

VGB PowerTech e.V.

VGB-Arbeitshilfe
Nutzen durch Nutzung
der Verfügbarkeit

Herausgegeben von der
VGB PowerTech e.V.

1. Ausgabe 2004

Vorwort

Vor dem Hintergrund sich verändernder Rahmenbedingungen durch Globalisierung und Liberalisierung des Stromversorgungsmarktes in den USA, Europa und Deutschland hat bei den Stromversorgungsunternehmen ein Umdenken eingesetzt.

Modernste Technik mit hohen Wirkungsgraden ist zwar äußerst wichtig, aber niedrige Stromgestehungskosten und eine optimale Verfügbarkeit von Kraftwerksanlagen sind inzwischen das Maß der Dinge. Heute kommt es also vor allem darauf an, die Stromerzeugung so preisgünstig wie möglich zu gestalten. Ein bisher nicht gekannter Kostendruck in der Energieerzeugung bedeutet konsequenterweise, mit immer geringeren Ressourcen auszukommen.

Die qualitative technische und wirtschaftliche Bewertung von Kraftwerksanlagen und -systemen mit dem Blickwinkel unter anderem auf die Kraftwerks-Konzeption, Konstruktion, Ausführung und den Kraftwerksbetrieb verlangt die konsequente und systematische, auf der Basis der zuständigen Regeln und Richtlinien durchzuführende Ermittlung von Verfügbarkeits-Kennwerten sowie Analysen der Nichtverfügbarkeitsereignisse.

Einen Überblick, welche Hilfestellungen Verfügbarkeitsstatistik und -werte – damit sollen im folgenden sowohl die Verfügbarkeit, als auch die Nichtverfügbarkeit gemeint sein – in allen Lebensphasen von Kraftwerksanlagen geben können, soll diese Arbeitshilfe vermitteln.

Jeder Anwendungsfall wurde in einem eigenen Kapitel mit einheitlichem Aufbau dargestellt, so daß sich diese Schrift auch als Nachschlagewerk eignet. Die Informationen jedes Kapitels sind so aufgebaut, dass ohne eine weitere Anleitung der beschriebene Nutzen realisiert werden kann.

Die Ausarbeitung der Arbeitshilfe erfolgte durch die Arbeitsgruppe „Grundsatzfragen der Verfügbarkeit“.

Der Arbeitsgruppe gehörten an:

Jürgen Aydt

EnBW Kraftwerke, Stuttgart, D

Ralf Kirsch

VEAG, Berlin, D

Dietmar Nitsch

VGB PowerTech, Essen, D

J.D.M Offerman

EPZ, Geertruidenberg, NL

Rudolf Placke

VEW ENERGIE, Dortmund, D

Henk Wels

NRG, Arnhem, NL

Essen, im Frühjahr 2004

VGB PowerTech e.V.

0 Inhaltsverzeichnis

Kapitel Lebensphase Nutzung

1 Angebot, Planung, Konzept

- 1.1 Kraftwerksausbauplanung
- 1.2 Kraftwerkskonzeption
- 1.3 Referenzen für die Akquisition
- 1.4 Übernahme von Betriebsführung

2 Entwurf, Konstruktion, Design review

- 2.1 Analyse projektierter Anlagen
- 2.2 Schwachstellen
- 2.3 Zuverlässigkeitsschaubilder
- 2.4 Modifikation von bestehenden Konzepten/ Anlagen

3 Neubau oder Anlagenmodifikation

- 3.1 Genehmigungsaufgaben
- 3.2 Angebot/ Bestellung/ Gewährleistung
- 3.3 Ersatzteilhaltung/ Reserveteile
- 3.4 Gewährleistungsüberprüfung

4 Anlagenbetrieb

- 4.1 Analyse des Anlagenbetriebes
- 4.2 Instandhaltung
- 4.3 Berichtswesen
- 4.4 Erfassung und Dokumentation
- 4.5 Öffentlichkeitsarbeit

5 Wirtschaftliche Aspekte

- 5.1 Kraftwerkeinsatzplanung/ Ver- und Entsorgungsplanung
- 5.2 Benchmarking: Vergleich von Anlagen
- 5.3 Versicherungsfragen
- 5.4 Hinweise für die Budgetplanung

Anhang: Literatur

1 Angebot, Planung, Konzept

1.1 Kraftwerksausbauplanung

Unter Kraftwerksausbauplanung wird die Planung des Einsatzes und die Auslastung von vorhandenen und zukünftigen Kraftwerkskapazitäten verstanden.

Nutzen

Verfügbarkeitswerte liefern Hinweise auf bestehende und/oder zukünftige Kapazitäten oder Lücken eines Kraftwerksparkes. Diese können in den Lastarten Grund-, Mittel-, Spitzenlast oder Reserve lokalisiert und bei Vorgabe von Beurteilungs-Parametern wie z. B. Mindestreserve oder Revisionszyklen genutzt werden.

Das im Folgenden beschriebene Verfahren dient zur Analyse und Bewertung für den bestehenden Kraftwerkspark und ist eine Orientierungshilfe für die mittel- und langfristige Unternehmensplanung.

Es leistet einen Beitrag zur Risikoabschätzung in der Versorgung mit Strom und Fernwärme und ist eine Entscheidungshilfe bei konkreten Ausbau- und Stilllegungsplänen von Kraftwerksanlagen.

Verfahren und Aufwand

Die Beschreibung der Kraftwerkskapazitäten kann für unterschiedliche Perioden erfolgen anhand:

- historische Arbeitswerte einschließlich der Nichtverfügbarkeitsstruktur (ungeplante Voll- und Teilausfälle) der eigenen Anlagen
- zur statistischen Absicherung können vergleichbare Werte der überbetrieblichen Auswertung (10-Jahresanalysen der VGB) zu Rate gezogen werden.

Diese Verfügbarkeitsdaten sind zyklisch dem erwarteten Bedarf an Strom und Wärme gegenüberzustellen. Diese Analysen müssen sich an Lastgangkurven orientieren.

Die Bewertung von Verfügbarkeits- und Bedarfsdaten ist mit der Kostenstruktur abzugleichen (zum Beispiel muss bei Grundlastkraftwerken eine hohe Verfügbarkeit bei niedrigen Kosten unterstellt werden).

Allgemein gilt: je detaillierter der Bedarf bekannt ist, umso mehr Informationen zur Beschreibung des Kraftwerksparkes lohnen sich.

Empfehlung

Die Verwendung von Arbeitsverfügbarkeiten einschließlich der Nichtverfügbarkeitsstruktur (ungeplante Voll- und Teilausfälle) wird empfohlen.

Für die Planung neuer Anlagen sind die Verfügbarkeitsverläufe gleichartiger Anlagen über die Lebensdauer zu unterstellen. Für vorhandene Kraftwerkskapazitäten sind diese Verfügbarkeitsverläufe zu erfassen und in die Zukunft – abgeglichen mit der Bedarfsplanung – fortzuschreiben.

