mit Reserve-, Verbrauchs- und Verschleißteilen, um gegen Zufallsausfälle gewappnet zu sein. Im laufenden Betrieb ergibt sich dann ein weiterer Bedarf von Verbrauchs- und Verschleißteilen bei der geplanten Instandhaltung, beispielsweise einer Jahreswartung.

Ersatzteilbedarfe für die Erstausrüstung und präventive Instandhaltung sind gut planbar; die zeitliche Dringlichkeit ist vergleichsweise gering. Ein ebenfalls relativ gut planbarer und zeitunkritischer Bedarf kann sich auch aufgrund von Lagerergänzungslieferungen ergeben.

Hoffentlich viel seltener werden Ersatzteile dringend benötigt, weil Bauteile unvorhergesehen ausgefallen sind, die bisher nicht als Reserveteile vorgehalten wurden. Dann ist eine rasche Reaktion erforderlich, um den Produktionsstillstand und die damit verbundenen Ausfallkosten gering zu halten.

Die Ersatzteilbedarfsplanung erfolgt in dem Spannungsfeld so viel wie nötig, um Ausfallkosten zu minimieren, und so wenig wie möglich, um die Ersatzteilkosten möglichst gering zu halten. Sie ist also letztendlich eine Kostenoptimierung von potenziellen Anlagenausfallkosten zu realen Präventionskosten.

Die Festlegung der richtigen Soll-Bestandshöhe ist also für die Instandhaltung eine große Herausforderung. Es gilt die Kosten und die Verfügbarkeit von Ersatzteilen in ein ausgewogenes Verhältnis zu bringen. Fehlprognosen kön-

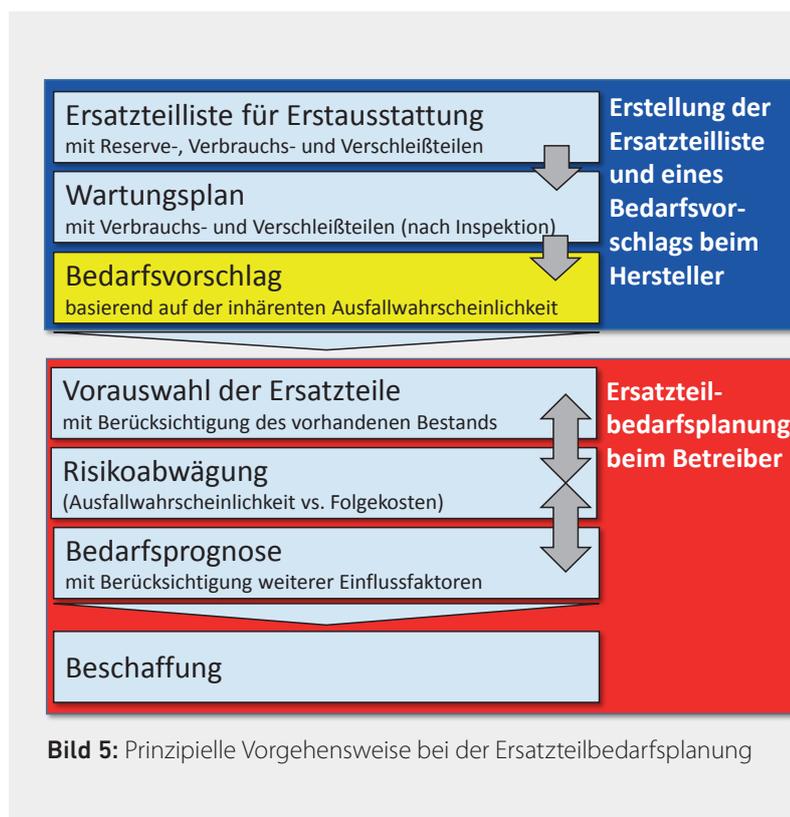


Bild 5: Prinzipielle Vorgehensweise bei der Ersatzteilbedarfsplanung

nen in jeder Hinsicht zu einer kostspieligen Angelegenheit werden. Wird z. B. das Gussplattenband eines Bandofens als Reserveteil lange Zeit vorgehalten, wird damit sehr viel Kapital gebunden. Wird andererseits ein Gussplattenband zu spät disponiert, kann die Anlage wegen der sehr langen Lieferzeit des Gussplattenbands möglicherweise für Wochen ausfallen.

Einflussfaktoren auf die Bedarfsprognose

Wie in **Bild 6** dargestellt, ist die Bedarfsprognose darüber hinaus noch von weiteren Einflussfaktoren abhängig.

