

DIN EN ISO 16784-1



ICS 77.060

**Korrosion von Metallen und Legierungen –  
Korrosion und Fouling in industriellen Kühlwassersystemen –  
Teil 1: Leitfaden für die Bewertung von Zusatzstoffen gegen Korrosion  
und Fouling in offenen Kühlwasserzirkulationssystemen  
(ISO 16784-1:2006);  
Deutsche Fassung EN ISO 16784-1:2008**

Corrosion of metals and alloys –  
Corrosion and fouling in industrial cooling water systems –  
Part 1: Guidelines for conducting pilot-scale evaluation of corrosion and fouling control  
additives for open recirculating cooling water systems (ISO 16784-1:2006);  
German version EN ISO 16784-1:2008

Corrosion des métaux et alliages –  
Corrosion et entartrage des circuits de refroidissement à eau industriels –  
Partie 1: Lignes directrices pour l'évaluation pilote des additifs anticorrosion et antitartre  
pour circuits de refroidissement à eau à recirculation ouverts (ISO 16784-1:2006);  
Version allemande EN ISO 16784-1:2008

Gesamtumfang 22 Seiten

Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN

## Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 16784-1:2008) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 156 „Corrosion of metals and alloys“ erarbeitet, dessen Sekretariat von GOST R (Russische Föderation) gehalten wird, und von CEN/TC 262 „Metallische und andere anorganische Überzüge“, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird, im Rahmen des einstufigen Annahmeverfahrens übernommen.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 062-01-71 AA „Korrosion und Korrosionsschutz“ im Normenausschuss Materialprüfung (NMP).

Für die im Abschnitt 2 zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 8044:1999	siehe	DIN EN ISO 8044:1999-11
ISO 16784-2	siehe	DIN EN ISO 16784-2

## Nationaler Anhang NA (informativ)

### Literaturhinweise

DIN EN ISO 8044:1999-11, *Korrosion von Metallen und Legierungen — Grundbegriffe und Definitionen (ISO 8044:1999); Dreisprachige Fassung EN ISO 8044:1999*

DIN EN ISO 16784-2, *Korrosion von Metallen und Legierungen — Korrosion und Fouling in industriellen Kühlwassersystemen — Teil 2: Bewertung der Leistung von Kühlwasserbehandlungsprogrammen*

Deutsche Fassung

Korrosion von Metallen und Legierungen —  
Korrosion und Fouling in industriellen Kühlwassersystemen —  
Teil 1: Leitfaden für die Bewertung von Zusatzstoffen gegen  
Korrosion und Fouling in offenen  
Kühlwasserrezirkulationssystemen  
(ISO 16784-1:2006)

Corrosion of metals and alloys —  
Corrosion and fouling in industrial cooling water systems —  
Part 1: Guidelines for conducting pilot-scale evaluation of  
corrosion and fouling control additives for open recirculating  
cooling water systems  
(ISO 16784-1:2006)

Corrosion des métaux et alliages —  
Corrosion et entartrage des circuits de refroidissement à  
eau industriels —  
Partie 1: Lignes directrices pour l'évaluation pilote des  
additifs anticorrosion et antitartre pour circuits de  
refroidissement à eau à recirculation ouverts  
(ISO 16784-1:2006)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 21. März 2008 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG  
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION  
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B- 1050 Brüssel

## Inhalt

	Seite
Vorwort .....	3
Einleitung.....	4
1 Anwendungsbereich .....	5
2 Normative Verweisungen.....	5
3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen.....	5
4 Arten der Prüfung .....	6
4.1 Laboratoriumsprüfungen und Prüfungen außerhalb des Anlagenstandortes.....	6
4.2 Prüfung am Standort der Anlage .....	6
4.3 On-line-Prüfung.....	6
5 Auslegungsparameter für die Prüfeinheit.....	6
5.1 Allgemeines.....	6
5.2 Werkstoffe .....	7
6 Betriebsparameter .....	9
6.1 Allgemeines.....	9
6.2 Oberflächentemperatur .....	9
6.3 Strömungsgeschwindigkeit des Wassers.....	9
6.4 Verweilzeit .....	10
7 Wasserbeschaffenheit.....	10
7.1 Allgemeines.....	10
7.2 Vergleich natürlicher und künstlicher Wasserversorgungen .....	10
7.3 Frischwasser .....	10
7.4 See- und Brackwasser .....	11
7.5 Rezirkulierendes/wiederverwendetes Wasser.....	11
7.6 Duale und kombinierte Zusatzwasser-Systeme .....	11
8 Verunreinigungen .....	11
8.1 Allgemeines.....	11
8.2 Prozess-Lecks.....	11
8.3 Biologische Substanzen .....	12
8.4 Durch die Luft übertragene Feststoffe und Gase.....	12
9 Bewertungsparameter bei Anwendung von Modell-Prüfeinheiten.....	12
9.1 Korrosion.....	12
9.2 Fouling .....	14
9.3 Praktische Probleme in Betriebssystemen — Kombinationen von Mehrfach-Problemen .....	15
9.4 Zusatzstoffe für die Wasserbehandlung .....	16
10 Auslegung der Einrichtungen für die Modell-Leistungsprüfung.....	16
10.1 Zweck.....	16
10.2 Bedeutung des Simulierens von spezifischen Anwendungsumgebungen.....	16
10.3 Kompromisse bei der Modell-Leistungsprüfung.....	17
11 Arbeitsgänge bei Anwendung einer Modell-Einrichtung.....	19
11.1 Dokumentation der Auslegung .....	19
11.2 Wiederholpräzision der Ergebnisse und Vergleich mit der im Feld erzielten Leistung .....	19
11.3 Aufbewahrung der Aufzeichnungen und Prüfberichte .....	19
Literaturhinweise .....	20

## **Vorwort**

Der Text von ISO 16784-1:2006 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 156 „Corrosion of metals and alloys“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als EN ISO 16784-1:2008 durch das Technische Komitee CEN/TC 262 „Metallische und andere anorganische Überzüge“ übernommen, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Oktober 2008, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Oktober 2008 zurückgezogen werden.

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

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

### **Anerkennungsnotiz**

Der Text von ISO 16784-1:2006 wurde vom CEN als EN ISO 16784-1:2008 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

## **Einleitung**

Umweltanforderungen, Wasserknappheit und geschäftliche Zwänge haben Industrieanlagen und Kraftwerke dazu getrieben, längere Fertigungsabläufe anzuwenden, wartungsbedingte Ausfallzeiten zu verringern, mit weniger Betriebspersonal auszukommen und die Kühlwassersysteme zunehmend stärker zu beanspruchen. In der Folge werden kommerziellen Kühlsystemen (Heizungs-, Lüftungs- und Klimasystemen [HLK-Systeme]) ständig höhere Wärmebelastungen und Anforderungen an eine langzeitige, kontinuierliche Kühlwasserversorgung auferlegt, um den Betrieb von Computeranlagen, großen Einzelhandelseinrichtungen, Bildungseinrichtungen und Bürokomplexen sicherzustellen.

Unter diesen zunehmend schwierigeren Bedingungen wird erwartet, dass durch die Programme zur chemischen Behandlung von Kühlwasser ein optimaler Betriebswirkungsgrad beizubehalten und gleichzeitig eine wirtschaftliche Lebensdauer zu erreichen ist, indem eine Hemmung gegenüber Korrosion, mineralischen Belägen, mikrobiologischem Fouling und verschiedenartige Abscheidungen auf Wärmeübertragungsflächen veranlasst wird.

Innerhalb einzelner Anlagen, zwischen einzelnen Standorten und weltweit unterscheiden sich Auslegungs- und Betriebskennwerte von Kühlsystemen beträchtlich voneinander. Daher müssen Auswahl und Optimierung von Kühlwasser-Behandlungsprogrammen als Vorgänge verstanden werden, die vom jeweiligen Standort abhängig sind. In den meisten Systemen ist die Optimierung der chemischen Behandlung des Kühlwassers der Schlüssel für einen erfolgreichen Langzeitbetrieb der Anlage. Das Thema dieses Teils von ISO 16784 ist daher die Festlegung von Kriterien für die Bewertung der Wirksamkeit von Kühlwasserzusatzstoffen unter feldspezifischen Betriebsbedingungen.

