

# Kostenoptimierter Anlagenbetrieb – Benchmarking

Michael Höling und Oliver Müller

1.	Instandhaltungskosten .....	113
1.1.	Einflussfaktoren .....	113
1.1.1.	Anlagenalter.....	113
1.1.2.	Eingesetzte Anlagentechnik .....	114
1.1.3.	Instandhaltungsstrategie.....	114
1.1.4.	Brennstoffinput .....	115
1.1.5.	Fahrweise der Anlage/Arbeitsverfügbarkeit/ Thermische Belastung.....	115
1.2.	Teilanlagenbezogene Bewertung der Instandhaltungskosten.....	116
1.3.	Kosteneinsparpotenziale/Optimierungsmöglichkeiten .....	117
1.3.1.	Instandhaltungsstrategie.....	117
1.3.2.	Beschaffungsoptimierung.....	118
1.3.3.	Anwendung <i>Best-Practice</i> .....	119
1.3.4.	Anlagentechnische Optimierung .....	120
1.4.	Fazit Instandhaltungskosten .....	120
2.	Betriebsmittel- und Reststoffentsorgungskosten.....	123
2.1.	Einflussfaktoren .....	123
2.1.1.	Einfluss des Brennstoffs .....	123
2.1.2.	Einfluss der Technik zur Abgasreinigung .....	124
2.2.	Kosteneinsparpotentiale/Optimierungsmöglichkeiten.....	125
2.2.1.	Stöchiometrieverbesserung.....	126
2.2.2.	Investitionsstrategie .....	127
2.3.	Fazit Betriebsmittel- und Reststoffentsorgungskosten.....	128
3.	Zusammenfassung .....	128

Die E.ON Energy from Waste AG (EEW) steuert im E.ON-Konzern die Aktivitäten im Bereich Strom-, Fernwärme-, und Prozessdampferzeugung aus Abfall- und Ersatzbrennstoffen. Die EEW betreibt derzeit direkt bzw. über Beteiligungen 18 Abfallheizkraftwerke sowie Ersatzbrennstoffkraftwerke mit insgesamt 36 Verbrennungslinien und einer technischen Verbrennungskapazität von etwa 5,1 Millionen Tonnen pro Jahr. In Deutschland ist die EEW mit einem Marktanteil von zwanzig Prozent, dies entspricht einer technischen Verbrennungskapazität von etwa 4,7 Millionen Tonnen pro Jahr, Marktführer.



Bild 1:

Standorte der E.ON Energy from Waste AG

Benchmarking bietet durch die Bildung von Kennzahlen Vergleichs- und Informationsmöglichkeiten über angewandte Praktiken, Kosten und Technologie. Zwar liefert ein Benchmarking keine Optimierungskonzepte, es werden jedoch Ansatzpunkte zur Optimierung der Betriebskosten und zur Auswahl der Anlagentechnologie aufgezeigt.

Die Kennzahlen können im Rahmen von Planung, Genehmigung, Errichtung und Inbetriebnahme von Neuanlagen sowie zur Optimierung von Bestandsanlagen und als Grundlage für die Diskussion um *Best available Technologies (BAT)* bzw. *Best practice* genutzt werden.

Aufgrund sich verändernder Marktbedingungen werden verstärkt wirtschaftliche Aspekte den Betriebsprozess beeinflussen. Um auf betrieblicher Ebene kontinuierlich eine Kostenführerschaft zu erreichen, ist eine konsequente Identifikation betriebsinterner sowie marktbezogener Optimierungsmöglichkeiten unerlässlich.

Mit 18 Anlagenstandorten unterschiedlichen Alters und verschiedener Anlagentechnik ist es für die EEW-Gruppe möglich, aussagefähige, interne Benchmarkstudien durchzuführen. Dies erfolgt in einem jährlichen Rhythmus. Darüber hinaus wird in mehrjährigen Abständen auch ein externes Benchmarking in Auftrag gegeben.

Die Bildung von Kennzahlen ermöglicht für jede Anlage eine Einschätzung der eigenen technischen und wirtschaftlichen Position im Vergleich zum Gruppenbesten und gibt wichtige Impulse für die eigene Leistungsverbesserung, insbesondere anhand der Kenntnis von potenziellen Möglichkeiten vorhandener Technologien. Ziel ist es, aus diesem neugewonnenen Know-how eine weitere Effizienzsteigerung zu erreichen und die einzelnen Standorte sowohl technisch als auch wirtschaftlich weiterzuentwickeln.

Um trotz des unterschiedlichen Anlagenalters und der Anlagengröße eine möglichst gute Vergleichbarkeit zwischen den Anlagen zu erreichen, wurden die betrachteten Kosten auf EUR/t<sub>Durchsatz</sub> normiert. Ein weiterer Punkt, der bei einem solchen Vergleich, speziell was die Instandhaltungskosten betrifft, beachtet werden muss, ist die unterschiedliche Art der Kostenverbuchung. So können gleiche Maßnahmen, z.B. Austausch eines Aggregates, bei einer Anlage als Invest mit entsprechender Abschreibung, bei einer anderen Anlage als Aufwand verbucht werden.

Nachfolgend werden zu den Instandhaltungs- und Betriebsmittel-/Reststoffentsorgungskosten die Einflussfaktoren aufgezeigt und die Optimierungsmöglichkeiten beschrieben.

## 1. Instandhaltungskosten

Um eine sinnvolle Auswertung der Instandhaltungsaufwendungen im Rahmen eines Benchmarking machen zu können, ist es erforderlich die Kosten den einzelnen Anlagenteilen zuzuordnen. Eine Aufteilung der Kosten anhand von Kostenstellen (PSP-Elementen) hat sich hierbei als äußerst hilfreich erwiesen. Eine solche Aufteilung bietet auch Vorteile bei der Kostenplanung und -kontrolle sowie bei der Auftragsabwicklung.

### 1.1. Einflussfaktoren

Die Höhe der Instandhaltungskosten hängt im Wesentlichen von folgenden Faktoren ab:

- Anlagenalter,
- eingesetzte Anlagentechnik,
- Instandhaltungsstrategie,
- Brennstoffinput,
- Fahrweise/Arbeitsverfügbarkeit,
- thermische Belastung.