Reserveteile weisen einen sporadischen (zufälligen) Bedarf auf, der nahezu unabhängig von der Nutzungsintensität und der Instandhaltung ist. Im Wesentlichen hängt der Bedarf an Reserveteilen nur von der charakteristischen Lebensdauer der Teile ab.

Der Bedarf an Verbrauchs- und Verschleißteilen ist im Wesentlichen abhängig von der Anzahl, Nutzungsintensität und den Einsatzbedingungen der Anlagen. Zudem beeinflusst die Instandhaltungsstrategie (präventiv oder reaktiv) den Bedarf entscheidend. Verbrauchs- und Verschleißteile werden typischerweise bei geplanten Wartungen zustands- oder zeitabhängig ersetzt.

Für alle Ersatzteiltypen gleichermaßen wichtige Einflussfaktoren auf die Bedarfsprognose sind die Anzahl gleicher Teile in einer Anlage und die Anzahl der Anlagen.

Nicht alle Teile sind kritisch für den Anlagenbetrieb. Teile, die nicht zum Stillstand der Anlage führen, wie z. B.

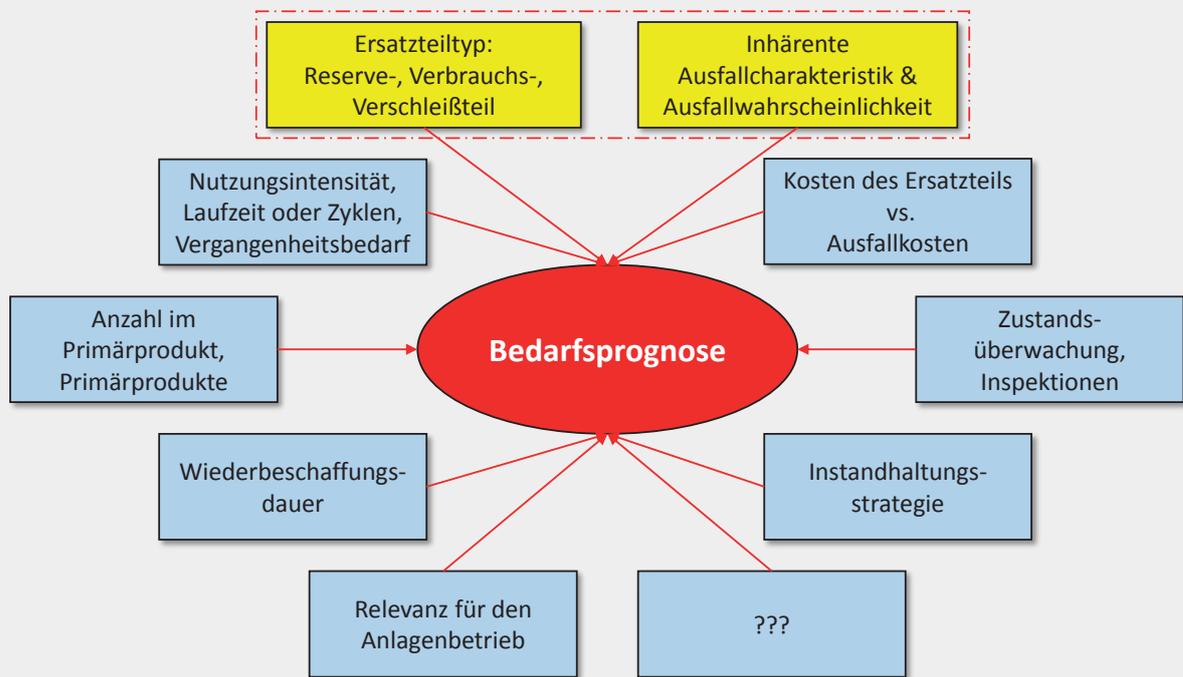


Bild 6: Einflussfaktoren auf die Bedarfsprognose für Ersatzteile

Anzeigergeräte, sind als unkritische Ersatzteile zu klassifizieren. Für unkritische Teile müssen keine Ersatzteile vorgehalten werden. Eine Klassifizierungsmöglichkeit wäre beispielsweise bei einem Ausfall zwischen Funktionsunfähigkeit, Funktionseinschränkung, Leistungseinschränkung, Qualitätseinschränkung und keine Einschränkungen zu unterscheiden [6].