Für diesen Teil von ISO 16784 sind als Anwender die Eigentümer/Betreiber von Kühlsystemen, Wasser- aufbereitungsverbände und andere Personen vorgesehen, deren Aufgabe es ist, die Wirksamkeit von Kühlwasserzusatzstoffen unter standortspezifischen Betriebsbedingungen zu bewerten.

Dieser Teil von ISO 16784 wurde auf der Grundlage von NACE RP0300 [4] entwickelt.

## 1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 16784 gilt für Korrosion und Fouling in industriellen Kühlwassersystemen.

Dieser Teil von ISO 16784 deckt die Kriterien ab, die bei einem Prüfprogramm definiert und angewendet werden müssen, um Kühlwasser-Behandlungsprogramme für bestimmte Kühlwasserzirkulationssysteme auszuwählen.

In diesem Teil von ISO 16784 werden nur offene Kühlwasserzirkulationssysteme behandelt. Geschlossene Kühlsysteme und Kühlsysteme mit Zwangsdurchlauf sind ausdrücklich ausgeschlossen.

Dieser Teil von ISO 16784 gilt nur für Systeme, in denen Rohrbündelwärmetauscher mit genormten, unbeschichteten, glatten Rohren und rohrseitigem Kühlwasser angewendet werden. Aus dem Anwendungsbereich ausdrücklich ausgenommen sind Wärmetauscher mit mantelseitigem Kühlwasser, Platten- und/oder Spiralwärmetauscher und andere Einrichtungen zur Wärmeübertragung. Wenn jedoch die Prüfbedingungen so abgestimmt werden, dass Oberflächentemperatur und Scherspannung in komplexen Wärmeübertragungseinrichtungen nachzuvollziehen sind, kann aus den Prüfergebnissen vorhergesagt werden, wie sich ein in Betrieb befindlicher Wärmetauscher dieser Ausführung verhält.

Die in diesem Teil von ISO 16784 zusammengestellten Prüfkriterien haben nicht den Zweck, die Art der Labor- und Modellprüfung vorzugeben, die üblicherweise von den Wasseraufbereitungsverbänden als Teil ihrer firmeneigenen Produktentwicklungsprogramme durchgeführt wird. Es steht den Wasseraufbereitungsverbänden frei, Kriterien aus diesem Teil von ISO 16784 als Leitfaden zur Entwicklung eigener Prüfverfahren für die Produktentwicklung auszuwählen.

## 2 Normative Verweisungen

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

ISO 8044:1999, *Corrosion of metals and alloys — Basic terms and definitions*

ISO 16784-2, *Corrosion of metals and alloys — Corrosion and fouling in industrial cooling water systems — Part 2: Evaluation of the performance of cooling water treatment programmes using a pilot-scale test rig*

## 3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 8044:1999 und die folgenden Abkürzungen und Symbole.

ASTM:	ASTM International
BOD:	Biologischer Sauerstoffbedarf
COD:	Chemischer Sauerstoffbedarf
HVAC:	Heizung, Lüftung und Klima (HLK)
LPR:	Linearer Polarisationswiderstand
MIC:	Mikrobiologisch beeinflusste Korrosion
NACE:	NACE International
PVC:	Polyvinylchlorid
Verhältnis $s/V$ :	Verhältnis der Oberfläche zum Volumen
UNS:	Einheitliches Nummerierungssystem für Metalle und Legierungen (en: Unified Numbering System)

## **4 Arten der Prüfung**

### **4.1 Laboratoriumsprüfungen und Prüfungen außerhalb des Anlagenstandortes**

**4.1.1** In einigen Fällen kann bei Auswahl der Programme zur chemischen Behandlung von Kühlwasser eine Prüfung im Laboratorium oder an einem außerhalb der Anlage liegenden Ort (Off-site-Prüfung) notwendig werden. Diese Art der Prüfung kann bei den Erstprogrammen für Neubauten angewendet werden, für die noch keine Betriebssysteme verfügbar sind, oder zur Bewertung alternativer Kühlwasser-Behandlungsprogramme. In diesen Fällen sollten in die Bewertung standortspezifische Gestaltungskriterien und Umweltvorschriften einbezogen werden, die das Kühlwassersystem beeinflussen. Nach Möglichkeit sollten standortspezifische Wasserversorgungen angewendet werden. Alle in diesem Teil von ISO 16784 erfassten Kriterien, die sich auf die Zusammensetzung des Wassers, die Konfiguration der Prüfeinheit, die Auslegung des Wärmetauschers und die Betriebsbedingungen beziehen, sollten nach Möglichkeit eingehalten werden.

**4.1.2** Die Bedingungen der Anlage können weder durch ein Laborprüfprogramm noch durch ein Programm für eine außerhalb der Anlage durchgeführte Prüfung exakt reproduziert werden. Standortspezifische Faktoren, z. B. Prozess-Lecks, mikrobiologischer Bewuchs, Korrosionsprodukte, Luftverunreinigungen usw. können den Betrieb der Kühlwassersysteme und die Leistung der Behandlungsprogramme so beeinflussen, dass die Ergebnisse eines Laborprüfprogramms oder eines Programms für eine außerhalb des Standorts der Anlage durchgeführte Prüfung außer Kraft gesetzt werden.

### **4.2 Prüfung am Standort der Anlage**

**4.2.1** Nach Möglichkeit sollten die Programme zur Wasserbehandlung am Standort der Anlage unter Anwendung der Wasserversorgung vor Ort und der tatsächlichen Auslegungs- und Betriebsbedingungen bewertet werden, besonders der Bedingungen, die im Laboratorium nicht rekonstruiert werden können. Die Kriterien zur Berücksichtigung dieser Einflüsse werden in 9.1.2 diskutiert.

**4.2.2** Besonders zu beachten sind die für den jeweiligen Standort zutreffenden Gesetze und Umweltvorschriften, die Einfluss auf die zur Wasserbehandlung anwendbaren chemischen Produkte nehmen können, ferner die zulässige Menge und die Zusammensetzung des Ausblaswassers sowie die Vorschriften für die Luftqualität, die das Ausblasen des Kühlturms betreffen.

### **4.3 On-line-Prüfung**

Nach Möglichkeit sollten alle Prüfungen außerhalb des Standorts und alle Modellprüfungen am Standort validiert werden, indem die Werte für das tatsächliche Verhalten bei laufendem Betrieb (on-line) überwacht werden. Die Modelleinheiten können durch Zusp eisung des in der Anlage zirkulierenden Kühlwassers als Speisewasser unter Umgehung des Kühlturms der Modelleinheit an den on-line-Ablauf angepasst werden. Die On-line-Prüfung dient zur Validierung von Off-line-Prüfungen/Laboratoriumsprüfungen. Die Kühlsysteme dürfen on-line bewertet werden; die gesammelten Daten repräsentieren jedoch die Kombination aller Behandlungen und aller während des Bewertungsverfahrens zugesetzten Chemikalien. Eine derartige On-line-Prüfung kann zur Optimierung des Behandlungsprogramms zweckmäßig sein, um die anlagenspezifischen Anforderungen zu erfüllen. Beispielsweise dürfen kleine Mengen einer zur Behandlung ausgewählten Chemikalie unmittelbar vor der Prüfung des Wärmetauschers hinzugefügt werden, um die Einflüsse einer zunehmenden Dosierung des Zusatzstoffes oder im Rahmen eines bekannten Behandlungsprogramms die möglichen synergetischen Effekte einer neu hinzugefügten Chemikalie zu erfassen.

## **5 Auslegungsparameter für die Prüfeinheit**

### **5.1 Allgemeines**

Eine sorgfältige Bewertung der mechanischen Auslegung und des Betriebs aller Kühlwassersysteme ist eine notwendige Vorbedingung für die Planung eines Modellprogramms zur Bewertung eines für die Wasserbehandlung vorgesehenen Produkts. Möglicherweise ist eine bestimmte kritische Wärmelast oder ein bestimmtes kritisches Wasserströmungsmuster der Anlage nicht exakt zu simulieren. Weil die Entwicklung



von Verunreinigungen in einem Modell-Kühlturm möglicherweise anders als in den Anlagen-Kühltürmen abläuft, müssen gegebenenfalls Kompromisse getroffen werden. In allen diesen Fällen muss die Prüfeinheit so exakt wie möglich Auslegung und Betrieb der Anlage simulieren, und Abweichungen müssen im Prüfbericht vermerkt werden.