Diese Faktoren werden nachfolgend näher erläutert und ihre Auswirkungen auf die Instandhaltungskosten beschrieben.

#### 1.1.1. Anlagenalter

Einen wesentlichen Einfluss auf die Instandhaltungskosten hat das Alter einer Anlage. An folgendem Beispiel eines Abfallheizkraftwerks (Bild 2) ist dieser Zusammenhang deutlich zu erkennen. Mit zunehmendem Alter der Anlage, steigen

auch die Aufwendungen für die Instandhaltung. Wie Bild 2 zeigt, verdoppeln sich die Instandhaltungskosten während der ersten zwölf Betriebsjahre. Dabei spielt Verschleiß genauso wie Alterungsprozesse eine wichtige Rolle. Des Weiteren sind in der grafischen Darstellung die typischen Schwankungen der Instandhaltungskosten erkennbar. Diese ergeben sich aus größeren Einzelmaßnahmen wie Austausch von Kesselteilen oder unterschiedlichen Revisionszyklen.

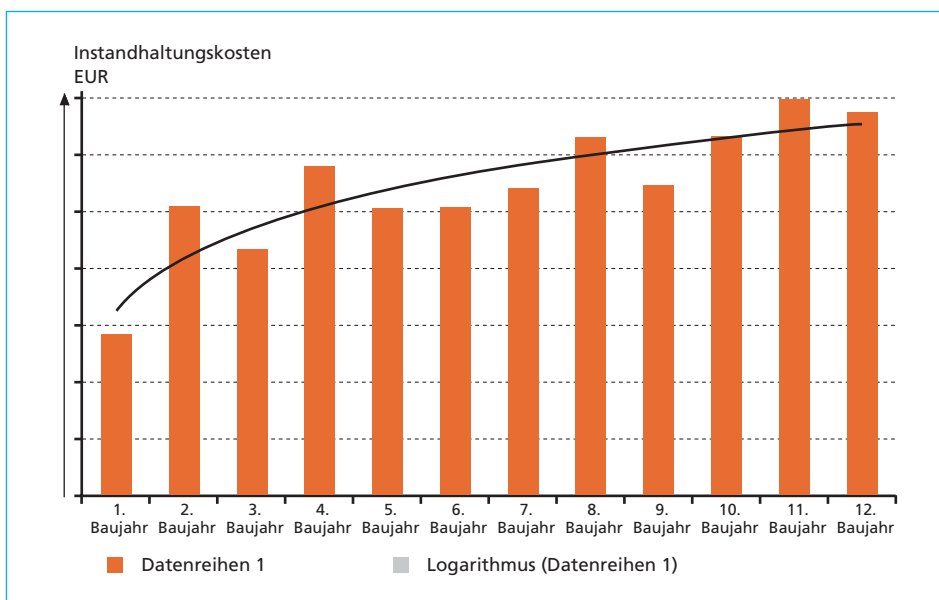


Bild 2: Instandhaltungskosten in Abhängigkeit vom Anlagenalter

### 1.1.2. Eingesetzte Anlagentechnik

Großen Einfluss auf die Instandhaltungskosten hat auch die in der Anlage eingesetzte Technik. Die sich daraus ergebende Komplexität wirkt sich entsprechend positiv oder negativ auf die Instandhaltungskosten aus.

Ebenso spielt die Auslegung des Kessels eine wichtige Rolle. So beeinflussen Faktoren wie Werkstoffauswahl, Strömungsgeschwindigkeit, Heizflächenbelastung und Oberflächentemperatur der Heizflächen entscheidend die Höhe der notwendigen Instandhaltungsaufwendungen. Aus diesem Grund sollte bei der Auswahl des Kessels nicht allein die Höhe der Investition im Vordergrund stehen, sondern es ist eine Vollkostenbetrachtung über den geplanten Betriebszeitraum erforderlich.

### 1.1.3. Instandhaltungsstrategie

Weiterhin spielen die unterschiedlichen Instandhaltungsstrategien in den Anlagen eine wichtige Rolle. Die Instandhaltungsstrategien beinhalten im Wesentlichen die Aspekte:

- Revisionszyklen,
- Instandhaltungsabwicklung,
- Auftragswesen (Pauschalverträge, Rahmenverträge usw.),
- Instandhaltungskonzept inklusive Risikobewertung (zustandsorientiert, ereignisorientiert, vorbeugend).

EEW hat eine übergreifende Instandhaltungsstrategie für alle Anlagen verbindlich eingeführt. In Kapitel 1.3.1. werden die Grundzüge dieser Instandhaltungsstrategie beschrieben.

#### 1.1.4. Brennstoffinput

Der eingesetzte Brennstoff spielt ebenfalls eine wesentliche Rolle bei den Instandhaltungsaufwendungen. Die Brennstoffqualität beeinflusst die Verschmutzungsneigung und die thermische Belastung von Heizflächen und Feuerfestmaterialien. Hierbei sind vor allem die Chlorfrachten und die Heizwerte im Abfallinput zu nennen. Die bei der Verbrennung freigesetzten Chlorfrachten können zu erheblichen Korrosionsprozessen im Kessel und den nachgeschalteten Anlagenteilen führen. Diese Korrosionseffekte werden u.a. durch schlecht eingestellte Feuerleistungsregelungen, Feuerschieflagen, Strähnenbildungen, Temperatur der Wärmetauscherflächen und reduzierende Atmosphäre im Kessel maßgeblich verstärkt. Weiterhin sind die Störstoffe im Inputmaterial unter Verschleißgesichtspunkten zu berücksichtigen.

#### 1.1.5. Fahrweise der Anlage/Arbeitsverfügbarkeit/ Thermische Belastung

Ein weiterer Faktor, der einen entscheidenden Einfluss auf die Instandhaltungskosten hat ist die Arbeitsverfügbarkeit der Anlage.

Die Arbeitsverfügbarkeit ist gemäß EEW-Definition ein Maß für die Ausnutzung einer Anlage in einem definierten Zeitraum. Sie gibt das Verhältnis von produzierter Dampfmenge zu theoretisch möglicher erzeugter Dampfmenge bei 100 Prozent Last laut Feuerungsleistungsdiagramm in dem betrachteten Zeitraum an.