Beispiel 1.1:

Es wird ein auf 5 Strombezugsquellen vereinfachtes EVU angenommen:

Beschreibung des "Kraftwerkparkes"

Quelle	Engpaßleistung MW e	Stilllegung "Jahr"	Verfügbarkeit %
Strombezugsvertrag	800	2009	100
Kernenergie	800 + 1.200	2012 + 2019	86 + 88
Laufwasser	gesamt: 250	ab 2008	65
Steinkohle	700 + 500 + 200	2028, 2015 + 2006	87
Pumpspeicher	750	2024	80

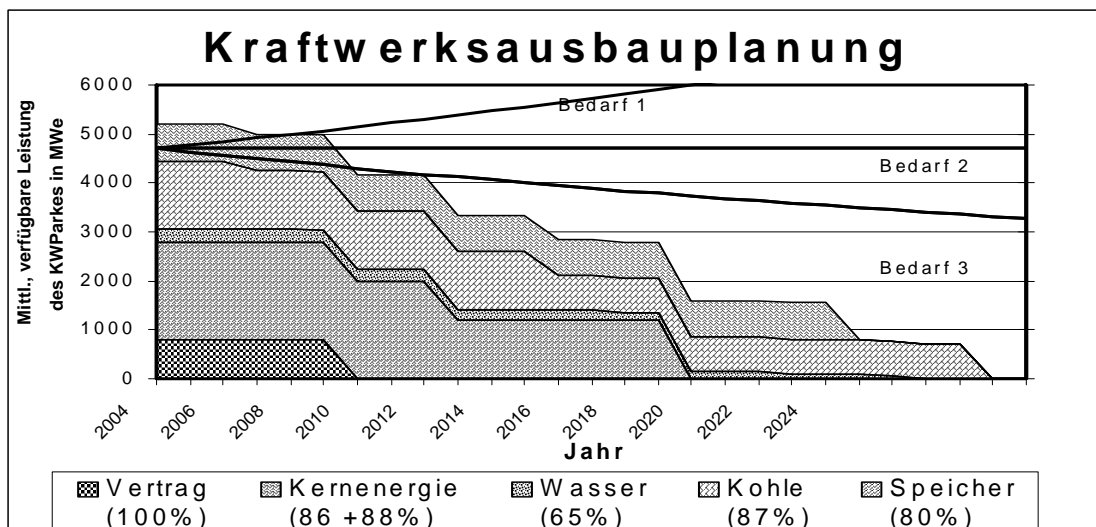
Bei Laufwasser wurde der Verfügbarkeitswert so gewählt, um der üblichen Konstellation von Auslegung und Arbeitsdargebot des Flusses Rechnung zu tragen.

Annahmen für die Bedarfsentwicklung und Mindestreserve

Bedarf 1: 3.500 MW e Spitze bei jährlich 2 % Zuwachs
 Bedarf 2: 3.500 MW e Spitze bei 0 % Zuwachs
 Bedarf 3: 3.500 MW e Spitze bei jährlich 2 % Abnahme

Mindestreserve: 1.200 MW e

Die Mindestreserve wurde in der einfachen Höhe der größten Einheit gewählt.



Im Bedarfsfall 1 besteht bereits in 4 Jahren zusätzlicher Bedarf.

Im Bedarfsfall 2 tut sich im Jahr 2011 eine Lücke auf.

Im Bedarfsfall 3 ist dieser Zeitpunkt erst im Jahr 2014.

1.2 Kraftwerkskonzeption

Unter Kraftwerkskonzeption wird das Anlagenkonzept/ Schaltungsvarianten für Kraftwerksanlagen verstanden.

Nutzen

Verfügbarkeitswerte von Anlagenkomponenten unterstützen die Überlegungen hinsichtlich der Auswahl der Schaltungsvariante von Kraftwerksanlagen. Die Festlegung der erforderlichen Redundanz oder Aufteilung einer erforderlichen Leistung (zum Beispiel zwei Stränge) anhand einer Nichtverfügbarkeitsanalyse bestimmt die Verfügbarkeit und die Kosten der gesamten, neuen Anlage.

Verfahren und Aufwand

Zur Beurteilung von Anlagen, die erst auf dem Papier Gestalt annehmen, ist die Kenntnis von erreichten Verfügbarkeitswerten der die Blockverfügbarkeit bestimmenden Hauptkomponenten möglichst der gleichen Bauart notwendig. Zumindest sind die Verfügbarkeitswerte von gleichen bzw. ähnlichen Anlagen heranzuziehen.

Um den Untersuchungsaufwand auf das Notwendige z.B. auf die Hauptverursacher zu beschränken, kann mit Hilfe eines Pareto-Diagrammes ermittelt werden, welche Hauptkomponenten Nichtverfügbarkeits-dominant sind.

Folgende Arbeitsschritte sind notwendig:

- Festlegung von Zielen der Verfügbarkeit insbesondere auf der Ebene der Hauptkomponenten
- Analyse von Zeitwerten und Arbeitsverfügbarkeiten von vergleichbaren Anlagen. Hinweis: Diese Analyse kann auf der Systemebene oder auf der Komponentenebene der Anlage durchgeführt werden.
- Auswahl von Schaltungsvarianten anhand von Arbeitsverfügbarkeiten bestehender Anlagen, wenn diese mit den konzipierten Varianten in den wesentlichen (verfügbarkeitsdominanten) Anlagenteilen identisch sind.
- Beurteilung von Arbeits-Nichtverfügbarkeit und dominanten NV-Ereignissen von vergleichbaren Anlagen.

Diese Werte sind zur Beurteilung der Konzeption der Gesamtanlage zusammenzuführen. Dazu dienen beispielsweise Blockschaltbilder („Zuverlässigkeits-Schaubild“, s. Kapitel 2.3) in denen gemeinsam technische und Herstellerdaten dargestellt werden.

Derartige Vergleichsdaten liefern folgende Quellen:

- unternehmenseigene Anlagen
- Hersteller
- VGB-Datenbanken oder internationale Datenbanken

Zur Bewertung können

- Planvorgaben
- vertragliche Zusagen/Garantien
- ähnliche Anlagen herangezogen werden.

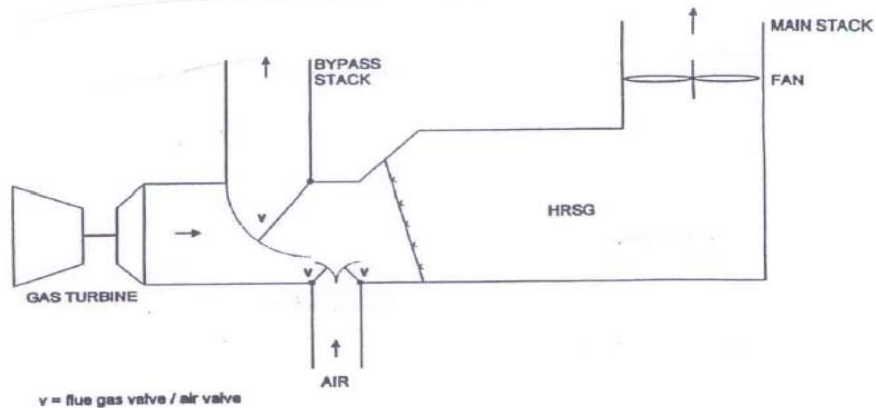
Empfehlung

Es wird die Ermittlung der Verfügbarkeiten von Hauptkomponenten/ Systemen zur Beurteilung der Verfügbarkeit der Gesamtanlage empfohlen.