## **5.2 Werkstoffe**

### **5.2.1 Kühltürme**

**5.2.1.1** Kleine Kühlturmbecken dürfen aus unbeschichtetem, mit Kunststoff beschichtetem, verzinktem niedrig legiertem oder nicht rostendem Stahl hergestellt werden. Größere Kühlturmbecken bestehen im Allgemeinen aus Beton. Im Spritzbereich darf Holz, Keramik oder Kunststoff angewendet werden. Hinsichtlich der Auslegung muss der Modell-Kühlturm dem Kühlturm der Anlage nicht exakt entsprechen. Wenn im Kühlsystem der Anlage jedoch verzinkter Stahl enthalten ist, sollte dieser Stahl in das Modellsystem als nicht Wärme übertragender Prüfwerkstoff einbezogen werden.

### **5.2.2 Sonderanforderungen an Rieseleinbauten**

**5.2.2.1** Wenn die Kühltürme der Anlage Rieseleinbauten enthalten, sollte im Modell-Kühlturm ein Abschnitt mit diesen Rieseleinbauten (sofern verfügbar) angewendet werden. Die Rieseleinbauten bestehen aus dicht gepackten Lagen eines leichten Kunststoffs, im Allgemeinen PVC, das in einer wabenartigen Struktur angeordnet ist. Der wirksame Oberflächenbereich, über den das Wasser strömen muss, wird auf diese Weise vergrößert, so dass bei der Verdunstung ein höherer Wirkungsgrad erreicht wird. Die vergrößerte Oberfläche in den Rieseleinbauten begünstigt jedoch auch die Bildung von Ablagerungen.

**5.2.2.2** Ablagerungen können aus mineralischen Belägen (Zunder-Krusten), die beim Verdunsten von Wasser gebildet werden, aus Korrosionsprodukten und Feinsand, die in den Turm übertragen werden sowie aus mikrobiologischen Ablagerungen bestehen. Bioschichten tendieren dazu, wie „Leim“ zu wirken, der das Anhaften anderer Ablagerungen an den Rieseleinbauten begünstigt. Weil zwischen den benachbarten Lagen der Rieseleinbauten mitunter sehr wenig Platz ist, kann das abgelagerte Material zu einer „Überbrückung“ einzelner Lagen führen und die Wasserströmung blockieren. Daraus resultiert ein schwerwiegendes Problem, weil die Rieseleinbauten nicht chemisch gereinigt werden können, wenn das Wasser nicht durch alle Teile der Einbauten strömen kann.

**5.2.2.3** Bei einer mechanischen Reinigung unter Einbeziehung einer Wasserlanze wird häufig das leichte Einbaumaterial in den Rieseleinbauten beschädigt. Außerdem kann aufgrund der Masse signifikanter Ablagerungen eine mechanische Beschädigung der Rieseleinbauten auftreten. Daraus ergibt sich die Anforderung, dass bei allen Programmen zur chemischen Behandlung von Kühlwasser, die für Kühltürme mit Rieseleinbauten vorgesehen sind, Brückenbildung im Rieselmaterial zu verhindern ist.

**5.2.2.4** Der Zustand der Rieseleinbauten in einem in Betrieb befindlichen Kühlturm kann mittels einer „Rieseleinbau-Prüfbox“ überwacht werden. Diese „Prüfbox“ besteht aus einem oben und unten offenen Kasten, in den einfach ein Abschnitt der Rieseleinbauten, der etwa die Form eines Würfels mit einer Kantenlänge von 0,6 m (2 ft) hat, eingebracht wird. Der Kasten wird dem „Regen“ ausgesetzt, der sich an einer unzugänglichen Stelle unterhalb der Rieseleinbauten im Kühlturm niederschlägt. Wenn sich die Oberflächen der Rieseleinbauten glitschig anfühlen oder eine sichtbare Ablagerungsschicht vorhanden ist, weist das auf Fouling der Rieseleinbauten hin.

**5.2.2.5** Für einen im Betrieb befindlichen Kühlturm ist die Prüfbox ein sehr nützliches Mittel für eine qualitative Überwachung; in einem Modell-Kühlturm kann die Box jedoch wegen der Einschränkungen in Form und Größe möglicherweise nicht eingesetzt werden. In diesen Fällen wird der Modell-Kühlturm am besten so gestaltet, dass die im Turm tatsächlich verwendeten Rieseleinbauten für eine visuelle und eine physikalische Prüfung leicht zugänglich sind.

### 5.2.3 Metalloberflächen ohne Wärmeübertragungsfunktion

**5.2.3.1** Leitungen für umlaufendes Wasser dürfen mit niedrig legiertem Stahl, Kupfer, Messing, Faserglas, Polyethylen oder Zement ausgekleidet sein. Sofern durch die prozessseitigen Bedingungen nicht anders festgelegt, werden die Ummantelungen von Wärmetauschern häufig aus nicht legiertem Stahl hergestellt.

**5.2.3.2** Alle im Betriebssystem vorhandenen korrosionsanfälligen Metalle sollten als Probestücke (Coupons) ohne Wärmeübertragung in die Modelluntersuchung einbezogen werden. Das ist aus zwei Gründen wichtig: örtliche Korrosion im Rohrleitungsnetz kann zu unerwarteten Ausfällen führen, und Ablagerungen von Korrosionsprodukten können sich auf den Wärme übertragenden Flächen sammeln, wodurch Verluste der Effizienz und Möglichkeiten zur Bildung von Korrosion unter Ablagerungen entstehen. Chemikalien zur Wasserbehandlung können nur dann einen Korrosionsschutz bieten, wenn die Chemikalien die Metalloberflächen erreichen können. Die unter Ablagerungen vorhandenen ungeschützten Metallbereiche werden so zu potenziellen Stellen zur Bildung von Korrosion unter Ablagerungen.

### 5.2.4 Wärmetauscher

**5.2.4.1** Die Auslegung der Wärmetauscher ist im Allgemeinen auf die prozessseitigen Anforderungen und auf den tatsächlich involvierten Prozess konzentriert (Flüssigkeitskühlung, Gaskühlung oder Kondensation). Die Prozess-Wärmetauscher sind so ausgelegt, dass die Temperatur des Prozessmediums unter den ungünstigsten zu erwartenden Bedingungen geregelt wird, d. h. bei den höchsten Kühlwassertemperaturen und bei den höchsten Produktionsraten.

**5.2.4.2** Wärmetauscher werden unter Berücksichtigung eines *Foulingfaktors*<sup>1)</sup> so ausgelegt, dass in der Einrichtung die gewünschte Regelung der Prozesstemperatur bei einem bestimmten Effizientverlust durch entweder wasser- oder prozessseitiges Fouling der Rohre erreicht werden kann. Aus diesen Gründen sind Prozess-Wärmetauscher oft überdimensioniert. Um die gewünschte prozessseitige Regelung der Austrittstemperatur zu erreichen, muss das Bedienpersonal die Wasserströmung als Reaktion auf die Umgebungsbedingungen, Produktionsanforderungen und das Ausmaß des Foulings im Wärmetauscher drosseln. Die Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit des Wassers durch die Rohre erhöht die Oberflächentemperatur und bietet eine bessere Gelegenheit dafür, dass sich Schwebeteilchen an den Rohroberflächen absetzen und dass sich mineralische Beläge bilden. Diese beiden Effekte führen zu Verlusten der Wärmeübertragungseffizienz und erhöhen die Korrosionsanfälligkeit der Rohre. Siehe auch 9.3.1.

**5.2.4.3** Eine sehr wesentliche Funktion des Programms zur chemischen Behandlung des Kühlwassers besteht darin, auf den Oberflächen des Wärmetauschers die Bildung von Korrosion und Ablagerungen aller Arten zu minimieren. Bei Entwicklung des Modell-Prüfprogramms wird durch eine Anzahl kritischer Parameter die Konfiguration des die Wärme übertragenden Querschnitts einbezogen. Die Wärmetauscherrohre dürfen aus unlegiertem Stahl, Kupfer, Kupferlegierungen oder aus UNS<sup>2)</sup> S30400 und S31600 (d. h. aus den nicht rostenden Stahlsorten 304 und 316) bestehen. Falls für petrochemische Anlagen oder andere Standorte mit ungünstigen prozessseitigen Bedingungen gefordert, dürfen Wärmetauscherrohre auch aus einer großen Anzahl anderer Legierungen und einigen nichtmetallischen Werkstoffen hergestellt werden.