Folgender Sachverhalt wurde dabei festgestellt:

Je höher die Zeit- und Arbeitsverfügbarkeiten sind, desto größer ist der Verschleiß, und desto höher sind die Instandhaltungskosten. Insbesondere die Arbeitsverfügbarkeit hat große Auswirkungen auf die Instandhaltungsaufwendungen.

Der Einfluss der Arbeitsverfügbarkeit auf die spezifischen Instandhaltungskosten ist in Bild 3 beispielhaft an drei Anlagen dargestellt:

Die Fahrweise der Anlage und das Revisionskonzept sollten auf die zur Verfügung stehende Brennstoffmenge angepasst werden. Eine möglichst verschleißarme Fahrweise ist zu wählen. Hierbei ist jedoch eine überproportionale Verschlechterung des energetischen Wirkungsgrades der Anlage durch Teillastbetrieb soweit

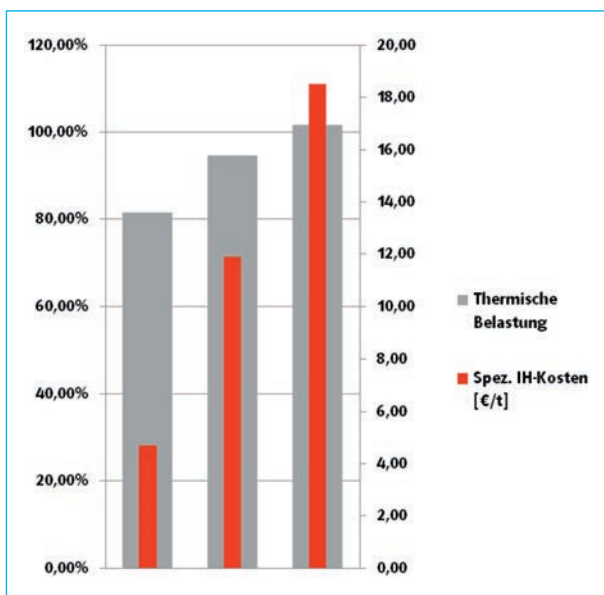


Bild 3:

Abhängigkeit der Instandhaltungskosten von der thermischen Belastung

möglich zu vermeiden.

## 1.2. Teilanlagenbezogenen Bewertung der Instandhaltungskosten

Um die Kostentreiber ermitteln zu können, wurden die jährlichen Instandhaltungskosten nach Anlagenteilen aufgeschlüsselt. Die Kostenaufteilung für die EEW-Anlagen, bezogen auf die wichtigsten Anlagenbereiche, sieht wie folgt aus:

- Kesselbereich 50 %
- gemeinsame Anlagen und sonstige
- Anlagenteile, die keiner Linie zugeordnet werden können 36 %
- Abgasreinigung 14 %

Diese Aufstellung zeigt, dass im Mittel für alle EEW-Anlagen der überwiegende Teil der Instandhaltungskosten im Bereich des Kessels anfällt. Gründe hierfür sind die extremen Bedingungen im Kessel bedingt durch hohe Abgastemperaturen in Verbindung mit aggressiven Bestandteilen. Die Folge sind entsprechende Schäden am Druckkörper.

Mit etwa 14 Prozent an den Gesamtinstandhaltungskosten ist der Anteil für die Abgasreinigungsanlagen wesentlich niedriger als für den Bereich Kessel. Gründe hierfür sind geringere Belastungen durch niedrigere Abgastemperaturen und die damit bedingten Einsatzmöglichkeiten von korrosionsresistenten Werkstoffen wie Kunststoffe und gummierte Bauteile.

Ein wesentlicher Kostenfaktor mit 36 Prozent stellen die gemeinsamen Anlagenteile dar. Die Hauptkostenträger hier sind:

- Turbine/Generator,
- Kühlkreisläufe,
- Gebäude/Infrastruktur,
- E- und Leittechnik,
- Krananlagen.

### 1.3. Kosteneinsparpotenziale/Optimierungsmöglichkeiten

Um eine Kosteneinsparung bei den Instandhaltungsaufwendungen zu erzielen, wurden mehrere Möglichkeiten identifiziert und innerhalb der EEW umgesetzt.

#### 1.3.1. Instandhaltungsstrategie

Innerhalb der EEW-Gruppe wurde eine verbindliche Instandhaltungsstrategie festgelegt. Ziel dieser Instandhaltungsstrategie ist eine Reduzierung der Kosten unter Beibehaltung der EEW-Qualitätsanforderungen.

Es wurden Auswahlkriterien zur Ermittlung der optimalen Instandhaltungsstrategie für die einzelnen Anlagenteile festgelegt. Hauptpunkte hierbei sind eine weitestgehende Ausschöpfung des Abnutzungsvorrates der einzelnen Komponenten und eine Risikobewertung anhand einer Risikomatrix in Abhängigkeit von Ausfallwahrscheinlichkeit zu Ausfallkosten bzw. -folgen.

Diese Risikobewertung stellt sich wie folgt dar.

Ausfallwahrscheinlichkeit	5	C	C	D	E	E
	4	B	C	C	D	E
	3	B	C	C	C	D
	2	A	B	C	C	C
	1	A	A	B	B	C
		1	2	3	4	5
<b>Anlagenausfallkosten / Auswirkungen</b>						

Bild 4:

Risikoentscheidungsmatrix

Bei der Ausfallwahrscheinlichkeit werden die standortspezifischen Gegebenheiten, z.B. Abzehrrate, berücksichtigt.

So können gleiche Wandstärken von Kesselrohren (z.B. 3,1 mm), in Abhängigkeit der Abzehrrate, durch unterschiedliche Reststandzeiten zu unterschiedlichen Instandhaltungsmaßnahmen führen, bzw. können gleiche Maßnahmen (z.B. Rohrbündeltausch) bei unterschiedlichen Wandstärken erforderlich sein.