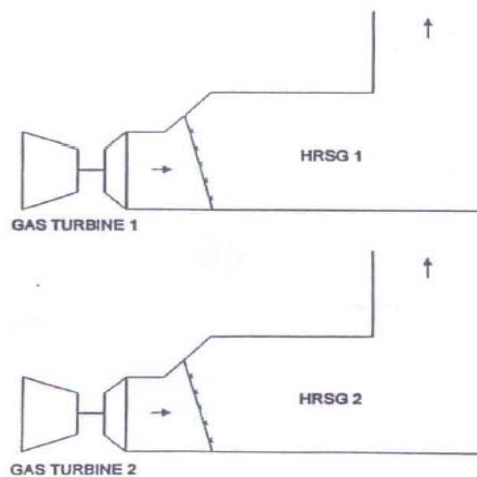
Beispiel 1.2:

2 Planungsvarianten einer GuD-Anlage sollen untersucht werden (Fa. KEMA, Arnheim hat freundlicherweise den Abdruck aus einem Projekt gestattet):

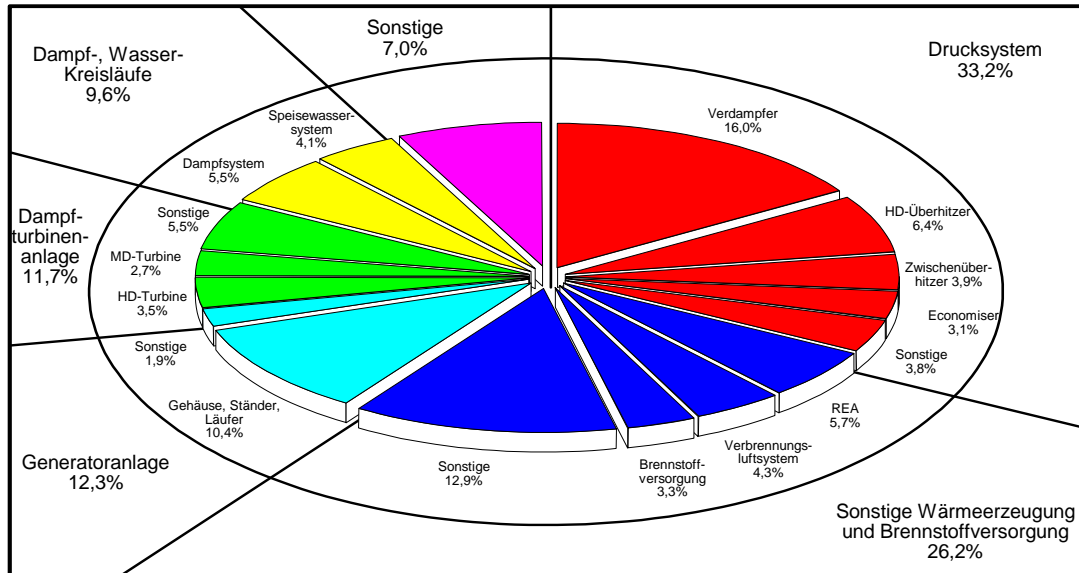
- GuD-Anlage zur industriellen Dampferzeugung: 1 GT, Zusatzfeuerung und Gebläse



- GuD-Anlage zur industriellen Dampferzeugung: 2 GTen mit Zusatzfeuerung



Für eine qualifizierte Beurteilung der Ausführungsvarianten ist die Kenntnis der Nichtverfügbarkeitsbeiträge der Hauptkomponenten zu einer Anlagenverfügbarkeit erforderlich. Ähnlich dem Pareto-Diagramm werden im folgenden Beispiel von VGB die Hauptverursacher der NV deutlich: Analyse konventioneller Kraftwerke, Zeitraum 1988 bis 1996



Dieses Diagramm ist im konkreten Anwendungsfall auf gleiche Anlagen anzupassen.

1.3 Referenzen für die Akquisition

Unter Referenzen für die Akquise wird der Nachweis für die Leistungsfähigkeit einer Anlage verstanden.

Nutzen

Verfügbarkeitsdaten bestehender Anlagen können von Herstellern, Lieferanten, Kunden oder auch vom Betreiber für den Neubau von Anlagen verwendet werden. Diese Daten kennzeichnen die Leistungsfähigkeit der Anlagen. Kunden erhalten durch diese Informationen ein weiteres Auswahlkriterium bei der Auftragsvergabe.

Verfahren und Aufwand

Verfügbarkeitswerte für Anlagen können als Referenzen für die Akquisition in jeder Tiefe benutzt werden, Beispiele dafür sind:

- Zeitverfügbarkeit von Anlagen / Systemen oder Komponenten
- Arbeitsverfügbarkeit
- Zeitverfügbarkeit in Kombination mit erläuternden Werten wie Ausnutzung, Betriebszeiten, Startvorgänge u.a.

Diese Verfügbarkeitskennwerte für eine Anlage können von realisierten Anlagen oder vom Hersteller stammen.

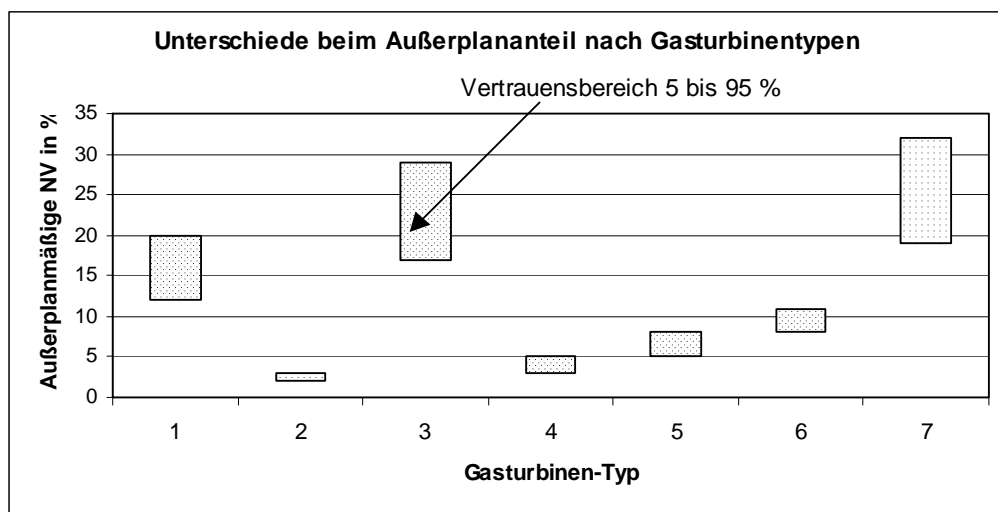
Diese Daten werden mit Werten aus der Kraftwerksausbauplanung oder den Spezifikationen verglichen.

Empfehlung

Es wird die Verwendung von Arbeitsverfügbarkeiten in Kombination mit technischen Betriebsdaten von bestehenden Anlagen gleicher Bauart empfohlen.

Beispiel 1.3:

Im folgenden Beispiel werden die Schwankungsbreiten in den ungeplanten Nichtverfügbarkeiten von 7 unterschiedlichen realisierten Gasturbinentypen gezeigt, die für einen Neubau in Frage kommen:



Diese tatsächlichen Werte sind mit den Werten der Spezifikation zu vergleichen.

1.4 Übernahme von Betriebsführung

Unter Betriebsführung wird das Betreiben (Überwachen, Bedienen, Fahren und Instandhalten) von Anlagen verstanden.

Nutzen

Bei der Übernahme der Betriebsführung ist die Kenntnis von Ausfall-Wahrscheinlichkeiten, möglichen Ausfalldauern, Verfügbarkeiten, etc. der in Betracht gezogenen Anlage wichtig. Sie ist Voraussetzung bei der Beurteilung des

unternehmerischen Risikos und der Folgen bei eventueller vertraglicher Verpflichtung gegenüber dem Kunden, sowie bei der Abschätzung der Kosten.