**5.2.4.4** Der für die Modellprüfung zu verwendende Wärmetauscher sollte sehr sorgfältig ausgewählt werden. Am besten geeignet ist ein Wärmetauscher, bei dem die zu erwartende höchste Oberflächentemperatur mit der niedrigsten Geschwindigkeit kombiniert ist. Für die Auswahl darf eine Begründung gefordert werden.

---

1) Der *Foulingfaktor* oder *Fouling-Wärmeübergangswiderstand* bezieht sich auf den für den Wärmeübergang gemessenen Widerstand, der durch eine Ablagerung auf einer die Wärme übertragenden Oberfläche verursacht wird. Vom *Foulingfaktor* wird auch dann gesprochen, wenn bei Auslegung eines Wärmetauschers die wirksame Wärmetauscherfläche vergrößert wird, um die wegen Ablagerungen auf der Wärmeübertragungsfläche erwartete thermische Ineffektivität zu kompensieren. Die Benennung *Foulingfaktor* wird im Allgemeinen für beides angewendet. Für den gemessenen *Foulingfaktor* kann jedoch ersatzweise die Benennung *Fouling-Wärmeübergangseffizienz* angewendet werden.

2) Erfassung der Metalle und Legierungen in einem Einheitlichen Nummerierungssystem (UNS), eine gemeinsame Publikation der American Society for Testing and Materials (ASTM) und der Society of Automotive Engineers Inc. (SAE), 400 Commonwealth Dr., Warrendale, PA 15096.

**5.2.4.5** Petrochemische Anlagen enthalten mitunter senkrecht angeordnete Rohrbündelwärmetauscher. In diesen Wärmetauschern befindet sich das Wasser wegen der Prozessanforderungen häufig auf der Mantelseite. Mantelseitiges Wasser ruft besonders schwere Korrosions- und Foulingprobleme hervor, die durch die in diesem Teil von ISO 16784 erfasste Modelleinrichtung nicht zufrieden stellend simuliert werden können. Das gilt speziell für senkrecht angeordnete Wärmetauscher mit mantelseitigem Kühlwasser.

ANMERKUNG Wie im vierten Absatz des Anwendungsbereichs ausdrücklich angegeben, fallen Wärmetauscher mit mantelseitigem Kühlwasser ausdrücklich nicht in den Anwendungsbereich dieses Teils von ISO 16784.

**5.2.4.6** Viele Anlagen-Wärmetauscher liegen in Ausführungen mit mehreren Rohren und mehreren Durchgängen vor. Diese Art von Wärmetauschern ist in einer Modelleinheit schwierig nachzubilden. Der vorliegende Teil von ISO 16784 bezieht sich auf Wärmetauscher mit einem Rohr und einem Durchgang und auf Parameter, die so ausgewählt werden, dass die zu untersuchenden Bedingungen im Wärmetauscher der Anlage zu simulieren sind.

## **6 Betriebsparameter**

### **6.1 Allgemeines**

Für eine bestimmte Ausführung des Wärmetauschers wird die Kinetik für Fouling und Korrosion durch vier Parameter kontrolliert: Oberflächentemperatur, Strömungsgeschwindigkeit des Wassers, Verweilzeit und Wasserbeschaffenheit. Weil es in einer kleinen Modelleinheit nicht möglich ist, alle Kenngrößen eines in Betrieb befindlichen Wärmetauschers zu reproduzieren, müssen für die Regelung dieser Parameter Kompromisse geschlossen werden.

### **6.2 Oberflächentemperatur**

**6.2.1** Die Oberflächentemperatur der Wärme übertragenden Oberfläche regelt die Geschwindigkeit der durch die Temperatur bestimmten Korrosions- und Fouling-Reaktionen. Die Oberflächentemperatur wiederum ist eine Funktion des Wärmeflusses, der metallurgischen Bedingungen, der Wasserströmung und des Umfangs von wasser- und prozesseitigem Fouling der Rohre.

**6.2.2** Während der Prüfung der Kühlwasser-Behandlungsprogramme unter den ungünstigsten, in einer existierenden Anlage möglichen Bedingungen sollte die Oberflächentemperatur der erhitzten Rohrabschnitte in der Modell-Prüfeinheit der höchsten Oberflächentemperatur des im Betrieb befindlichen Wärmetauschers entsprechen. Diese Temperatur kann aus den gemessenen wasser- und prozesseitigen Strömungen und Temperaturen und den Konstruktionsdaten des Wärmetauschers bestimmt werden.

### **6.3 Strömungsgeschwindigkeit des Wassers**

**6.3.1** Die Geschwindigkeit, mit der das Wasser durch die Rohre des Wärmetauschers strömt, bestimmt die Geschwindigkeit der Überführung der gelösten und schwebenden Stoffe vom Innenbereich des Kühlwassers in den Wasserfilm, der die Rohrwand berührt. Zu diesen Stoffen können z. B. gehören, ausgefallte Ionen (z. B. Calcium und Hydrogencarbonat), gelöste Ionen (die korrosiven Komponenten in den meisten Kühlwassersystemen), Fouling-Agenzien einschließlich Schwebstoffteilchen und chemische Zusatzstoffe zur Überwachung von Fouling und Korrosion.

**6.3.2** Durch eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit des Wassers wird üblicherweise ein Beitrag zur Kontrolle von Fouling und Korrosion geleistet. Strömungsgeschwindigkeiten zwischen etwa 1,0 m/s und 2,5 m/s (3 ft/s und 8 ft/s) sind üblich. Eine zu hohe Geschwindigkeit kann in Abhängigkeit von der metallurgischen Beschaffenheit des Rohres eine durch die Strömung begünstigte Korrosion veranlassen. Niedrigere Geschwindigkeiten dürfen gefordert werden, um bestimmte Anlagen-Wärmetauscher, die mit Strömungsgeschwindigkeiten unter 1 m/s (3 ft/s) arbeiten, möglichst exakt zu simulieren.

## **6.4 Verweilzeit**

Die Verweilzeit ist im Kontext mit Wärmetauschern die Zeit, in der das Wasser während aller Kühlzyklen den Wärme übertragenden Flächen eines bestimmten Wärmetauschers ausgesetzt ist. Diese Zeit kann in einer kleinen Modelleinheit nicht exakt dargestellt werden. Der Einfluss der Verweilzeit bezogen auf die Einheit der Länge, über die Wärme übertragen wird, ist jedoch zu simulieren, indem Oberflächentemperatur und Strömungsgeschwindigkeit so exakt wie möglich den Feldbedingungen angepasst werden.

## **7 Wasserbeschaffenheit**

### **7.1 Allgemeines**

In diesem Abschnitt werden die Einflüsse der Qualität und der Verfügbarkeit von Zusatzwasser für Betrieb, Funktionsfähigkeit und Kontrolle eines offenen Kühlwassersystems unter Hervorhebung der Probleme untersucht, die bei der Gestaltung spezifischer Modell-Prüfeinrichtungen für Kühlwasser zu berücksichtigen sind. Die Qualität des verfügbaren Zusatzwassers kann saisonbedingt schwanken, oder es kann sein, dass das Wasser von unterschiedlichen Quellen stammt. Diese Schwankungen sollten berücksichtigt werden.

### **7.2 Vergleich natürlicher und künstlicher Wasserversorgungen**

Aus praktischen Gründen werden die meisten Arbeiten im Rahmen der Entwicklung eines Produkts zur Kühlwasserbehandlung im Laboratorium unter Verwendung von Wässern durchgeführt, die so zusammengesetzt („synthetisiert“) wurden, dass sie den typischen natürlichen Wässern gleichen. Je dichter sich jedoch ein Projekt zur Produktentwicklung der Anwendung in der Praxis annähert, umso wichtiger ist eine Prüfung am Standort der Anlage unter Benutzung der dort verfügbaren Wasserversorgungen. Die Gründe dafür werden in 7.2.1 bis 7.2.3 angegeben.