Risikoklasse	Auswirkungen auf die Instandhaltung (grundsätzliche Einteilung)
A	Ausfallbedingte Instandhaltung
B	Zustandsabhängige Instandhaltung mit geringem Inspektions- und Überwachungsaufwand (Komponenten spezifisch)
C	Zustandsabhängige Instandhaltung mit erhöhtem Inspektions- und Überwachungsaufwand (Komponenten spezifisch)
D	Präventive Instandhaltung
E	Präventive Instandhaltung; gegebenenfalls System optimieren

Bild 5: Risikoklassen

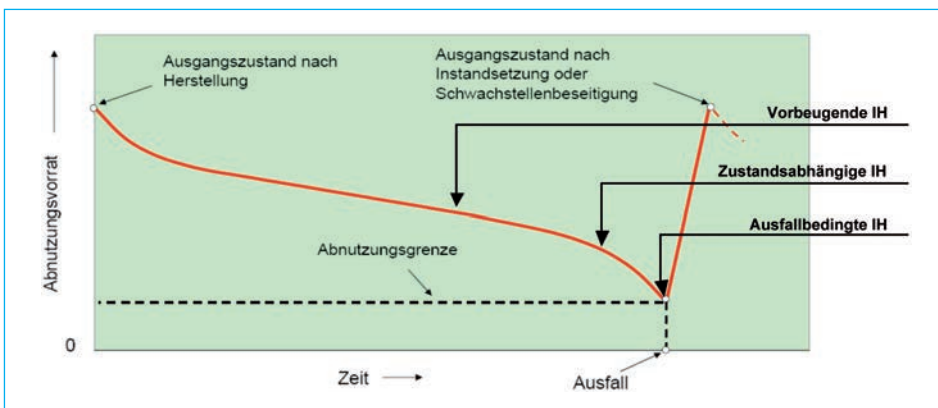


Bild 6: Abbau des Abnutzungs-vorrates und Wiederherstellung durch Instandhaltungsmaßnahme

### 1.3.2. Beschaffungsoptimierung

Ein großes Einsparpotenzial liegt auch in einer optimierten Beschaffung von Lieferungen und/oder Leistungen. Dies kann zum einen durch Bündelung von Aufträgen erfolgen, da hierdurch höhere Nachlässe vereinbart werden können. Zum anderen kann eine Reduzierung der Kosten durch die Vergabe von Lieferungen/Leistungen in Form von Pauschalaufträgen erzielt werden.

Vorteile durch den Einsatz von Pauschalaufträgen:

- bessere Planbarkeit und genauere Budget-Ermittlung.
- Angebote sind durch größere Kostentransparenz besser vergleichbar. Dies verbessert den Wettbewerb.



- Erhöhung der Arbeitsqualität durch Beschreibung der Qualitätsanforderungen im Leistungsverzeichnis.
- Auftragnehmer sind bestrebt, die Arbeiten zügig auszuführen.
- Anlagenstillstand kann dadurch ggf. verkürzt werden.
- Reisekosten, Spesen sowie Sonn- und Feiertagszuschläge sind in den Pauschalpreisen enthalten.
- Auftragnehmer trägt das Kalkulationsrisiko.
- Arbeitserleichterung für den Auftraggeber bei der Auftragsausführung vor Ort durch:
  - \* Wegfall der Stundenerfassung und des damit verbundenen Überwachungsaufwands.
  - \* Auftraggeber kann sich besser den Themen Qualitätssicherung und Arbeitssicherheit widmen.

Nachteile durch den Einsatz von Pauschalaufträgen:

- Bei der Kalkulation werden von den Anbietern unter Umständen Risikozuschläge eingerechnet.

Allerdings ist zu berücksichtigen, dass sich Arbeiten, die nach Aufwand abgerechnet werden, nicht gänzlich vermeiden lassen.

Um das Risiko für den Auftraggeber bei der Auftragsvergabe als Pauschalvertrag möglichst gering zu halten müssen im Vorfeld möglichst detaillierte Leistungsverzeichnisse für die jeweiligen Arbeiten erstellt werden. Innerhalb der EEW wurden für regelmäßig wiederkehrende Arbeiten Standardleistungsverzeichnisse erstellt, die immer wieder verwendet werden können und von den Anlagen nur noch auf die örtlichen Gegebenheiten angepasst werden müssen.

Etwa 30 bis 40 % der Instandhaltungsarbeiten können nach EEW-Erfahrung durch die Erstellung von Leistungsverzeichnissen als Pauschalaufträge vergeben werden.

### 1.3.3. Anwendung *Best-Practice*

Der Begriff *Best Practice*, auch Erfolgsmethode genannt, bezeichnet bewährte, optimale bzw. vorbildliche Methoden, Praktiken oder Vorgehensweisen im Unternehmen. Das bedeutet, positive Erfahrungen die bei einer Anlage gemacht werden, werden auf andere Anlagen übertragen.

Um eine Aussage treffen zu können, welches denn nun die *Best Practice* ist, ist es notwendig ein Benchmarking durchzuführen um den Besten einer Gruppe bzw. auf einem Sachgebiet herauszufinden. Dies ist ein kontinuierlicher Prozess. Durch veränderte Markt- und/oder Wettbewerbsbedingungen muss die *Best Practice* ständig beobachtet und neu beurteilt werden.

Beispiele für die Anwendung von *Best Practice* innerhalb der EEW-Gruppe sind:

- Empfehlung zur verschleißgünstigen Fahrweise der Anlagen in Abhängigkeit der Brennstoffverfügbarkeit.
- Empfehlung zum Einsatz von Feuerfestsystemen.

### 1.3.4. Anlagentechnische Optimierung

Ein weiterer wichtiger Ansatzpunkt bei der Kostenreduzierung ist die anlagentechnische Optimierung. Hierbei wird nach Alternativen zu kosten- und instandhaltungsintensiven Anlagenteilen gesucht. Aufgrund der Einsparung bei den Betriebs- und/oder Wartungskosten können sich hier auch größere Investitionen innerhalb kurzer Zeit amortisieren.