Verfahren und Aufwand

Neben den Arbeitsverfügbarkeiten ist die Nichtverfügbarkeitsstruktur möglichst genau festzustellen. Hieraus können Rückschlüsse auf das Ausfallverhalten, das Instandhaltungskonzept und andere Einflüsse (zum Beispiel den Ausbildungsstand des Personals) analysiert werden.

Diese Informationen können ermittelt werden aus:

- Datenanalyse der betreffenden Anlage (unter Berücksichtigung von Landesspezifika)
- unternehmenseigene vergleichbare Anlagendaten
- Herstellerangaben
- VGB-Datenbanken oder internationale Datenbanken

Allgemein gilt:

Es muß eine ausreichend fundierte Datenbasis vorhanden sein. Diese ist unter folgenden Aspekten zu prüfen:

- Art, Weise und Methodik der Datenermittlung
- Verwendetes Ermittlungsverfahren (VGB mit BS, NERC, ...), dieses ist abzugleichen.
- Gegebenenfalls ist die Datenbasis unter Nutzung von Zuschlägen oder Abschlägen abzugleichen.

Empfehlung

Bei vertraglich gebundenen Verfügbarkeitszusagen (Ausfallhäufigkeit/ Zuverlässigkeit/ Ausfallraten/ Ereignisse pro Jahr/ Ausfallstunden pro Jahr/ Betriebsstunden-Vorgaben) sind die Kenntnis der differenzierten Nichtverfügbarkeit der Anlage absolut unerlässlich.

Beispiel 1.4:

Betriebsführungsverträge oder aber Übernahme von Betreiberfunktionen im In- und Ausland werden zunehmend zum Alltagsgeschäft.

Diese Verträge müssen exakt definierte und ermittelbare Kennzahlen für die Erfüllung/ Abrechnung des Vertrages enthalten. Dazu bieten sich besonders die Verfügbarkeits-Kennzahlen an, die beispielsweise an ein Bonus-Malus-System gekoppelt werden.

Beispiel aus einem Vertrag:

„...“

- Verfügbarkeit

Als Kenngröße dient die Zeitausfallrate (P_T) gemäß VDEW-Begriffsbestimmungen Teil 1. ...

– Malusregelung

Als Planwert gilt eine Zeitausfallrate von $\leq 6\%$ pro Kalenderjahr. Für eine Zeitausfallrate $> 6\%$ /a wird in Stufen von 0,01 %-Punkten je %-Punkt Abweichung gegenüber dem Planwert folgender Malus für die einzelnen Blöcke verrechnet. Bei Ermittlung des Malusbetrages wird die durchschnittliche Zeitausfallrate der letzten 3 Betriebsjahre zugrunde gelegt. Für die Betriebsjahre 1994 und 1995 wird die Zeitausfallrate auf 6 % gesetzt.

Kraftwerksblock	Netto-Engpaßleistung in MW	Malus je %-Punkt	
		DM/kWa	Mio. DM/a
			2,21

Der Malus ist zu 65 % fest und gleitet zu 35 % mit dem Lohn. Der Malusbetrag wird auf maximal 15 Mio. DM/a begrenzt. ...

- Nach Ablauf eines Jahres wird der für dieses Jahr aus der Malusregelung resultierende Betrag ermittelt und (dem Auftragnehmer) mit dem Jahresabschluß in Rechnung gestellt.
- (Der Auftragnehmer) führt eine Nichtverfügbarkeitsliste, die jeweils zu Beginn des Folgemonats mit (dem Auftraggeber) abgestimmt wird. ...“

2 Entwurf, Konstruktion, Design review

2.1 Analyse projektierter Anlagen

Die prognostizierte Verfügbarkeit der projektierten Anlage ist in einer Analyse mit den gewünschten Anforderungen der Neuanlage abzugleichen.

Nutzen:

Der Nutzen dieser Überprüfung besteht in der Einhaltung und Gewährleistung der vorgegebenen Parameter für die Neuanlage.

Verfahren und Aufwand:

Das vorgelegte technische Konzept ist anhand vergleichbarer Konstruktionen oder eigener Anforderungen hinsichtlich der ausgewiesenen Verfügbarkeitsstruktur und der Nichtverfügbarkeitsstruktur zu überprüfen. Es sind die Nichtverfügbarkeitsdaten mindestens auf Basis des z.B. KKS-Funktionsschlüssels (Hauptkomponenten) heranzuziehen und mit den projektierten Werten zu vergleichen. Die Vergleichsdaten können vorhandenen Schwachstellenanalysen oder Hersteller-Angaben u.a. entnommen werden.

Der Vergleich liefert Hinweise, ob die Vorgaben in der Planung berücksichtigt und erreicht werden. Schwachstellen im Entwurf/ Konstruktion und eventuelle Nachbesserungen werden deutlich.

Empfehlung:

Der Vergleich der Entwurfs-/Konstruktionsdaten in Kombination mit technischen Betriebsdaten von bestehenden Anlagen gleicher Bauart und den eigenen Anforderungen wird empfohlen.

Funktionsbestimmende Anlagenteile sind dabei genauer zu untersuchen.

Grundlage ist eine vertrauensvolle Zusammenarbeit zwischen Hersteller und Kunde.

Beispiel 2.1:

2.2 Schwachstellen

Um Schwachstellen in der Konstruktion von Anlagen zu vermeiden, ist eine Übertragung bekannter Betriebserfahrungen von vergleichbaren Anlagen notwendig. Unter Schwachstellen werden Mängel in bestehende Konstruktionen verstanden, die durch eine erhöhte Nichtverfügbarkeit und Nichtverfügbarkeitsereignisse im Betrieb der Anlage auffällig sind.

Nutzen:

Für die Betriebsphase der Anlage werden Häufungen von Nichtverfügbarkeitsereignissen ausgeschlossen. Dadurch werden zusätzliche Kosten vermieden.

Verfahren und Aufwand:

Voraussetzung zur Anwendung einer Schwachstellenanalyse ist der Vergleich vorhandener Betriebserfahrungen von vergleichbaren Anlagen mit der projektierten Lösung. Grundlage sind die Betriebsdaten.

Schwerpunkt ist die Ermittlung von Anlagenkomponenten mit auffällig häufig auftretenden Störungen/ Mängeln in den Vergleichsanlagen.

Nichtverfügbarkeitsereignisse sind zu analysieren und die Erkenntnisse zum Beispiel in Form einer Konstruktionsänderung auf die Neuanlage zu übertragen.

Als Datenquelle sind die Betriebserfahrung, betriebliche und überbetriebliche Statistiken (zum Beispiel die VGB-Datenbanken, u.a.) heranzuziehen.

Empfehlung:

Die Anwendung einer Schwachstellenanalyse der Entwurfs-/Konstruktionsdaten mit technischen Betriebsdaten von bestehenden Anlagen gleicher Bauart und den eigenen Anforderungen wird empfohlen.

Hinweis:

Bei Anwendung müssen die Daten der Vergleichskomponenten weitestgehend der konstruktiven Lösung entsprechen.

Beispiel 2.2:

2.3 Zuverlässigkeitsschaubilder

Zum Nachweis der geforderten Auslegungsparameter für die Anlage (Verfügbarkeiten, Nichtverfügbarkeitswerte, u.a....) ist ein Zuverlässigkeitsschaubild zu erarbeiten.