**7.2.1** Laborwässer können nicht den organischen Gehalt der natürlichen Wässer kopieren. Um diesen Mangel zu kompensieren, werden dem Laborwasser mitunter einfache organische Verbindungen zugesetzt, was sich jedoch nicht als besonders erfolgreich erwies. Natürliche Lignine und Tannine sowie Prozessverunreinigungen sind standortspezifisch. Diese Substanzen können einen wesentlichen Einfluss speziell auf die Neigung des Wassers zur Ausfällung mineralischer Beläge haben. Ähnliches gilt für mikrobiologische Verunreinigungen aus dem Wasser und der Luft, die im Laboratorium ebenfalls nicht kopiert werden können.

**7.2.2** Der Einfachheit halber werden Laborwässer durch Auflösen verschiedener Salze synthetisch hergestellt, um Stamm- oder Grundlösungen zu erhalten, die dann bei Bedarf gemischt werden, um das für die Prüfung benötigte Wasser herzustellen. Auf diese Weise hergestellte Wässer haben immer höhere Gehalte gelöster Feststoffe und daher eine höhere Leitfähigkeit als natürliche Wässer, deren Mineralgehalt auf die langsame Auflösung von Oxiden und Carbonaten zurückzuführen ist. Aus diesem Grund sind synthetische Wässer im Allgemeinen korrosiver als die entsprechenden natürlichen Wässer. Dieser Unterschied kann die Wirkungsweise des zu untersuchenden Produkts merklich beeinflussen, besonders dann, wenn für die Anwendung eine Versorgung mit weichem Wasser vorgesehen ist, das wenig gelöste Feststoffe enthält.

**7.2.3** Natürliche Wässer werden zur Kühlwasserprüfung mitunter an die Laboratorien verschickt. Damit können die oben geschilderten Probleme teilweise gelöst werden. Die Alkalitätsverhältnisse, der pH-Wert und die Gesamtheit der mikrobiologischen Einflüsse des Wassers ändern sich jedoch, wenn das Wasser stehen gelassen wird, so dass oftmals auch die in Fässer abgefüllten natürlichen Wässer die Feldbedingungen nicht exakt repräsentieren.

### **7.3 Frischwasser**

Versorgungen mit weichem, mittelhartem und hartem Wasser erzeugen bestimmte Probleme, wenn das Wasser in Systemen mit Kühlturm umläuft. Diese Probleme müssen durch Wasseraufbereitungsprogramme überwunden werden, die in Abhängigkeit von den chemischen Bedingungen des umlaufenden Wassers ausgewählt werden. Wasserbeschaffenheit und -verfügbarkeit sind weltweit sehr unterschiedlich. Mineralgehalt, organische Bestandteile, andere Verunreinigungen und Konzentrationsperioden beeinflussen die Wasserbehandlungsoperationen.

## 7.4 See- und Brackwasser

Hohe Anteile gelöster Feststoffe machen diese Wasserversorgungen korrosiv und erfordern speziell aufgestellte Behandlungsprogramme. Alkalität und Härte sind oft niedrig, so dass es durchaus sein kann, dass mineralische Beläge weniger signifikant sind als bei einigen Frischwasserversorgungen. Seewasser wird üblicherweise in Zwangsdurchlaufsystemen verwendet, wohingegen Brackwasser zur Konservierung des Wassers und zur Minimierung des Ausblasens (Blowdown) konzentriert werden darf. Bei einer Modellprüfung mit diesen Wässern müssen die mikrobiologischen Verunreinigungen berücksichtigt werden, und die anzuwendenden Metalle müssen entsprechend der Standortbedingungen ausgewählt werden.

## 7.5 Rezirkulierendes/wiederverwendetes Wasser

Die Anwendung von sekundär aufbereitetem Abwasser als Zusatzwasser für Kühltürme ist als wirksames Mittel zu Konservierung von Frischwasser und zur Verringerung der Abwassereinleitung anerkannt. Die durch diese Wasserversorgungen eingebrachten speziellen Probleme entstehen durch Ammoniak, hohe Phosphatgehalte, sonstige anorganische Salze und den biologischen und chemischen Sauerstoffbedarf (BOD und COD). Diese Wässer sind besonders instabil; sie können nicht an Laboratorien verschickt werden, um eine zuverlässige Laborprüfung zu erreichen.

Die Anwendung von innerhalb der Anlage umlaufendem Abwasser als Zusatzwasser für Kühltürme ist ebenfalls ein wirksames Mittel zur Konservierung von Frischwasser und zur Verringerung der Abwassereinleitung. Die durch diese Wasserversorgungen eingebrachten speziellen Probleme betreffen eine große Anzahl von anorganischen und organischen Bestandteilen sowie den biologischen und chemischen Sauerstoffbedarf (BOD und COD) in Abhängigkeit von den Anlagenprozessen, bei denen das Abwasser anfällt wird sowie von den Prozessen, die zur Abwasseraufbereitung angewendet werden.

## 7.6 Duale und kombinierte Zusatzwasser-Systeme

In einigen Anlagen werden zwei unterschiedliche Zusatzwasser-Quellen angewendet, z. B. umlaufendes Wasser und Wasser von einer kommunalen Wasserversorgung oder aber Oberflächenwasser und Grundwasser (Brunnenwasser). Die Wasserversorgungen können gleichzeitig genutzt werden, oder eine Wasserversorgung kann als Reserve für die andere dienen. Dadurch entsteht eine veränderliche Zusammensetzung des Umlaufwassers, die nicht einfach simuliert werden kann. In diesen Fällen ist die Modellprüfung vor Ort der einzige praktikable Weg zur Bewertung der Kühlwasserzusatzstoffe.

# 8 Verunreinigungen

## 8.1 Allgemeines

Eine Verunreinigung des umlaufenden Kühlwassers mit durch die Luft übertragenen Feststoffen und Gasen, mikrobiologischen Teilchen und Prozessmaterialien kann die Leistung des Systems und die Effizienz seines Betriebs stark beeinflussen. Verunreinigungen können Probleme durch Fouling und Korrosion erzeugen, und diese wiederum können die Wirksamkeit chemischer Zusatzstoffe für das Kühlwasser ernsthaft beeinträchtigen. In den meisten Fällen können die Systemverunreinigungen nicht außerhalb des Anlagenstandorts überprüft werden. Daher ist die Erkennung der Verunreinigungen in dem System, für das eine Bewertung der Zusatzstoffe durchgeführt wird, sehr wichtig. Im Prüfbericht müssen diese Verunreinigungen erwähnt und ihre Einflüsse auf die Wirksamkeit der Zusatzstoffe bewertet werden.

## 8.2 Prozess-Lecks

Prozess-Lecks gibt es üblicherweise in allen Industrieanlagen. Schwefelwasserstoff, Ammoniak und Öl in Ölraffinerien, eine große Anzahl organischer und anorganischer Chemikalien in Chemieanlagen, Koksstaub und Walzzunder in Stahlwerken usw. erzeugen allesamt Probleme für die Wasseraufbereitung, die durch das Kühlwasser-Behandlungsprogramm abgefangen werden müssen. Verunreinigungen können mit den üblichen Bestandteilen des Wassers, z. B. mit Schwebstoffen und mit den zur Wasserbehandlung verwendeten Chemikalien in Wechselwirkung treten und dadurch sekundäre Fouling- und Korrosionsprobleme erzeugen. Diese Probleme sind standortspezifisch und im Laboratorium sehr schwierig zu erfassen.

### **8.3 Biologische Substanzen**

Biologische Verunreinigungen, die aus dem Zusatzwasser, Prozess-Lecks und Quellen für Luftverunreinigungen stammen, müssen bei Entwicklung aller Wasserbehandlungsprogramme berücksichtigt werden. Wärmeübertragungsverluste, Strömungsbeschränkungen und mikrobiologisch erzeugte Korrosion unter Ablagerungen müssen berücksichtigt werden. Mikrobiologische Substanzen sind häufig als „Leim“ anzusehen, durch den andere Ablagerungen auf den Metalloberflächen haften bleiben, so dass die Kontrolle der mikrobiologischen Verunreinigungen ein wesentlicher Bestandteil aller Wasserbehandlungsprogramme ist. Diese Probleme sind besonders schwierig zu simulieren, weil sie standortspezifisch sind und weil die mikrobiologischen Quellen selbst dann, wenn sie transportabel sind, instabil und im Laboratorium nicht reproduzierbar sind.