Beispielhaft wird eine solche anlagentechnische Optimierung innerhalb der EEW nachfolgend kurz beschrieben. Bei einer Anlage wurden die Erdgasbrenner zur Wiederaufheizung der Abgase vor dem DeNO<sub>x</sub>-Katalysator durch Dampf-Gas-Vorwärmer (DaGaVo) ersetzt. Außerdem werden die kosten- und wartungsintensive Abwasserbehandlungs- und Eindampfanlage, in der die Abwässer aus der nassen Abgasreinigung behandelt und eingedampft werden, stillgelegt. Hier kommt nun eine wesentlich einfachere Neutralisationseinrichtung zum Einsatz. Die Wäscherabwässer werden mit Kalkmilch neutralisiert und anschließend in einem neuen Sprühtrockner in den Abgasstrom eingedüst. Dort werden sie durch das Abgas verdampft und die trockenen Bestandteile werden im nachgeschalteten, vorhandenen E-Filter mit dem Flugstaub zusammen abgeschieden.

So konnte eine Vielzahl von Aggregaten entfallen und die zur externen Eindampfung benötigte Energie steht nun zur Fernwärme- und Stromerzeugung zur Verfügung.

### 1.4. Fazit Instandhaltungskosten

Hauptkostenverursacher ist eindeutig das zentrale Bauteil Kessel mit etwa fünfzig Prozent der Kosten. Mit etwa 14 Prozent an den Gesamtinstandhaltungskosten ist der Anteil für die Abgasreinigungsanlagen deutlich niedriger als für den Bereich Kessel.

Ein wesentlicher Kostenfaktor mit 36 Prozent stellen die gemeinsamen Anlagenteile mit den Hauptkostenträgern Turbinen, Generatoren, E – und Leittechnik sowie Gebäude – und Infrastruktur dar.

Die Höhe der Instandhaltungskosten hängt hauptsächlich von folgenden Faktoren ab:

- Anlagenalter,
- eingesetzte Anlagentechnik,
- Instandhaltungsstrategie,
- Brennstoffinput,
- Fahrweise/Arbeitsverfügbarkeit,
- thermische Belastung.

Nachfolgend sind die wesentlichen Möglichkeiten aufgeführt, durch die eine Kosteneinsparung bei den Instandhaltungsaufwendungen zu erzielen ist:

- Instandhaltungsstrategie,
- Beschaffungsoptimierung,

- Anwendung *Best Practice*,
- Anlagentechnische Optimierung.

Die Einführung einer verbindlichen Instandhaltungsstrategie, bei der für jedes Anlagenteil eine Risikobewertung durchgeführt wird, führt zu einer besseren Ausschöpfung des Abnutzungsvorrates. Hierdurch kann eine deutliche Reduzierung der Instandhaltungskosten erreicht werden.

Die Vergabe von Lieferungen/Leistungen in Form von Pauschalaufträgen trägt ebenfalls zur Kostenreduzierung bei. Etwa dreißig bis vierzig Prozent der Instandhaltungsarbeiten können in dieser Form vergeben werden.

Durch eine konsequente Umsetzung der unter Kapitel 1.3. beschriebenen Maßnahmen können nach EEW-Erfahrung die Instandhaltungskosten um etwa zehn bis zwanzig Prozent reduziert werden.

## 2. Betriebsmittel- und Reststoffentsorgungskosten

Die Betriebsmittelkosten eines Abfallheizkraftwerks entstehen hauptsächlich durch den Betrieb der Abgasreinigungsanlagen, den Einsatz von Primärenergieträgern (Gas, Öl) bei den Zünd- und Stützbrennern sowie bei der Wasseraufbereitung. Dabei hat die Art der eingesetzten Abgasreinigungstechnik einen wesentlichen Einfluss auf die Kosten. In den achtzehn Anlagen der EEW werden nahezu alle gängigen Abgasreinigungsverfahren eingesetzt. Es kommen trockene, quasitrockene, nasse sowie Kombi-Verfahren zum Einsatz.

Die Menge der eingesetzten Betriebsmittel in der Abgasreinigung, insbesondere bei den quasitrockenen und trockenen RGR-Verfahren, hat natürlich auch einen direkten Einfluss auf die Reststoffmenge und damit auf die Reststoffentsorgungskosten.

Die Reststoffentsorgungskosten hängen außerdem von lokalen Gegebenheiten und den damit verbundenen Entsorgungsmöglichkeiten ab.

Als Betriebsmittel im Sinne der von EEW durchgeführten Studie werden neben dem Verbrauch an Chemikalien wie Kalkhydrat, Natronlauge, Herdofenkoks auch die Verbräuche von Wasser, Heizöl, Gas und Strom einer Anlage bewertet.

### 2.1. Einflussfaktoren

Nachfolgend werden die Haupteinflussfaktoren auf die Betriebsmittel- und Reststoffentsorgungskosten beschrieben.

#### 2.1.1. Einfluss des Brennstoffs

Die Höhe des Betriebsmittelverbrauchs ist entscheidend von der Qualität des angelieferten Brennstoffs abhängig. Unter anderem hat dies Einfluss auf den Erdgas- bzw. Heizölverbrauch zum Stützbrennerbetrieb, da nötigenfalls Schwankungen im Heizwert ausgeglichen werden müssen.

Die Menge der eingesetzten Betriebsmittel, hier hauptsächlich die alkalisierenden Stoffe wie Natronlauge oder Kalkhydrat, wie sie zur Abscheidung der schädlichen Bestandteile in den Abgasen eingesetzt werden, wird wesentlich vom, über den Brennstoff eingebrachten Schadstoffinput beeinflusst. Hier spielen insbesondere die Chlor- und Schwefelfrachten eine entscheidende Rolle.

Die Betrachtung unterscheidet nicht zwischen Ersatzbrennstoff- und Hausmüllverbrennungsanlagen; diese werden hier gleich behandelt, obwohl teilweise Unterschiede in den Heizwerten und den Rohgaszusammensetzungen festzustellen sind.

### 2.1.2. Einfluss der Technik zur Abgasreinigung

Wie bereits dargestellt, hat die Art der Abgasreinigung (RGR) einen sehr großen Einfluss auf die Höhe der Betriebsmittel- und Reststoffentsorgungskosten.