Eine Zusammenfassung einzelner Anlagenkomponenten in einem Zuverlässigkeitsschaubild der projektierten Gesamtanlage kann vorgenommen werden.

Nutzen:

Zuverlässigkeitsschaubilder liefern Informationen zur Qualität der Anordnung, Verfügbarkeit und der Funktionalität der gewählten Anlagenkomponenten sowie zu den vorgesehenen Redundanzen.

Verfahren und Aufwand:

Als Verfahren eignet sich die Darstellung einer entsprechend der Schaltung angeordneten Blockdarstellung („Kästchen“) für die einzelnen Anlagenkomponenten. In dieser sind die charakteristischen Zuverlässigkeiten, Nichtverfügbarkeitsstruktur, etc. einzutragen. Je Anlagenteil ist der Einfluss auf die Verfügbarkeit zu prüfen und dieses in entsprechender Tiefe darzustellen.

Aus diesen Werten kann durch Verkettung der Einzelwerte die Kennzahl der Gesamtanlage gebildet werden.

Um die gewünschten Auslegungswerte zu erreichen, können in der vorliegenden Darstellung/ Methode die eingesetzten Werte durch Annahmen variiert oder Schaltungsvarianten (Parallel- oder Hintereinanderschaltung, Redundanzen) optimiert werden.

Empfehlung:

Die Erarbeitung von Zuverlässigkeitsschaubildern ist zur Beurteilung der Einhaltung der Vorgabewerte für die Anlage notwendig. Die Informationen zu den Zuverlässigkeitsschaubildern sind in der skalierten Anlage zu überprüfen (siehe auch Kap. 4.1)

Beispiel 2.3:

2.4 Modifikation von bestehenden Konzepten/ Anlagen

Erkenntnisse aus dem Betreiben der Anlage oder neue Aufgaben sind Auslöser für technische Änderungen von bestehenden Konzepten/ Anlagen.

In Ergänzung zu den Kapiteln 2.1 bis 2.3 wird hier insbesondere die Überarbeitung/ Neuauslegung oder Erweiterung bestehender Anlagekonzepte verstanden.

Nutzen:

Optimierung der bestehenden Konzepte/ Anlagen aufgrund neuer oder zusätzlicher Anforderungen mit dem Ziel der Verbesserung der Technik und der Wirtschaftlichkeit.

Verfahren und Aufwand:

Zur Ableitung von Verbesserungspotentialen sind Verfügbarkeitsstatistiken und Nichtverfügbarkeit im Zusammenwirken mit anderen Kennwerten eine wichtige Informationsquelle. Der Vergleich der Betriebswerte mit den Auslegungsparametern oder zu externen, vergleichbaren Werten ist zu führen. Die Ergebnisse dieses Vergleichs sind für die Neufestlegung der Parameter zu nutzen. Die weitere Vorgehensweise entspricht den Kapiteln 1.2 und 2.1 bis 2.3.

Es ist mindestens die Analyse von Arbeitsverfügbarkeiten und die NV-Struktur von vergleichbaren Anlagen zu verwenden.

Empfehlung:

Zur Bewertung und Analyse der Kraftwerks-Anlagen und zur Ableitung von Modifikationen ist die Auswertung und Bewertung der Verfügbarkeitsstatistik nach VGB zu empfehlen.

3 Neubau oder Anlagenmodifikation

3.1 Genehmigungsaufgaben

Unter Genehmigungsaufgaben wird die Einhaltung der aus Genehmigungen resultierenden Kennzahlen für den Neubau oder der Modifikation von Anlagen verstanden.

Nutzen:

Durch Einhaltung der vorgeschriebenen Genehmigungsaufgaben (Grenzwerte) kann die Errichtung von Anlagen oder der ordnungsgemäße Betrieb sichergestellt werden.

Verfahren und Aufwand:

In allen Lebensphasen einer Kraftwerksanlage sind die Betriebsgenehmigungen und Genehmigungsaufgaben zu beachten.

Die Verfügbarkeit/ Nichtverfügbarkeit von Einzelkomponenten ist eine Grundlage zur Erfüllung dieser Genehmigungen und Aufgaben. Im Vordergrund steht insbesondere die Nichtverfügbarkeitsstruktur der daran beteiligten Anlagenkomponenten und Systeme.

Für noch nicht realisierte Konzepte ist die Auswirkung der Nichtverfügbarkeitsstruktur auf die Genehmigungswerte zu prüfen (eventuell sind zusätzliche Redundanzen oder andere technische Lösungen u.a. erforderlich). Für Anlagen in Betrieb ist ein ständiger Vergleich der Anlagen-Nichtverfügbarkeit in Verbindung mit den Betriebswerten und den Grenzwerten der Genehmigung zu führen.

Empfehlung:

Die kontinuierliche Erfassung und Analyse von Nichtverfügbarkeits-Ereignissen ist unumgänglich.

Beispiel 3.1:

3.2 Angebot/ Bestellung/ Gewährleistung

In diesem Kapitel werden die Kennwerte für den Vorgang zur Angebotsanfrage und für die Auftragsauslösung/ Bestellvorgang beschrieben.

Nutzen:

Anhand von Verfügbarkeitskennwerten mit den jeweiligen Grenzwerten muss der Lieferant dem Auftraggeber die gewünschten Eigenschaften für die Anlage anbieten. Die Gewährleistungsanforderungen werden eindeutig beschrieben.

Verfahren und Aufwand:

Für den Neubau und die Modifikation von Anlagen sind die in den vorausgegangenen Kapiteln 1 und 2 beschriebenen und dargestellten Verfügbarkeitswerte (z.B. Arbeitsverfügbarkeit, Zeitverfügbarkeit, Nichtverfügbarkeit, hier insbesondere der ungeplante Anteil von Haupt- bzw. Teilkomponenten) in der Anfrage gegenüber dem Hersteller bis zur Bestellung durch den Käufer zu fordern. Diese anlagenbeschreibenden Daten können aus den Betriebserfahrungen vergleichbarer Anlagen gewonnen werden, oder aus Quellen wie den VGB-Datenbanken ermittelt werden.

Je nach Lieferumfang müssen sich in der Anfrage/Bestellung die anlagenbeschreibenden Daten (Aussage und Qualität) auf das Anlagensystem oder die Anlagenkomponente beziehen.

Zur Bestimmung dieser Daten sind die Verfügbarkeitsbegriffe und –kennwerte in der VDEW-/VGB-Richtlinie „Verfügbarkeit in Wärmekraftwerken“ zu nutzen .

Empfehlung:

In der Anfrage und Bestellung sind Verfügbarkeitskennwerte zur eindeutigen Beschreibung der Gebrauchseigenschaften der Anlage auszuweisen. Dabei ist auf eine klare Sprachregelung gemäß den Begriffsbestimmungen nach VDEW/VGB zu achten.

Beispiel 3.2:

3.3 Ersatzteilhaltung/ Reserveteile

In diesem Kapitel wird der Einfluss der Nichtverfügbarkeitsstruktur auf die Ersatzteilhaltung und die Vorhaltung von Reserveteilen betrachtet.

Nutzen:

Das Kostenoptimum von Anlagen-Nichtverfügbarkeiten eines Anlagensystem oder der Anlagenkomponente und der zeitpunktgerechten Ersatzteilbeschaffung oder Reserveteilvorhaltung bestimmt die Wirtschaftlichkeit des Gesamtprozesses.