### **8.4 Durch die Luft übertragene Feststoffe und Gase**

Aus den oben erwähnten Gründen kann die Luft in einer kontrollierten Laborumgebung nicht mit der Luft gleichgesetzt werden, die während des Betriebs einer Anlage durch einen Kühlturm geblasen wird. In einer Ölraffinerie können z. B. Ammoniak und Schwefelwasserstoffgase die Regelung des pH-Werts und die mikrobiologische Aktivität beeinflussen. Schmutz, Koksstaub und andere durch die Luft übertragene Teilchen führen zur Anlagerung von Schwebstoffen. Abluftgebläse können Kuchendämpfe in kommerzielle HLK-Kühltürme blasen. Diese und ähnliche Verunreinigungen können große Einflüsse auf die Wirksamkeit von Programmen zur Kühlwasserbehandlung haben. Die Identifizierung der jeweiligen Luftverunreinigung ist ein wesentlicher Bestandteil aller Modell-Prüfprogramme, und eine Simulation dieser Verunreinigungen ist im Laboratorium nicht einfach möglich.

## **9 Bewertungsparameter bei Anwendung von Modell-Prüfeinheiten**

### **9.1 Korrosion**

#### **9.1.1 Allgemeine Betrachtungen**

Korrosion ist eine wichtige Determinante für die wirtschaftliche Lebensdauer von Wasserbehandlungsanlagen. Die wirtschaftliche Lebensdauer ihrerseits ist der Schlüsselparame-ter für die Auslegung aller in Kühlwassersystemen verwendeten Einrichtungen. Die Betriebssysteme können unterschiedliche Werkstoffe enthalten. Die für alle kritischen Metallurgien zu bewertenden Korrosionskriterien sollten bestimmt werden. Die Wasserbehandlungsprogramme müssen so ausgewählt werden, dass die Metalle, für die zu erwarten ist, dass sie korrodieren, wenn sie dem Wasser im System ausgesetzt werden, geschützt werden. In das Modell-Prüfprogramm müssen Korrosionsmessungen für jedes dieser Metalle und, wenn zutreffend, für Flächen mit oder ohne Wärmeübertragung einbezogen werden.

#### **9.1.2 Kriterien für Bewertungen der Korrosion**

Die zur Bewertung der Wirksamkeit eines Korrosionsinhibitors verwendeten Kriterien sind von der jeweiligen Industrie abhängig. Beispielsweise ist eine Korrosionsgeschwindigkeit für unlegierten Stahl von 0,075 mm/Jahr (3,0 mpy) in vielen Stahlwerken als ungewöhnlich niedrig anzusehen. In einer Ölraffinerie kann diese gleiche Korrosionsgeschwindigkeit im üblichen Bereich liegen, während sie für ein sauberes HLK-System unzulässig hoch ist. Folglich kann ein Programm zur Korrosionshemmung, das für ein HLK-System mit hoher Leistungsfähigkeit gefordert wird, für ein Stahlwerk einen unnötig hohen Aufwand („Overkill“) und einen zu hohen Kostenfaktor darstellen. Die Modell-Prüfparameter müssen sowohl an die jeweilige Industrie als auch an den speziellen Standort der Anlage angepasst werden.

#### **9.1.3 Arten von Korrosionsschäden**

Ein schwerer Korrosionsschaden in offenen Kühlwassersystemen ist im Allgemeinen das Ergebnis eines örtlichen Angriffs einschließlich Lochkorrosion, Spaltkorrosion usw. Ohne schwerwiegende Zwischenfälle, z. B. Säureleckage ins Wasser, sind Schäden durch allgemeine Oberflächenkorrosion ungewöhnlich. Auf allen zu schützenden Metallen sollten daher sowohl die örtliche als auch die allgemeine Korrosion bewertet werden.

#### 9.1.4 Mikrobiologisch beeinflusste Korrosion (MIC)

MIC tritt in einer durch bestimmte Arten von Mikroorganismen gebildeten Umgebung auf, die bewirken, dass die Legierungen für einen Korrosionsangriff anfällig werden. Diese Organismen können im Rahmen ihrer Stoffwechselprozesse organische und anorganische Säuren bilden, die auf Stahl und anderen Metallen rasch zu Lochkorrosion führen können. Die MIC ist mit Modell-Prüfeinheiten besonders schwierig zu untersuchen, weil sich bei Anwendung von Modell-Prüfbedingungen nicht immer Ablagerungen bilden, unter denen sich die Mikroorganismen verbergen. Die MIC wird am besten unter Feldbedingungen untersucht. Wenn sich herausgestellt hat, dass ein bestimmtes zu bewertendes System für MIC anfällig ist, muss das Programm zur chemischen Behandlung des Kühlwassers Verfahren enthalten, nach denen die Ablagerungen zu entfernen und die in den Ablagerungen angesiedelten Mikroorganismen abzutöten sind. Falls die Ablagerungen und die Mikroorganismen nicht beseitigt werden, kann es sein, dass ein Programm zur chemischen Kühlwasserbehandlung, das bei Anwendung der Modell-Prüfeinheit als wirksam einzuschätzen ist, sich im Feld nicht bewährt.

#### 9.1.5 Verfahren zur Bewertung der Korrosion in Modell-Prüfeinheiten

##### 9.1.5.1 Wärmeübertragungsproben

In der Modell-Prüfeinheit sollten für Bewertungen von Korrosion und Fouling Wärmeübertragungsproben angewendet werden. Die Proben sollten leicht aus der Prüfeinheit zu entnehmen sein, so dass sie fotografiert und gewogen werden können. Die Korrosionsmuster sollten notiert und die Lochtiefen, sofern Löcher vorhanden sind, gemessen werden.

##### 9.1.5.2 Korrosions-Probestücke

Diese Probestücke liefern ein Maß für die durchschnittliche Korrosionsgeschwindigkeit während der Beanspruchungsdauer. Auf den Probestücken sammeln sich Ablagerungen, und das Vorhandensein von Korrosion unter Ablagerungen kann nachgewiesen werden. Die Probestücke sollten nach NACE Standard RP0497<sup>3)</sup> und ASTM G 4<sup>4)</sup> behandelt und ausgewertet werden. Probestücke, die zur Bewertung der Korrosivität des Systems geeignet sind, versagen beim Reproduzieren der hydrodynamischen und der thermischen Bedingungen der Wärmetauscherrohre. Die an diesen Probestücken ermittelten Daten sollten als Werte mit nur anzeigendem Charakter angesehen werden.

##### 9.1.5.3 On-line-Messungen der allgemeinen Korrosion

Mit Geräten zur Messung des linearen Polarisationswiderstands (LPR-Geräten) wird bei einer kleinen angelegten Spannung der Korrosionsstrom gemessen, der zwischen zwei Elektroden fließt, die dem Kühlwasser ausgesetzt sind. (Es gibt sowohl LPR-Systeme mit zwei Elektroden als auch mit drei Elektroden; die Elektroden dürfen auch als Korrosions-Probestücke angewendet werden.) Aus diesem Strom errechnet das Gerät eine „momentane“ Korrosionsgeschwindigkeit, d. h. die Geschwindigkeit im Augenblick der Messung. Diese Daten sind hilfreich zur Anzeige der Wirkungen der Zusatzstoffe und der Dosierungsänderungen sowie der Änderungen der Prozessvariablen, z. B. des pH-Wertes. Kombiniert mit den an Probestücken ermittelten Ergebnissen können die LPR-Daten dazu dienen, die korrosiven Komponenten in bestimmten Systemen zu identifizieren und die Wirksamkeit der Korrosionsinhibitoren zu untersuchen. Diese Geräte dürfen kalibriert werden, indem ein Bezug auf Untersuchungen an Korrosions-Probestücken erfolgt, die über die gleiche Dauer beansprucht wurden. Bei Durchführung mehrerer dieser Untersuchungen zur Validierung der Kalibrierung sollte sorgfältig vorgegangen werden. Mit galvanostatischen Verfahren können vergleichbare Daten ermittelt werden.

Neuere Verfahrensweisen, z. B. das Verfahren des elektrochemischen Rauschens, dürfen angewendet werden, benötigen aber eine Validierung für die jeweilige Anwendung.

---

3) Zu beziehen von NACE International, 1440 South Creek Drive, Houston, TX 77084-4906, USA.