Bei dem Trockensorptionsverfahren wird das Abgas meist zunächst durch Zugabe von Wasser bezüglich der Parameter Temperatur und Feuchte konditioniert. Beim Einsatz von Natriumbicarbonat ist eine Vorkonditionierung nicht unbedingt erforderlich. Nach der Konditionierung wird Natriumbicarbonat oder Kalkhydrat und Aktivkohle bzw. Herdofenkoks in den Abgasstrom eingedüst. Das Sorptionsmittel wird nach der Reaktion mit den im Abgas enthaltenen Schadstoffen durch einen Gewebefilter aus dem Abgasstrom abgeschieden.

Ähnliches gilt für das quasitrockene Verfahren. Hier wird anstatt Wasser Kalkmilch in den Abgasstrom eingedüst. Dieses Verfahren geht davon aus, dass Schwefeldioxid an feuchten Kalkpartikeln besser absorbiert als an trockenen. Auch bei diesem Verfahren kommen zusätzlich Aktivkohle bzw. Herdofenkoks zum Einsatz. Des Weiteren ist die zusätzliche Eindüsung von Kalkhydrat möglich. Die Abscheidung der staubförmigen Partikel erfolgt ebenfalls durch einen Gewebefilter.

Bei den nassen Verfahren erfolgt zunächst eine Staubabscheidung, bevor die Abgase in einen mehrstufigen Wäscher geleitet werden und die Schadstoffe unter Abkühlung des Abgases und unter Zufuhr von alkalischen Betriebsmitteln umgewandelt werden.

Beim Kombiverfahren wird dem Abgas, ähnlich dem trockenen bzw. quasitrockenen Verfahren zunächst Kalkhydrat bzw. Kalkmilch zugegeben. Nachdem in einem Gewebefilter die staubförmigen Partikel aus dem Abgasstrom abgeschieden wurden, wird das Abgas in einen (Kombi-) Wäscher geleitet, in dem unter Zufuhr von alkalischen Betriebsmitteln die Restschadstoffe abgeschieden werden.

Stöchiometrisch ist das nasse Verfahren das Beste, d.h. das Edukt, das zur Abscheidung des Schadstoffes eingesetzt wird, reagiert fast vollständig mit dem Schadstoff. Mit der nassen Abgasreinigungstechnik sind aber auch die höchsten Investitionen verbunden. In den vergangenen Jahren war verstärkt ein Trend zum Bau der quasitrockenen Abgasreinigungsanlagen festzustellen.

Zur Abscheidung der Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ) kommt entweder das SCR- (Selective catalytic reduction) oder das SNCR- (Selective none catalytic reduction) Verfahren zum Einsatz.

Beim SCR-Verfahren wird das  $\text{NO}_x$  unter Zugabe von Ammoniakwasser in einem Katalysator umgewandelt. Hierbei wird weniger Ammoniakwasser benötigt, da die SCR nur leicht überstöchiometrisch betrieben werden kann (Stöchiometrie-verhältnis etwa 1,0 bis 1,5). Nachteile sind hier je nach Anordnung des Katalysators die Notwendigkeit der Wiederaufheizung der Abgase vor Katalysator sowie der hohe Druckverlust über den Katalysator und der damit verbundenen Mehrverbrauch an Energie.

Beim SNCR-Verfahren wird das Ammoniakwasser direkt im Kessel dem Abgas zugegeben. Hier entfällt die Aufheizung der Abgase, dafür wird mehr Ammoniakwasser benötigt (Stöchiometrie-verhältnis etwa 2 bis 3).

Ein Vergleich der verschiedenen, in den EEW-Anlagen eingesetzten Systeme hat gezeigt, dass die kombinierten Abgasreinigungsverfahren, was die Betriebsmittel- und Reststoffentsorgungskosten anbelangt, die günstigsten Varianten darstellen.

Bei einer Vollkostenbetrachtung müssen, neben der Höhe der Investition, auch noch andere Einflussfaktoren wie Schadstoffinput, berücksichtigt werden (siehe Kapitel 2.2.2.).

An zweiter Stelle in Bezug auf die Betriebsmittel- und Reststoffentsorgungskosten stehen die nassen RGR- Verfahren, gefolgt von den Anlagen mit Quasitrockener Abgasreinigung.

Die höchsten Betriebsmittel- und Reststoffentsorgungskosten verursachen die trockenen RGR-Verfahren.

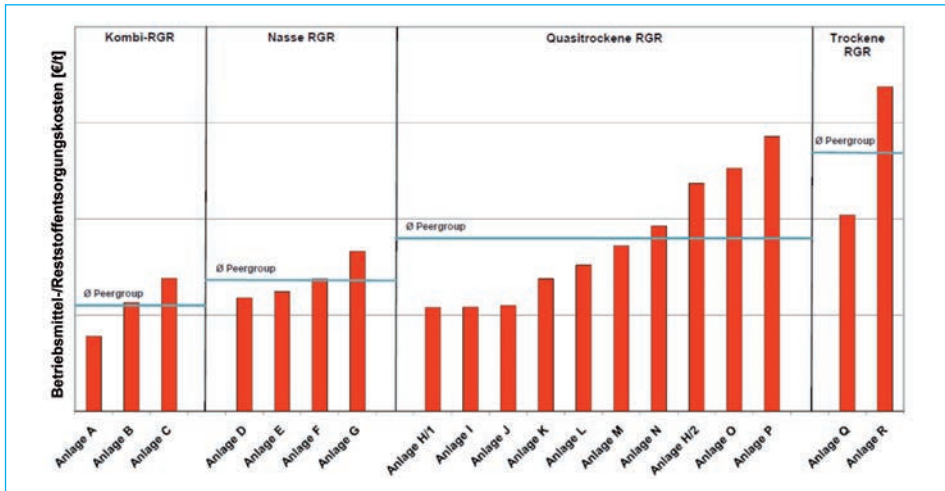


Bild 7: Vergleich Betriebsmittel- und Reststoffentsorgungskosten geclustert nach eingesetzter RGR-Technik

## 2.2. Kosteneinsparpotentiale/Optimierungsmöglichkeiten

Die Menge der eingesetzten Betriebsmittel und somit auch die zu entsorgende Reststoffmenge in der RGR hängen wesentlich von zwei Faktoren ab. Zum einen spielt der über den Brennstoff zugeführte Schadstoffinput eine wesentliche Rolle.