Verfahren und Aufwand:

Die Nichtverfügbarkeitsstruktur der Anlagenkomponenten und andererseits die Zeit und Kosten zur Wiederbeschaffung dieser bestimmt den Umfang der Reserveteilvorhaltung und die Art und Weise der Ersatzteilbeschaffung einschließlich der Lagerung.

Bei Beschaffungsdauer/-kosten ist zu beachten, wer diese Teile vorhält (Pool, Hersteller, Servicegesellschaft, u.a.) und inwieweit diese aufgrund des fortschreitenden Standes der Technik eine neue Ersatzteilstrategie erfordern.

Ausschlaggebend für die Notwendigkeit einer Lagerhaltung und die Reserveteilevorhaltung ist die Nichtverfügbarkeitsdauer der Gesamtanlage, beziehungsweise die NV-Dauer bestimmender Teilkomponenten. Für Neuanlagen gibt die Schwachstellenanalyse (Punkt 2.2) die Werte vor.

Für Anlagen in Betrieb ist die Erstausrüstung (Ersatzteile und Reserveteile) anhand der Werte aus der betrieblichen Nichtverfügbarkeitsanalyse den Erfordernissen anzupassen.

Erforderlich dafür ist als Mindestumfang die Ermittlung/ Erfassung der Nichtverfügbarkeitsstruktur auf Basis einer z. B. einheitlichen KKS-Verschlüsselung der technischen Komponenten.

Empfehlung:

Empfohlen wird die Schwachstellenanalyse für Neuanlagen und die kontinuierliche Nichtverfügbarkeits-Erfassung für die kritischen Komponenten bei Anlagen in Betrieb.

Beispiel 3.3:

3.4 Gewährleistungsüberprüfung

Unter der Gewährleistungsüberprüfung/ -garantie wird die Kontrolle der vertraglichen Einhaltung der Gebrauchseigenschaften wie die Verfügbarkeitszusagen verstanden.

Nutzen:

Eine spezifikationsgerechte Auslegung der Anlage wird sichergestellt. Ein wirtschaftlicher Verlust aufgrund von fehlenden Nichtverfügbarkeitsfestlegungen wird vermieden.

Verfahren und Aufwand:

Die unter Kapitel 3.2 vertraglich gebundenen Zielwerte/ Verfügbarkeiten, Nichtverfügbarkeiten sind durch eine kontinuierliche Erfassung und Nichtverfügbarkeitsanalyse auf ihre Erfüllung innerhalb des festgelegten Gewährleistungszeitraumes zu analysieren.

Empfehlung:

Die Durchführung einer Bestell-/ Vertrags-konformen Nichtverfügbarkeits-Statistik wird empfohlen.

Beispiel 3.4:

4 Anlagenbetrieb

4.1 Analyse des Anlagenbetriebes

Unter diesem Kapitel wird die Beurteilung des Anlagenbetriebs anhand von Verfügbarkeitskennziffern dargestellt.

Nutzen:

Es können Aussagen und Entscheidungen zu Maß und Entwicklung der Gebrauchseigenschaften der Anlage wie z. B. Anlagenstabilität, Manövrierfähigkeit und der Ausnutzung getroffen werden.

Es lassen sich Maßnahmen zur Verbesserung im Betreiben der Anlage ableiten. Als Nutzen ergibt sich unter anderen:

- ein störungsfreier Betrieb
- ein optimaler Anlageneinsatz
- der Nachweis der Wirksamkeit realisierter Instandhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen
- die Minimierung der Kosten

Verfahren und Aufwand:

Die kontinuierliche Erfassung und Auswertung von Verfügbarkeiten und Nichtverfügbarkeits-Ereignissen ist zur Beurteilung des Anlagenbetriebes zwingend notwendig .

Die Tiefe der angewandten Datenermittlung orientiert sich an Vorgaben zum Beispiel aus der Schwachstellenanalyse oder Unternehmensvorgaben (Sicherheitsaspekte, Überwachungsnotwendigkeiten, ...).

Als Vergleichswerte für die eigenen Verfügbarkeitswerte können folgende Quellen dienen:

- Planvorgaben (Plan-/Ist-Vergleich, Bonus-Malus-Wertung)
- Vergleichswerte aus vorangegangenen Betriebszeiten (Entwicklungsanalyse)
- Vergleichswerte anderer Erzeugereinheiten (Benchmarking)

Zur Beurteilung der ermittelten Werte können

- Durchschnittswerte
- Klassen
- Bestes Quartil
- Bestwerte gebildet werden.

Bedingung ist die gleichartige Erfassung und Bewertung anhand einer einheitlichen Vorgehensweise z.B. auf der Grundlage des VGB-Regelwerkes.

Empfehlung:

Als Mindestumfang wird der vom VGB in der Richtlinie R 140 dargestellte Analysenumfang für die überbetriebliche Datenerfassung vorgeschlagen.

Beispiel 4.1:

4.2 Instandhaltung

In diesem Kapitel wird auf die Unterstützung der Instandhaltungsplanung, -vorbereitung und Nachweis der Wirksamkeit von Instandhaltungsmaßnahmen durch Verfügbarkeitskennwerte eingegangen.

Nutzen:

Die Analyse von Nichtverfügbarkeiten/ Schwachstellen liefert Erkenntnisse zur Maßnahmenplanung von Reparaturen und dient als Orientierungsgröße zur Festlegung von Revisionsterminen. Sie kann zur Kontrolle der Ausfallhäufigkeit von Anlagenkomponenten verwendet werden.

Verfahren und Aufwand:

Voraussetzung ist die Zusammenführung der kontinuierlichen Verfügbarkeits-/Nichtverfügbarkeits-Analyse von Anlagenkomponenten mit den Instandhaltungs-Informationen (Ursache und Maßnahmen) sowie den Veränderungen in der Betriebsweise der Anlage.

Der Vergleich der Verfügbarkeits- und Instandhaltungs-Informationen bestätigt entweder die Wirksamkeit durchgeführter Maßnahmen oder er gibt Hinweise auf Veränderungen. Entscheidend ist die Kenntnis der die Nichtverfügbarkeiten auslösenden Ursachen.

Der Aufwand für dieses Verfahren erfordert eine kontinuierliche Erfassung und Auswertung der Nichtverfügbarkeits-Ereignisse einschließlich der Ursachen-Beschreibung auf Komponentenebene. Dazu kann der Ereignis-Merkmal-Schlüssel nach VGB verwendet werden.

Empfehlung:

Die Kopplung der Nichtverfügbarkeitsermittlung von Anlagenkomponenten mit den Instandhaltungs-Informationen (Ursache und Maßnahme) der Anlagenverfügbarkeitsbestimmenden Komponenten wird empfohlen.

Dazu sind betriebsintern Kriterien festzulegen (zum Beispiel ab einer Nichtverfügbarkeitsarbeit der Anlage > 5% von der Nennleistung), ab denen dieses Verfahren angewandt wird.

Beispiel 4.2:

4.3 Berichtswesen

Unter Berichtswesen werden Inhalt, Form und Systematik von Verfügbarkeitsdarstellung verstanden.

Nutzen:

Die Information der Verfügbarkeits-Kennwerte der Anlage und die einheitliche Darstellung im Berichtswesen wird für alle am Prozess Beteiligten gewährleistet.