Ein besonders bei Thermoprozessanlagen wichtiger Einflussfaktor ist die Reparaturdauer (MTTR) nach einem Ausfall [7]. Je länger die Reparaturdauer, beispielsweise wenn zum eigentlichen Teileersatz auch noch das Entgasen, Abkühlen und die Wiederinbetriebnahme der Anlage erforderlich ist, umso mehr wird in präventive Instandhaltung investiert.

Weitere wichtige Einflussfaktoren sind, wie nicht anders zu erwarten, der Preis im Verhältnis zu den potenziellen Ausfallkosten und die Lieferzeit des Ersatzteils. Die Lieferzeit ist insofern von doppelter Bedeutung, als dass der innerhalb der Lieferzeit auftretende mögliche Zusatzbedarf die Lagermenge bestimmt. Insbesondere für alle Konstruktionsteile (Bild 2 Ersatzteiltypen) ist die Lieferzeit meist der bestimmende Faktor in der Ersatzteilbedarfsplanung.

Schlüsselfaktor Ausfallwahrscheinlichkeit

In der Praxis wird die Instandhaltung wegen des limitierten Budgets immer vor der Entscheidung stehen, nur die Reserveteile vorzuhalten, bei denen sowohl die Ausfall-

wahrscheinlichkeit als auch die Ausfallfolgen vergleichsweise groß sind.

Es macht jedenfalls keinen Sinn, Bauteile vorzuhalten, die wahrscheinlich nie bzw. erst sehr viel später benötigt werden. Die Ausfallwahrscheinlichkeit eines Bauteils ist daher der Schlüsselfaktor in der Ersatzteilplanung. Grundvoraussetzung ist dabei die Prognosefähigkeit, also die Kenntnis der Ausfallcharakteristik und der Zuverlässigkeit bzw. Lebensdauerwerte der betrachteten Bauteile.

Die Prognose ist der ausschlaggebende Prozess, denn die nachfolgenden Planungsprozesse bauen auf den Ergebnissen der Prognose auf. Je besser die Prognose, desto geringer ist der Sicherheitsbestand, desto wirtschaftlicher sind die Lagerbestände [6].

Ersatzteilbedarf für die Erstausrüstung

Für die Erstausrüstung mit Ersatzteilen bzw. für Lagerergänzungen stellen die Ersatzteillisten des Herstellers die Planungsgrundlage dar. Ersatzteillisten sind für den Betreiber ein wesentliches Hilfsmittel für die Ersatzteilbedarfsplanung.

Der Hersteller erstellt die Ersatzteilliste in der Regel recht großzügig, insbesondere wird er sich nicht um den bereits vorhandenen Lagerbestand beim Betreiber kümmern.

Die Ersatzteilliste für die Erstausrüstung beinhaltet sowohl Reserve- als auch Verbrauchs- und Verschleißteile für die erste Wartung. Zufallsausfälle treten bei jedem

Ersatzteiltyt auf. Wie im Absatz Ausfallrate ausgeführt, macht es keinen Sinn, die Beschaffung von Ersatzteilen, die als Reserve vorgehalten werden, eine Zeit lang aufzuschieben, da Zufallsausfälle jederzeit auftreten können.

Die für die Ersatzteilplanung der Erstausrüstung interessante Ausfallwahrscheinlichkeit eines Bauteils im ersten Jahr nach der Inbetriebnahme lässt sich als Richtwert aus dem Kehrwert des MTTF/MTBF bzw. der charakteristischen Lebensdauer (T) abschätzen. Bei einer MTBF von 100 Jahren beträgt die Ausfallwahrscheinlichkeit maximal 1/100, entsprechend 1 %.

Bei Zufallsereignissen ist die Ausfallrate zu jedem Zeitpunkt gleich. Es macht daher auch keinen Unterschied, ob ein Reserveteil schon einmal ersetzt worden ist oder nicht. Mit anderen Worten, die Durchmischung von alten und neuen Bauteilen spielt für die Ersatzteilbedarfsplanung keine Rolle. Nach Ansicht der Autoren ist es daher auch sinnvoller, die Ausfallwahrscheinlichkeit nur mit dem Wert für das erste Jahr, also mit $t = 1$, zu berechnen, da ausgefallenen Bauteile sofort ersetzt werden und sich die Ausfallwahrscheinlichkeit nicht mehr auf die abnehmende Grundgesamtheit bezieht.