Zum anderen hängen die Betriebsmittel- und Reststoffmengen aber auch von der Stöchiometrie der RGR-Anlage ab.

### 2.2.1. Stöchiometrieverbesserung

Die Stöchiometrie ist ein grundlegendes mathematisches Hilfsmittel in der Chemie. Mit ihrer Hilfe werden aus der qualitativen Kenntnis der Edukte und Produkte einer Reaktion die tatsächlichen Mengenverhältnisse (Reaktionsgleichung) und Stoffmengen berechnet. Der Stöchiometriefaktor gibt also das Verhältnis von theoretisch benötigter Stoffmenge (Stöchiometriefaktor 1) zu tatsächlich eingesetzter Stoffmenge, in diesem Fall der Sorbentien, an.

Erfahrungsgemäß arbeiten nasse Abgasreinigungsverfahren mit einem Stöchiometriefaktor von nahezu 1. Bei diesen Systemen ist kaum eine Stöchiometrieverbesserung zu erzielen. Ähnliches gilt für die Trockene Abgasreinigung auf Natriumhydrogencarbonatbasis, auch Natriumbicarbonat genannt.

Anders sieht dies bei Quasitrockenen Abgasreinigungen auf Kalkbasis aus. Hier liegt der Stöchiometriefaktor häufig im Bereich von 2,2 bis 3,4. Es bestehen also durchaus größere Optimierungsmöglichkeiten.

Wichtig ist es zunächst, die Stöchiometrie der Anlage zu bestimmen. Grundsätzlich gibt es zwei Arten der Stöchiometrieermittlung.

Entweder über die Ermittlung der in den Prozess eingegebenen Kalkmenge (Input-Stöchiometrie) oder mittels Laboranalyse von Reststoffproben aus dem Abgasreinigungsprozess (Output-Stöchiometrie). Theoretisch sind beide Methoden bis auf statistische Ungenauigkeiten (Rundungs- und Messfehler usw.) vergleichbar.

#### Input-Stöchiometrie

Wichtig für eine schnelle Bewertung der Leistungsfähigkeit einer Abgasreinigungsanlage bzgl. Kalkverbrauch. Hierzu werden Abgasvolumenstrom, eingesetzter Kalkmassenstrom und die Roh-/Reingaskonzentrationen für HCl und SO<sub>2</sub> benötigt. Mittels einer Berechnungsformel kann so der Stöchiometriefaktor bestimmt werden.

#### Output-Stöchiometrie

Wichtig für Optimierungsmaßnahmen. Die Bestimmung dieses Faktors ist wesentlich aufwändiger. Hierzu müssen Reststoffproben im Labor oder mit einem Titrator analysiert werden. Zusätzlich zu den Schadstoffverbindungen aus dem Abgas werden hierbei noch die Parameter Karbonat und Freikalk bestimmt. Je höher diese beiden Werte sind, desto schlechter ist die Quasitrockenreinigung eingestellt.

Ziel einer Stöchiometrie-Optimierung ist hauptsächlich die Reduzierung von Karbonat und Freikalk im Reststoff durch entsprechende Maßnahmen (z.B. Befeuchtung von Rezirkulat). Der eingesetzte Kalk soll möglichst die Schadstoffe HCl, SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub> und HF eliminieren.

Eine Stöchiometrieverbesserung bei einer Anlage mit quasitrockener Abgasreinigung um 0,1 SF (Stöchiometriefaktor) bringt, bei ansonsten unveränderten Randbedingungen, eine Einsparung bei den Betriebsmittel- und Reststoffentsorgungskosten von etwa 0,3 EUR/t<sub>Durchsatz</sub>. Welcher Betrag genau eingespart werden kann, hängt natürlich auch von den spezifischen Betriebsmittel- und Reststoffentsorgungspreisen ab.

Bei einer einlinigen Anlage mit einem Abfalldurchsatz von 160.000 t/a und einem Optimierungspotenzial von 0,5 SF bedeutet dies eine Einsparung bei den Betriebsmittel- und Reststoffentsorgungskosten von etwa 240.000 EUR/a.

### 2.2.2. Investitionsstrategie

Der Anlagenbetreiber hat oftmals nur einen begrenzten Einfluss auf den Schadstoffinput (Rohgasfrachten). Bei der Auswahl der einzusetzenden Abgasreinigungstechnik muss der zu erwartende Schadstoffinput jedoch berücksichtigt werden. Dies wirkt sich speziell bei Neubauentscheidungen und/oder Ersatzmaßnahmen in der RGR aus. Am Vergleich *Quasitrockene RGR* zu *Kombi-RGR* ist der Einfluss des Schadstoffinput auf die Investitionsstrategie dargestellt.

Die Grundlagen dieses Vergleiches sind:

- einlinige Anlage
- Brennstoffdurchsatz: 160.000 t/a
- Investitionsmehrkosten *Kombi-RGR* zu *QT-RGR*: etwa 2,9 Mio. EUR
- Die Betriebskosten berücksichtigen:
  - \* Betriebsmittelkosten
  - \* Reststoffentsorgungskosten
  - \* Instandhaltungskosten