Verfahren und Aufwand:

Erfassung und Auswertung müssen einheitlich beispielsweise gemäß Regelwerk der VGB erfolgen. Auf den Ergebnissen aufbauend ist eine einheitliche und regelmäßige Darstellung in Betriebs- und externen Berichten vorzunehmen. Vorzugsweise sind Entwicklungsreihen mit entsprechenden Kommentaren als Interpretationshilfen zu wählen.

Die Art der Darstellung hat sich an den Interessen des Nutzers (Kunde, Techniker, Behörde, ...) zu orientieren.

Empfehlung:

Empfohlen wird der Aufbau einer Berichtsform zur einheitlichen und regelmäßigen Darstellung von Verfügbarkeits-/ Nichtverfügbarkeits-Information. Darüber hinaus können die Kennwerte als Zielführungsgrößen verwendet werden. Die Verwendung von EDV-Systemen wird empfohlen.

Beispiel 4.3:

4.4 Erfassung und Dokumentation

In diesem Kapitel werden die Methoden zur Erfassung und Archivierung von Verfügbarkeitsinformationen behandelt.

Nutzen:

Eine einheitliche Methode zur Erfassung von Verfügbarkeitsinformationen gewährleistet die Kenntnis zu den Gebrauchseigenschaften einer Anlage.

Die Archivierung von verfügbarkeitsrelevanten Daten vorrangig in einem EDV-Systemen sichert unabhängig von individuellen Wissensträgern die Auswertbarkeit über die Lebensdauer der Anlage.

Verfahren und Aufwand:

Die Festlegungen zu Umfang und Tiefe des Kennwertesystems sind möglichst früh zu treffen und mit allen Beteiligten abzustimmen. Die Erfassung der Daten muss nach einem einheitlichen Methodik durchgeführt werden, anzuwenden ist das VGB-Regelwerk.

Sie ist durch ein EDV-System zu unterstützen. Dieses dient zur Auswertung, Dokumentation und Archivierung. Es muss die Anforderungen des Berichtswesens (nach Kapitel 4.3) erfüllen.

Empfehlung:

Verfügbarkeitsinformationen sind auf der Grundlage des VGB-Regelwerkes zu erfassen und regelmäßig mit den Datenlieferanten abzustimmen.

Es wird die ausschließliche Verwendung von EDV für die Erfassung von Verfügbarkeitskennzahlen von Anlagensystemen und Komponenten empfohlen.

Das ausgewählte EDV-System muss eine Implementierung in zukünftig andere Systeme ermöglichen. Es sind die Daten über die gesamte Anlagen-Lebensdauer vorzuhalten.

Beispiel 4.4:

4.5 Öffentlichkeitsarbeit

Unter Öffentlichkeitsarbeit soll hier die Außendarstellung von Verfügbarkeitskennwerten verstanden werden, um in der Öffentlichkeit über Transparenz die Akzeptanz der Kraftwerkstechnik zu erreichen.

Nutzen:

Das gemeinsame Verständnis von Kraftwerkern und der Öffentlichkeit gewährleistet die Akzeptanz über den Betriebszeitraum der Anlage und ist Voraussetzung für die Aufrechterhaltung oder Erweiterung z.B. der Betriebsgenehmigung u.a. und in vielen Fällen Voraussetzung zur Realisierung von Kostensenkungspotentialen.

Verfahren und Aufwand:

Verfügbarkeitsinformationen können zur Öffentlichkeitsarbeit verwandt werden. Bei dieser Nutzung stehen nicht Detailinformationen im Vordergrund. Stattdessen ist eine sorgfältige Auswahl der gewünschten Kennziffer im Hinblick auf die gewünschte Aussage zu treffen, vorrangig sind Verfügbarkeitskennzahlen darzustellen durch die die Gesamtanlage charakterisiert wird. Es ist darauf zu achten, daß alle verwendeten Daten und Begriffe ausreichend und in einfacher Sprache erläutert und dargestellt werden, so dass sie von einem nicht fachkundigen Publikum verstanden werden können.

Die verwendeten Werte müssen trotzdem auf der Basis einschlägiger Regelwerke wie zum Beispiel der VGB gebildet sein, um belastbar zu sein.

Empfehlung:

Die Verwendung von Verfügbarkeitskennwerten in der Öffentlichkeitsarbeit ist vorzunehmen.

Empfehlenswert ist die Anwendung von Kennzahlen, die die Gebrauchseigenschaft der Gesamtanlage verdeutlicht und durch die Öffentlichkeit nachvollzogen werden kann.

Beispiel 4.5:

5 Wirtschaftliche Aspekte

5.1 Kraftwerkeinsatzplanung/ Ver- und Entsorgungsplanung

Verfügbarkeitskennzahlen sind eine Voraussetzung in der Kraftwerks-Einsatzplanung.

In iterativen Schritten wird die Bedarfsanforderung und der zu erwartende Einsatz der Kraftwerke/Kraftwerksblöcke/Anlagen einschließlich der Verbrauch an Brenn- und Einsatzstoffen geplant..

Nutzen:

Verfügbarkeitsinformationen ermöglichen die Planung des zukünftigen Kraftwerkeinsatzes. Sie sind damit eine wichtige Voraussetzung zur wirtschaftlichen Optimierung des Blockeinsatzes und des Einkaufes von zusätzlicher Energie.

Weiterhin sind sie Voraussetzung für die Beschaffung von Brenn- und Einsatzstoffen für die Erzeugungsanlagen.

Verfahren und Aufwand:

Für diese Anwendung sind wenigstens die zeitliche Entwicklung von Arbeitswerten, Kennzahlen der Anlagenverfügbarkeit/Nichtverfügbarkeit (und damit werden Leistungseinschränkungen eingeschlossen) für die Zukunft (kurz-, mittel-, langfristig) bereitzustellen. Grundlage für diese Prognosedaten sind die Informationen und Kennzahlen des vergangenen und gegenwärtigen Anlagenbetriebes.

Detailliertere Betrachtungen erfordern zusätzlich die Ermittlung von Häufigkeitsverteilung, Aussagen zur Einsatzweise (An- und Abfahrten, Ausnutzung) und die Dauer von Nichtverfügbarkeiten in den Kategorien „nicht disponibel“ und „disponibel“.

Voraussetzung für die Planungen sind die Kenntnis des prognostizierten Bedarfs, sowie die Kenntnis der blockweisen Kostenstruktur.

Im ersten Schritt wird unter Berücksichtigung des Verfügbarkeitsverhaltens der Blöcke und technischer Randbedingungen wie Verpflichtungen zu Lieferungen oder Reservevorhaltungen, Fernwärmebedarf und Einsatz-/Brennstoffcharakteristiken der Einsatz des Kraftwerksparks blockscharf geplant.

Im zweiten Schritt liefern die Planungen die Energiemengen je Brennstoffart. Diese ergeben im dritten Schritt die Mengengerüste für Brennstoffeinkauf, vertragsmäßige Sicherung der Reststoffverwertung, etc.

Diese Schritte werden bei Konkretisierung der Planung erneut durchlaufen und damit werden die Ergebnisse aktualisiert.

Empfehlung:

Es wird empfohlen, die Nichtverfügbarkeitsstruktur in der oben beschriebenen Tiefe zur Optimierung der Einsatzplanung zu verwenden.