Sind beispielsweise in einer Thermoprozessanlage insgesamt 50 elektronische Gasfeuerungsautomaten mit einer angenommenen MTTF von 25 Jahren eingebaut, beträgt die Ausfallwahrscheinlichkeit maximal 1/25 bzw. 4 % pro Jahr. Statistisch gesehen können also 4 % von 50 Gasfeuerungsautomaten, d. h. zwei Gasfeuerungsautomaten, innerhalb eines Jahres ausfallen. Bei einer ab Lager Verfügbarkeit müsste es also ausreichen, wenn ein (ein Stück) Gasfeuerungsautomat als Reserveteil vorgehalten wird.

Bedarfsprognose für Verbrauchs- und Verschleißteile

Ausfälle von Verbrauchsteilen sind entweder zufällig bzw. werden viel häufiger gegen Ende der Lebensdauer durch Alterung bzw. Verschleiß verursacht. Die Ausfallwahrscheinlichkeit über die Nutzungszeit kann mit der Weibullfunktion berechnet werden. Dazu ist es notwendig, die Nutzungsdauer mindestens grob zu erfassen. Der Formfaktor b , synonym auch Ausfallsteilheit genannt, kann dazu genutzt werden, um die unterschiedliche Ausfallcharakteristik zu modellieren.

Das Problem dabei ist, dass im Gegensatz zu den Reserveteilen jetzt auch die Durchmischung von alten und neuen Verbrauchsteilen eine wichtige Rolle spielt. Für verschleißbehaftete Bauteile wird die Wahrscheinlichkeit, dass ein Bauteil im nächsten Zeitintervall ausfällt, immer größer. Nach dem Ersatz dieses Bauteils geht die Ausfallwahrscheinlichkeit wieder auf den Startwert zurück. Für die optimale Ersatzteilplanung müsste also streng genommen die Betriebsdauer jedes einzelnen Verbrauchs- oder Verschleißteils erfasst werden.

Verbrauchsteilebedarf für die zustandsabhängige Instandhaltung

Die Ausfallwahrscheinlichkeit ist bei der zustandsabhängigen Instandhaltung ebenfalls ein wichtiger Einflussfaktor. Die hauptsächliche Planungsgrundlage für den Verbrauchsteilebedarf ist nun aber der Wartungsplan zusammen mit den letzten Inspektionsergebnissen. Manchmal kann als zusätzliche Informationsquelle auch ein Condition Monitoring System genutzt werden. Ob ein Verbrauchsteil ausgetauscht wird oder nicht, wird dann zustandsabhängig bei der Inspektion entschieden.

Wie im Kapitel Ausfallrate dargelegt, ist ein präventiver Ersatz von Verbrauchsteilen erst in der Verschleißphase sinnvoll. Ein zu früher präventiver Austausch ist im besten Fall nutzlos, im schlimmsten (wenn Frühausfälle auftreten) kontraproduktiv. Ein häufiges Problem bei einer zustandsabhängigen Instandhaltung ist, dass oft weder der Übergang von der einen zur anderen Phase noch Verschleiß zu erkennen ist. Dann ist strenggenommen auch keine zustandsabhängige Instandhaltung möglich.

Verbrauchsteilebedarf für die zeitabhängige Instandhaltung

Ist eine zustandsabhängige Instandhaltung nicht möglich, bleibt als einzige präventive Alternative nur ein zeitgesteuerter Ersatz auf Basis der Ausfallwahrscheinlichkeit. Für die zeitgesteuerte Ersatzteilbedarfsplanung von Maschinenbauteilen⁶ können, je nachdem wie groß die Ausfallfolgen sind, ca. 10–30 % Ausfallwahrscheinlichkeit als Richtwerte angesetzt werden.

An vielen Bauteilen, z. B. Magnetventilen, kann Verschleiß oft nicht bzw. nur sehr aufwändig inspiziert werden. Wenn also beispielsweise Magnetventile mit einer charakteristischen Lebensdauer von 50 Jahren in der Anlage verbaut sind, dann ist ein präventiver Ersatz nach ca. 20 Jahren nicht unüblich bzw. sinnvoll. Bei einer Ausfallsteilheit von $b = 2$ entspräche dies einer Ausfallwahrscheinlichkeit von ca. 20 %.