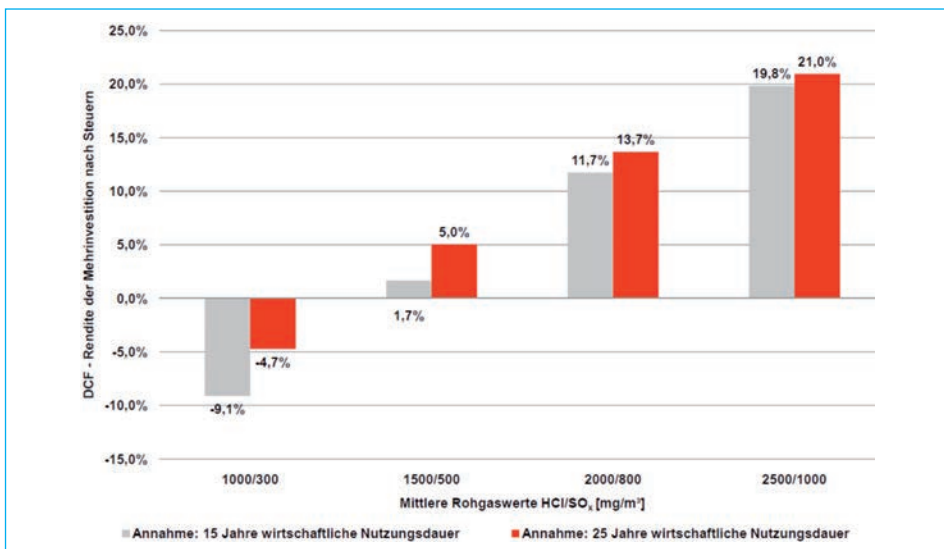


Bild 8: Einfluss der Rohgasfrachten auf Investitionsentscheidung



### 2.3. Fazit Betriebsmittel- und Reststoffentsorgungskosten

Hauptkostenverursacher sind die in der Abgasreinigung eingesetzten Chemikalien, die Primärenergieträger Öl und Gas und der Stromeigenverbrauch. Grundlegend sind es die alkalisierend wirkenden Stoffe wie Natronlauge und Kalk, die in der Abgasreinigung die Kosten treiben: Eine Optimierung ist teilweise im Verbrauch an Betriebsmitteln möglich, wobei der Einsatz des Betriebsmittels von der Rohgasbeladung wesentlich abhängt und dies somit nicht entkoppelt betrachtet werden kann.

Anlagen, die Gas zur Wiederaufheizung des Abgases vor Katalysator verwenden, verursachen zusätzliche Kosten. Eine Umstellung auf die Wiederaufheizung mittels Dampf ist eine sinnvolle Alternative (siehe Kapitel 1.3.4.). Je nach Einkaufspreis für das Gas können so Kosten von etwa 4 bis 5 EUR/t<sub>Durchsatz</sub> eingespart werden.

Die günstigsten Betriebsmittel- und Reststoffentsorgungskosten bieten die Abgasreinigungsanlagen mit kombiniertem Aufbau, gefolgt von den nassen RGR-Verfahren, dann folgen die QT- und Trocken-Systeme.

Hierbei sind jedoch die höheren Investitionskosten für eine nasse bzw. kombinierte RGR gegenüber einer quasitrockenen oder trockenen RGR zu berücksichtigen. Vor einer Investitionsentscheidung sollte unter Berücksichtigung der zu erwartenden Schadstofffrachten also unbedingt eine Vollkostenbetrachtung erfolgen.

Beim Stromverbrauch liegen die QT- und Trocken-Verfahren wegen der einfacheren Technik und weniger Druckverlusten über den Abgasweg auf den vorderen Plätzen. Bei einer einlinigen Anlage mit einem Durchsatz von 160.000 t/a und nasser Abgasreinigung entstehen Mehrkosten für den Stromeigenverbrauch von etwa 200.000 EUR/a im Vergleich zu einer ansonsten gleichen Anlage mit quasitrockener Abgasreinigung.

Die Umsetzung der unter Kapitel 2.2. beschriebenen Maßnahmen führt nach EEW Erfahrung zu einer Reduzierung der Betriebsmittel- und Reststoffentsorgungskosten von etwa 5 bis 15 Prozent.

## 3. Zusammenfassung

Insbesondere bei veränderten Marktbedingungen ist ein kostenoptimierter Anlagenbetrieb von großer Bedeutung. Um nachhaltig wettbewerbsfähig zu bleiben ist eine konsequente Identifikation von betriebsinternen sowie marktbezogenen Optimierungsmöglichkeiten unerlässlich. Hierbei bietet das Benchmarking durch die Bildung von Kennzahlen, Vergleichs- und Informationsmöglichkeiten über angewandte Praktiken, Kosten und Technologie. Zwar liefert ein Benchmarking keine Optimierungskonzepte, es werden jedoch Ansatzpunkte zur Optimierung der Betriebskosten und zur Auswahl der Anlagentechnologie aufgezeigt.

Das Benchmarking sollte ein fortlaufender Prozess sein und regelmäßig durchgeführt werden. Durch Standardisierung bei der Datenerhebung z.B. durch die konsequente Einführung von Kostenstellen (PSP-Elementen) kann der Aufwand hierfür minimiert werden.



Bei dem Vergleich von mehreren Anlagen müssen die anlagenspezifischen Besonderheiten natürlich berücksichtigt werden. Um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen sind spezielle Randbedingungen z.B. vertragliche und/oder behördliche Verpflichtungen, Art der Kostenverbuchung (Invest mit Abschreibung <-> Aufwand) und Besonderheiten der Brennstoffzusammensetzung zu berücksichtigen.

Die Ausführungen haben auch verdeutlicht, wie wichtig es ist bei Anlagenauslegung bzw. Optimierung und den damit verbundenen Investitionsentscheidungen eine Vollkostenbetrachtung, unter Berücksichtigung der Randbedingungen wie beispielsweise Schadstoffinput, durchzuführen.

Erfahrungsgemäß konnten die Instandhaltungsaufwendungen mit den im Kapitel 1.3. beschriebenen Optimierungsmaßnahmen um etwa zehn bis zwanzig Prozent reduziert werden. Die Einsparungen bei den Betriebsmittel- und Reststoffentsorgungskosten liegen nach Umsetzung der in Kapitel 2.2. beschriebenen Maßnahmen in der Größenordnung von etwa 5 bis 15 Prozent. Dies sind keine Einmaleffekte, sondern sie führen zu einer nachhaltigen, jährlichen Kosteneinsparung. In Abhängigkeit des Instandhaltungsbudgets sowie des Budgets für Betriebsmittel- und Reststoffentsorgung kann so u.U. jährlich ein mehrstelliger Millionenbetrag eingespart werden.

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

**Energie aus Abfall** – Band 8

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Michael Beckmann.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011

ISBN 978-3-935317-60-3

ISBN 978-3-935317-60-3 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky

Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2011

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,

Dipl.-Ing. Ernst Thomé, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc. und Dr.-Ing. Stephanie Thiel

Erfassung und Layout: Janin Burbott, Dipl.-Kffr. Elke Czaplewski, Petra Dittmann,

Martina Ringgenberg, Ginette Teske

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.