4) Zu beziehen von ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, USA.

## **9.2 Fouling**

### **9.2.1 Allgemeine Betrachtungen**

Fouling wird als Ablagerung eines Materials (Verschmutzung) auf einer Wärmeübertragungsfläche definiert. Fouling verringert die Leistung des Wärmetauschers, indem es eine Trennung der Wärmeübertragungsfläche vom Wasser bewirkt. Fouling erhöht zudem den Druckabfall im Wärmetauscher und schränkt damit die Wasserströmung ein. Das Fouling der Rohroberfläche bestimmt die Effizienz, mit der Wärme durch einen Wärmetauscher übertragen wird. Durch Fouling können Stellen erzeugt werden, an denen Korrosion unter Ablagerungen einschließlich einer MIC auftreten. Ein mögliches prozessseitiges Fouling muss bei Bewertung der Leistung von Programmen zur Wasserbehandlung für feldspezifische Wärmetauscher berücksichtigt werden. Tatsächlich wird bei der Auslegung aller Wärmetauscher ein Foulingzuschlag berücksichtigt, der in 5.2.4.2 erklärt wird. Deswegen sollten alle Bewertungen eines Programms zur Kühlwasserbehandlung Vorschriften für die mengenmäßige Erfassung des Foulings einschließen. Das gemessene Fouling muss mit dem theoretischen Zuschlag für den Wärmetauscher verglichen werden, indem alle Abweichungen der Prüfparameter von den tatsächlichen Betriebs- und Auslegungsbedingungen berücksichtigt werden. Korrosions-Probestücke sollten nach 9.1.5.2 ausgewertet werden.

### **9.2.2 Arten des wasserseitigen Foulings**

Zu den wasserseitigen Fouling-Agenzien gehören mineralische Beläge, z. B. aus Calciumcarbonat und Calciumphosphat, Korrosionsprodukte, mikrobiologische Substanzen, allgemeine Feststoffteilchen aus dem Wasser und der Luft und in einigen Fällen Prozessverunreinigungen. Die spezifische Mischung der Fouling-Agenzien kann in einem Betriebssystem die Auswahl der Foulinginhibitoren beeinflussen, die in das Wasserbehandlungsprogramm einzubeziehen sind.

### **9.2.3 Prüfwasserquellen**

#### **9.2.3.1 Prüfung außerhalb des Standorts mit synthetisch erzeugtem Zusatzwasser**

Für die in 4.1 beschriebene Prüfung außerhalb des Anlagenstandorts mit synthetisch erzeugten Wässern müssen die Temperatur an der erhitzten Außenfläche und die Wasserströmungsgeschwindigkeit in der Modell-Prüfeinheit so exakt wie möglich an die Feldbedingungen angepasst werden. Durch die gewissenhafte Vorbereitung des synthetischen Wassers für diese Prüfung kann eine Simulation der Neigung des Feldsystems zur Bildung von Zunderbelägen möglich sein. Dagegen ist es im Allgemeinen nicht möglich, im synthetischen Wasser die Korrosivität, das mikrobiologische Fouling, durch Wasser übertragene Schwebstoffteilchen, Luft- und Prozessverunreinigungen zu simulieren. Alle diese Faktoren beeinflussen sowohl Art als auch Menge des Foulings, das unter Feldbedingungen auftritt sowie die Wirksamkeit der Inhibitoren gegen Beläge, Dispersionsmittel und Mikrobiozide. Aus diesem Grund müssen alle Daten, die bei Prüfungen außerhalb des Standorts mit synthetisch erzeugten Wässern ermittelt werden, als vorläufige Ergebnisse angesehen werden, bis sie entweder durch Modellprüfungen vor Ort oder beim Feldeinsatz bestätigt wurden.

#### **9.2.3.2 Vor-Ort-Prüfung mit Anlagen-Zusatzwasser**

Die Vor-Ort vorgenommenen Fouling-Bewertungen bieten eine Gelegenheit, die Wechselwirkungen der verschiedenen Ablagerungen und Einflüsse der fortschreitenden Korrosion auf die Foulingreaktionen zu untersuchen. Es ist beispielsweise bekannt, dass Korrosionsreaktionen den pH-Wert von Oberflächenschichten auf kathodischen Bereichen des korrodierenden Metalls erhöhen. Das wiederum begünstigt die Abscheidung von mineralischen Belägen. Mikrobiologischer „Leim“ begünstigt alle Arten von Fouling und erschwert eine Kontrolle. Realistische Vergleiche der Foulinginhibitoren sollten stets im Feld und unter Modellsystem-Bedingungen durchgeführt werden, die den Betrieb von Wärmetauschern so exakt wie möglich simulieren.

### **9.2.4 Modellverfahren zur Fouling-Bewertung (siehe auch ISO 16784-2)**

#### **9.2.4.1 Verfahren mit Wärmeübertragung**

Üblicherweise stellt eine erhitzte Rohroberfläche, die einen Feld-Wärmetauscher simuliert, den Mittelpunkt der Modell-Prüfeinheit für die Kühlwasserprüfung dar. Bei einer möglichen Ausführung wird das Rohr von innen



elektrisch erhitzt. Das Wasser strömt durch den Ringspalt zwischen der Rohraußenseite und einem Mantelrohr aus Glas oder Kunststoff. Auf diese Weise stellt die Außenfläche des erhitzten Rohres die innere Oberfläche eines „rohrseitigen“ Wärmetauschers dar. Bei einer anderen Ausführung wird eine äußere Heizquelle verwendet, und das Wasser fließt innerhalb des Rohres. In beiden Fällen sollte ein Rohr verwendet werden, das einem kommerziellen Wärmetauscher entnommen ist und das so exakt wie möglich dem Feldsystem entspricht; es sollte ohne extensive Bearbeitung oder andere Behandlungen anwendbar sein.

Das Fouling sollte während der Prüfung durch Messung der Wärmeübergangskoeffizienten und Foulingfaktoren bewertet werden. Am Ende der Modellprüfung kann das Fouling der erhitzten Rohroberfläche durch Sichtprüfung der Rohroberfläche (einschließlich eines Photos von der Rohroberfläche), durch die Masse der von der Oberfläche entfernten Ablagerungen und durch Analysen der Ablagerungen bewertet werden. Es ist wichtig, dass die Prüfeinheit leicht zu montieren und zu demontieren ist, ohne dass eine Beeinträchtigung der Ablagerungen auf der Rohroberfläche erfolgt.

#### **9.2.4.2 Verfahren ohne Wärmeübertragung**

In Kühlsystemen, die sich in Betrieb befinden, kann Fouling auf Flächen ohne Wärmeübertragung ebenfalls eine Rolle spielen. Ablagerungen können die Wasserströmung in Rohren mit kleinem Durchmesser einschränken und Stellen erzeugen, an denen Korrosion unter Ablagerungen auftritt. Untersuchungen unter Anwendung von Korrosions-Probestücken und Probestück-Gestellen ermöglichen den visuellen Nachweis der Bildung von Ablagerungen. Probestücke aus korrosionsbeständigem, starrem Maschendraht (z. B. aus Ni-Chrom, nicht rostendem Stahl und Titan) können verwendet werden, um Schwebstoffe und mikrobiologische Ablagerungen zu akkumulieren.

Der Druckabfall über eine Länge eines Rohrs mit kleinem Durchmesser kann ein Maß für das Fouling darstellen. Er ist besonders empfindlich gegenüber mikrobiologischem Fouling und am besten geeignet, um diese Art von Fouling zu messen. Auf Wunsch kann eine Einrichtung zum Messen des Druckabfalls wahlweise in die Modell-Prüfeinheit integriert werden.

### **9.3 Praktische Probleme in Betriebssystemen — Kombinationen von Mehrfach-Problemen**

#### **9.3.1 Mehrfach-Probleme**

In Kühlsystemen, die sich in Betrieb befinden, tritt keines der in diesem Teil von ISO 16784 beschriebenen Probleme für die Wasserbehandlung isoliert auf. Korrosion erhöht den pH-Wert der Oberflächenschicht und begünstigt die Bildung mineralischer Beläge. Ablagerungen aller Arten verursachen Stellen, an denen Korrosion unter Ablagerungen auftritt. Biofouling erzeugt einen „Leim“, der Ablagerungen an den Oberflächen haften lässt. Demzufolge sollte ein Modell-Prüfprogramm, das zur Bewertung der Leistung von Programmen zur Kühlwasserbehandlung für einen bestimmten Standort vorgesehen ist, um die tatsächlichen Gegebenheiten widerzuspiegeln, alle chemischen, betrieblichen und Umweltfaktoren einschließen, die durch ihr Zusammenspiel die Kühlwasserumgebung für diesem Standort bilden.