Während für elektronische und elektromechanische Bauteile eine charakteristische Lebensdauer von 50 Jahren noch gering ist, ist die charakteristische Lebensdauer von Ofenbauteilen mit meist nur wenigen Jahren deutlich kürzer. Wenn beispielsweise für Herdsteine, mit einer charakteristischen Lebensdauer von zehn Jahren und einer Ausfallsteilheit von 3,5, eine maximal zulässige Ausfallwahrscheinlichkeit von 20 % festgelegt wird, dann kann mithilfe der Weibullfunktion in Excel der Termin für den präventiven Ersatz recht einfach ermittelt werden. Die Ausfallwahrscheinlichkeit der Herdsteine beträgt in diesem Beispiel nach fünf Jahren Nutzungsdauer ca. 15 %, und

⁶ Mit Maschinenbauteilen sind im Maschinenbau typische Teile außerhalb der Ofenkammern gemeint.

Aichelin Service

Search entire shop here...

Blog Konto Abmelden Listmanager

MEINE ANLAGEN

Home → 20001354 → RINGHERDOFEN 9344 (A33)

RINGHERDOFEN

Ofenanlage 1
Eigene Kategoriebezeichnung vergeben

ROLLENHERD HTO +
M-S-R ZU RRGs +
RINGHERDOFEN MIT SCHUTZGAS +
TRANSPORTBAHN ZU ROLLENHERDOFEN DM50 +

Filtern nach

Verwendungsart

- Reserveteile (292)
- Verbrauchsmaterial (36)
- Verschleißteil (2)
- Zeitbegrenztes Teil (125)

Mehr anzeigen

Teileuntergruppe

- Schraube (71)
- Flach_Mat_unlegiert (46)
- Blech_unlegiert (32)
- Rohr_unlegiert (27)

Mehr anzeigen

Zuletzt angesehene Artikel

- > 1042753
- > 1000515
- > 1016582
- > 1113965
- > 1077187

Detailfenster

1032223

Normalteil NF7 250x12x64 g/m

Artikelnummer: 1032223

Kundenleiste: Keine Daten gefunden

Preis: 23,61

Menge: 25,00

Maschine: A9348
A9344
Gesamt: 136,6

Ausfallwahrscheinlichkeit F(t) über die Nutzungsdauer (t)

Ausfallwahrscheinlichkeit F(t) für die Ersatzplanung

Verbrauchsmaterial	ET-Typ	f(1)	Verfügbarkeit	Menge ME	Ihr Preis (€)
Wellendichtring A 63x85x10 Bauf:BAUMX7	Verbrauchsmaterial	63	Lagerartikel	5 Stück	33,82
Dichtung quad. 300x300 600 g/m	Verbrauchsmaterial	63	Lagerartikel	25 Laufmeter	23,61
Dichtung quad. 300x300 200°C Härte:60° s	Verbrauchsmaterial	63	Lagerartikel	35 Laufmeter	52,42
TEST Schaltelement 1s, für Frontplattenbefestigung	Keine Daten gefunden	1000751		1 Stück	5,11
Dichtband m. eins. Klebeleiste Breite= 7 mm	Verbrauchsmaterial	63	Lagerartikel	95 Laufmeter	3,65

Bild 7: Ersatzteilplanung im Aichelin Service Portal

Bild 7: Ersatzteilplanung im Aichelin Service Portal

nach sechs Jahren aber schon ca. 25 %. D. h. alle Herdsteine sollten bei der Jahreswartung nach fünf Jahren ausgetauscht werden.

Der Zufallsausfallanteil (1/T) beträgt ca. 10 %. Es sollten daher von Beginn an einige Herdsteine als Reserveteile vorgehalten werden.

AUSBLICK: MASCHINEN PLANEN ERSATZTEILE

In diesem letzten Kapitel soll ein Ausblick auf die zukünftige Ersatzteilbedarfsplanung gewagt werden.

Ist ein 3D-Drucker der Ersatzteillieferant der Zukunft, der eine vorausschauende Ersatzteilbedarfsplanung unnötig macht, so wie wir dies heute in einigen Forschungsbeiträgen schon lesen können? Für Thermoprozessanlagen in überschaubarer Zeit sehr wahrscheinlich nicht! Die nähere Zukunft gehört dem Online Service Portal mit einer Schnittstelle zu den Anlagen und einer hocheffizienten Logistik im Hintergrund, die dafür sorgt, dass die im Portal ausgewählten Ersatzteile schnell zum Kunden gelangen. Traditionelle Ersatzteillistik und Online Services gehen eine Symbiose ein.