Beispiel 5.1:

5.2 Benchmarking: Vergleich von Anlagen

Bei diesem Verfahren werden die Gebrauchseigenschaften gleichartiger Anlagen mit der eigenen Anlagen bewertet. Das Benchmarking ist Voraussetzung zur Ableitung zukünftiger Ziele und Entscheidungen

Nutzen:

Das Benchmarking von Anlagen ist Voraussetzung zur Hebung von Kostensenkungspotentialen. Durch den Vergleich der Gebrauchseigenschaften von Anlagensystemen und Komponenten anhand von Verfügbarkeitskennziffern können Zielstellungen zur Verbesserung abgeleitet werden.

Diese Zielstellungen bedeuten in aller Regel einen wirtschaftlicheren Betrieb und bessere Ausnutzung der Anlagen.

Verfahren und Aufwand:

Zuerst ist ein Untersuchungsziel zu formulieren (Gestehungskosten, Personalbedarf, Ersatzteile, ...). Bei der Auswahl der Anlagen, die zum Vergleich herangezogen werden sollen, ist zu entscheiden, ob gleichartige Anlagen von Wettbewerbern oder aber Anlagen anderer Industriebranchen mit gleichartiger Problematik im Untersuchungsziel verglichen werden sollen.

Die Vergleichsdaten sind durch eine einheitliche Methodik zu erfassen und zu analysieren.

Die Analyse zeigt die grundsätzlichen Unterschiede und verdeutlicht die Verbesserungspotentiale für die eigene Anlage.

Grundsätzlich sind alle Verfügbarkeits-Kennwerte für ein Benchmarking geeignet. Sie müssen nach einheitlichen Regeln wie zum Beispiel im Regelwerk der VGB gebildet und analysiert werden.

Empfehlung:

Die Anwendung von Benchmark mit den Informationen und Daten von anderen ist in regelmäßigen Abständen durchführen. Die Zwischenschaltung eines externen Beraters kann dabei sinnvoll sein. Zu gewährleisten ist eine einheitlichen Methodik der Datenerfassung und -bewertung.

Es wird empfohlen, das eigene Personal in den Prozess des Benchmark zu integrieren, mindestens aber bei der Erarbeitung der Verbesserungspotentiale einzubinden.

Beispiel 5.2:

5.3 Versicherungsfragen

Versichert werden Risiken von Kraftwerkskomponenten, die durch Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensumfang bestimmt sind, oder Nichtverfügbarkeiten.

Nutzen:

Verfügbarkeitskennwerte liefern Hinweise, ob ein Risiko günstiger versichert oder selbst getragen werden sollte. Langfristig gute Kennwerte der Verfügbarkeit können bei den Vertragsverhandlungen zur Reduzierung des Versicherungsbeitrags verwendet werden.

Verfahren und Aufwand:

Da wegen der Schadenshöhe meist nur Großkomponenten versichert werden, kann für diesen Anwendungsfall die Betrachtung auf die Nichtverfügbarkeitsanalyse von Großkomponenten beschränkt bleiben. Für die Daten der eigenen Anlage ist die komplette Zeitreihe seit Übernahme zu fordern. Der Versicherer wird in der Regel die Auflistung aller Ereignisse einschließlich Beschreibung und zugehörige Untersuchungsberichte verlangen. Als Vergleichswerte können überbetriebliche Statistiken wie zum Beispiel die technisch-wissenschaftlichen Berichte des VGB herangezogen werden.

Die Arbeitsweise ist stark abhängig davon, ob eine Versicherung abgeschlossen, ein Schadensfall abgewickelt oder eine Entscheidung zwischen den Alternativen „Pool oder Versicherung“ gefällt werden soll.

Empfehlung:

Es wird die regelmäßige Auswertung der Nichtverfügbarkeitsdaten zu Großkomponenten im Hinblick auf Häufigkeit, Schadensumfang und Schadensdauer in Abhängigkeit von der Ersatzteilhaltung empfohlen.

Beispiel 5.3:

5.4 Hinweise für die Budgetplanung

Verfügbarkeitskennwerte können zur Festlegung des Budgets für die Instandhaltung, Ersatzteilhaltung oder Nachrüstung/ Umbau von Anlagen benutzt werden.

Nutzen:

Die Höhe des eingesetzten Budgets/Kosten für die Instandhaltung der Anlage und die daraus resultierende Nichtverfügbarkeit hat unmittelbaren Einfluss auf die Gesamtkosten der Anlage. Beide Faktoren sind zu einem wirtschaftlichen Optimum zu führen, darin liegt der Nutzen.

Verfahren und Aufwand:

In der Budgetplanung zur Instandhaltung von Anlagen sind allgemein zwei Fälle gegenüberzustellen, um das Optimum zu ermitteln. Zu beachten ist dabei insbesondere die gegenwärtige und die zukünftige Auslastung der Anlage:

1. Es werden keine Maßnahmen ergriffen. Für diesen Fall ist der Verlauf der Verfügbarkeit/ Nichtverfügbarkeit zu prognostizieren und monetär zu bewerten.
2. Es wird die angewendete Instandhaltungsstrategie und die daraus resultierende Verfügbarkeit bewertet. Neben den direkten Kosten für die Maßnahmen sind die Einsparungen durch eine verbesserte Verfügbarkeit zu beziffern.

Die Gegenüberstellung der beiden Kostenvarianten für die gleichen Zeithorizonte ermöglicht die Entscheidung für oder wider der Durchführung der angedachten Maßnahme.

Als Datengrundlage ist die Nichtverfügbarkeitsanalyse auf Komponentenebene unerlässlich. Als Zusatzinformationsgröße sollten Häufigkeit und Ausfalldauern vor dem Hintergrund des geforderten Einsatzes herangezogen werden.

Empfehlung:

Die Erfassung der Instandhaltungskosten/ -budget und die Nichtverfügbarkeit/Verfügbarkeit der Anlage bzw. von Komponenten muss erfolgen.

Die Analyse des eingesetzten Instandhaltungsbudgets und die Auswirkungen auf die Nichtverfügbarkeit ist durchzuführen.

Beispiel 5.4:

Literatur

- KKS Kraftwerk-Kennzeichensystem – Richtlinie zur Anwendung und Schlüsselteil, (VGB-B 105), Richtlinie 4. Ausgabe 1995, Schlüsselteil 4. Ausgabe 1991
und
KKS Power Plant Classification System – Guidelines for Application and Key Part, (VGB-B 105 e), 2nd Edition 1992
VGB-KRAFTWERKSTECHNIK, Essen
- VDEW/VGB – „Begriffe der Versorgungswirtschaft“
Teil B – „Elektrizität und Fernwärme“
Heft 3 – „Verfügbarkeit von Wärmekraftwerken“
6. Ausgabe 1999
VWEW-Verlag, Frankfurt
- VGB-Richtlinie
Analyse der Nichtverfügbarkeit von Wärmekraftwerken – Anleitung zur Durchführung, (VGB-R 140), 2. Ausgabe 1999
VGB-KRAFTWERKSTECHNIK, Essen
- VGB – Technisch-wissenschaftliche Berichte „Wärmekraftwerke“
„Verfügbarkeit von Wärmekraftwerken“
VGB TW 103
27. Ausgabe 1998
VGB-KRAFTWERKSTECHNIK, Essen
- VGB – Technisch-wissenschaftliche Berichte „Wärmekraftwerke“
„Analyse der Nichtverfügbarkeit von Wärmekraftwerken“
VGB TW 103A
10. Ausgabe 1998
VGB-KRAFTWERKSTECHNIK, Essen