Service Portale, wie z. B. das in **Bild 7** dargestellte Aichelin Service Portal, bieten schon heute eine weitaus größere Funktionalität als Ersatzteillisten oder elektronische Ersatzteilkataloge, die auch der Ersatzteilbedarfsplanung eine neue, bessere Qualität geben. Regelbasierte digitale Assistenten helfen bei der Ersatzteilbedarfsplanung und ermöglichen, das volle Potenzial eines effizienten Ersatzteilmanagements auszuschöpfen. Beispielsweise können Heuristiken durch präzisere mathematische Modelle ersetzt werden.

Im Aichelin Service Portal erhält der Anlagenbetreiber alle Instandhaltungsinformationen direkt auf sein Cockpit. Mit Zoomfunktionen und Filtern werden die einzelnen Baugruppen in ihre Bauteile aufgelöst. Die Ersatzteilbedarfe werden automatisch berechnet. Dabei werden die Ausfallwahrscheinlichkeit und die Anzahl identischer Bauteile berücksichtigt. Aktuelle Verfügbarkeit, Preise und Bestellstatus der Ersatzteile sind mit einem Klick abrufbar.

Die in diesem Beitrag beschriebenen Vorgehensweisen können aber auch ohne Service Portal in der Praxis angewendet werden. Sind alle Bauteile mit Ersatzteiltyp, charakteristischer Lebensdauer und Ausfallcharakteristik definiert, lässt sich die Ersatzteilbedarfsplanung, wenn auch mit etwas weniger Komfort als im Aichelin Service Portal, auch mit Tabellen durchführen.

In der Fabrik der Zukunft [8] denken dann nicht nur die Werkstücke, sondern auch die Bauteile mit Nutzungsdauer, Nutzungsintensität und Informationen über Verschleißerscheinungen, beispielsweise aus Serviceberichten oder eines Condition Monitoring Systems, werden als Eingangsparameter der Ersatzteilbedarfsplanung mitverarbeitet. Alle Daten werden dann gemeinsam in einem digitalen Zwilling im Service Store visualisiert.

So können in nicht allzu ferner Zukunft sowohl aktuelle Zustandsinformationen als auch Vergangenheitserfahrungen in die Ersatzteilbedarfsprognose miteinbezogen werden. Durch die direkte Vernetzung mit den Anlagen und den gesammelten Betriebsdaten berechnet der digitale Assistent im Service Store automatisch den Bedarf und stellt Bestellvorschläge genau dann, wenn sie benötigt werden, in einem Warenkorb zusammen. Der Service Store ist somit quasi ein weiterer Akteur in der smarten Fabrik. „Maschinen planen ihren Ersatzteilbedarf selbst“ ist dann nicht mehr bloße Utopie.

LITERATUR

- [1] Entwicklung einer Planungsmethode zur Ersatzteillagermengenbestimmung in Servicenetzwerken von Windenergieanlagen. Universität Bremen, 2014
- [2] Hiller, M.; Steck-Winter, H.: Kooperative Instandhaltung von Thermoprosessanlagen. *gwi – gaswärme international* 3 (2013), S. 101-106
- [3] IPRI Forschungsbericht: Heuristikbasierte Ersatzteil-Bedarfsprognosen durch Nutzung organisationalen Wissens und anreizbasierter Abnehmerintegration. IPRI – International Performance Research Institute gemeinnützige GmbH, Stuttgart, 2014
- [4] IPRI Forschungsbericht: Geregelte Ersatzteil-Bedarfsdeckungs-Strategien „GET“. IPRI – International Performance Research Institute gemeinnützige GmbH, Stuttgart, 2010
- [5] Moubray, J.: RCM – Die hohe Schule der Zuverlässigkeit von Produkten und Systemen. Landsberg: Verlag Moderne Industrie, 1996
- [6] Steck-Winter, H.: Vorausschauende Instandhaltung von Thermoprosessanlagen. *gwi – gaswärme international* 3 (2011)
- [7] Steck-Winter, H.: Instandhaltungskennzahlen. *gwi – gaswärme international* 3 (2012), S. 37-44
- [8] Steck-Winter, H.; Unger, G.: Thermoprosessanlagen in der Fabrik der Zukunft. *gwi – gaswärme international* 2 / 3 (2015), S. 39-44 bzw. 73-81

AUTOREN



Dr. **Hartmut Steck-Winter**, MBA
Vormals Aichelin Service GmbH
Ludwigsburg
Tel.: 0176 / 97873726
steck-winter@gmx.de



Dipl.-Ing. **Carsten Stölting**, MBA
Aichelin Service GmbH
Ludwigsburg
Tel.: 07141 / 6437106
carsten.stoelting@aichelin.com