#### **9.3.2 Probleme bei Anwendung genormter Bedingungen**

Bei einer Prüfung der Zusatzstoffe unter sauberen, genormten Bedingungen können irreführende Ergebnisse ermittelt werden. Beispielsweise können Inhibitoren für mineralische Beläge, die ohne Korrosionsentwicklung eine gute Wirksamkeit zeigen, durch Korrosionsprodukte des Eisens oder Kupfers im Wasser unwirksam werden. Einige Inhibitoren für Korrosion und Beläge können ausgefällt werden, wenn das umlaufende Wasser einen hohen Härtegrad aufweist. Die Prüfung einer Modellanlage sollte so gestaltet werden, dass möglichst viele dieser Faktoren einbezogen werden, und alle unvermeidbaren Abweichungen gegenüber der Anlage sollten in den Prüfberichten sorgfältig protokolliert werden.

## **9.4 Zusatzstoffe für die Wasserbehandlung**

### **9.4.1 Kombinationsprüfung**

Aus den in diesem Abschnitt beschriebenen Gründen sollten die Modell-Prüfeinrichtungen so gestaltet werden, dass die Zuführung und die Überprüfung der Zusatzstoffe für die Wasserbehandlung eingebunden in die praktischen Programme entsprechend den Empfehlungen der Lieferer möglich sind. Die Prüfung einzelner Komponenten kann Ergebnisse liefern, die möglicherweise nicht typisch für Feldbedingungen sind. Unterschiedliche Kombinationen von Zusatzstoffen können eine äquivalent gute Leistung erzielen, erfordern jedoch möglicherweise unterschiedliche Arten von Betriebsparametern. Folglich kann die Prüfung unterschiedlicher Programme unter identischen Bedingungen dazu führen, dass nicht die für jedes Programm besten Ergebnisse erreichbar sind.

### **9.4.2 Kompatibilität der Zusatzstoffe**

Die Komponenten aller Wasserbehandlungsprogramme müssen miteinander und mit dem System kompatibel sein. Kationische Biozide dürfen mit anionischen oberflächenaktiven Substanzen ausgefällt werden. Oxidierende Biozide können zwar die Aktivität einiger nicht-oxidierender Biozide verbessern, können aber auch einige Inhibitoren für Beläge und Korrosion zerstören, besonders dann, wenn ihre Konzentration hoch ist. Einige Korrosionsinhibitoren sind in den empfohlenen Dosierungen effektiv, können aber bei Überdosierung oder bei Anwendung außerhalb des empfohlenen pH-Wert-Bereichs ausgefällt werden und Fouling verursachen.

## **10 Auslegung der Einrichtungen für die Modell-Leistungsprüfung**

### **10.1 Zweck**

Ein Verfahren zur Bewertung der Leistung von Programmen für die Kühlwasserbehandlung unter Anwendung einer Modell-Prüfanordnung wird in ISO 16784-2 angegeben. Die Entwicklung von Zusatzstoffen, die zur Kontrolle spezifischer Probleme und Mechanismen bei der Wasserbehandlung vorgesehen sind, wird in keinem der Teile von ISO 16784 erfasst. Das Ziel der Prüfung der Versuchsanlage, soweit sie in diesen Teil von ISO 16784 einbezogen ist, sollte darin bestehen, die Leistung der entwickelten Programme zur Wasserbehandlung unter standortspezifischen Feldbedingungen zu bewerten. Wenn das Ziel darin besteht, ein bestehendes Problem in einem in Betrieb befindlichen Kühlsystem zu lösen, kann das am effektivsten mit einer On-line-Überwachung von Fouling, Korrosion und chemischen Parametern erreicht werden, die für das vorliegende Kühlsystem zutreffen. Zu diesem Zweck erfolgt zunächst eine schrittweise Zugabe zu den bei der praktizierten Behandlung angewendeten Chemikalien. Danach darf das vorhandene Behandlungsprogramm durch Einbeziehung der neuen chemischen Bedingungen verändert werden.

### **10.2 Bedeutung des Simulierens von spezifischen Anwendungsumgebungen**

Die Fouling- und Korrosionsbedingungen in Wärmetauschern, die vom Standpunkt der Wasserbehandlung gegenüber bestimmten Prozessschwachstellen kritisch sind, sollten besonders sorgfältig simuliert werden. Schwachstellen im Prozess können als Folge von Auslegungsmängeln oder von Prozessproblemen und nicht durch die chemische Zusammensetzung des Wassers auftreten. Realistische Prüfbedingungen sind von kritischer Bedeutung. Sowohl eine Über- wie auch eine Unterbeanspruchung des Programms zur Wasserbehandlung kann dazu führen, dass sich der Nutzen der Prüfergebnisse verringert und irreführende Prüfergebnisse erhalten werden. Beispiele können in NACE Standard RP0189 nachgeschlagen werden (siehe Literaturhinweise).

## **10.3 Kompromisse bei der Modell-Leistungsprüfung**

### **10.3.1 Wärmequelle, Wärmeauslastung und Temperatur**

#### **10.3.1.1 Wärmequelle**

Bei den meisten Einrichtungen für die Modell-Leistungsprüfung werden elektrisch beheizte Wärmeübertragungsflächen durch Prozess-Wärmetauscher ersetzt. Für diese Einrichtungen treffen einige Einschränkungen zu. Es handelt sich um Geräte für Messungen im stationären Zustand, die alle prozesseitigen Variablen eliminieren, z. B. Wärmeübertragung durch einen Prozessfilm, prozesseitiges Fouling und Veränderungen der Wärmeauslastung bei veränderlichen Produktionsraten. Daher hat die Prüfeinrichtung eine konstante Wärmeauslastung unabhängig vom wasserseitigen Fouling. Beim tatsächlichen Betrieb verringert sich die Wärmeauslastung eines Wärmetauschers, wenn sich die wasserseitige Foulingabscheidung verstärkt.

#### **10.3.1.2 Wärmeauslastung**

Wärmeauslastung und Wärmeströmung einer Einrichtung zur Modell-Leistungsprüfung unterscheiden sich merklich von Wärmeauslastung und Wärmeströmung eines modellierten Prozess-Wärmetauschers. Die Unterschiede resultieren sowohl aus der Größe als auch aus der Geometrie. Die Prüfeinrichtung ist viel kleiner als der Prozess-Wärmetauscher.

#### **10.3.1.3 Prüfgeometrie**

Die Ring-Geometrie darf durch die interne Rohrströmung ersetzt werden. Um an der Wärmeübergangsfläche die gleiche Temperatur wie am Auslass des Prozess-Wärmetauschers zu erreichen, ist der Wärmefluss in der Prüfeinrichtung größer. Die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers darf sich von der Strömungsgeschwindigkeit im Prozess-Wärmetauscher unterscheiden, um die Scherspannung des Wasserfilms gegenüber der Wärmeübertragungsfläche nachzuvollziehen. Wenn eine Ring-Geometrie angewendet wird, dürfen sich die entsprechenden Durchmesser des Ringraums und der Innenrohre des Prozess-Wärmetauschers signifikant voneinander unterscheiden.

#### **10.3.1.4 Temperaturprofil**

Es ist sehr schwierig, in einer Modelleinheit das Temperaturprofil des Wassers in einem großen, in Betrieb befindlichen Kühlkreislauf zu simulieren. Die Bedingungen der Modelleinheit sollten so weit wie möglich an die zu untersuchenden Bedingungen angepasst werden. Mögliche Kompromisse betreffen die Korrosionsgeschwindigkeit gegenüber der Wassertemperatur im Rohrrinnen, relative Oberflächenbereiche und örtliche chemische Bedingungen.

#### **10.3.1.5 Statistische Analysen**

Für eine statistische Analyse der Prüfergebnisse ist ein Gerät erforderlich, das entweder aus mehreren parallelen Röhren besteht, oder es muss eine Serie von Prüfungen unter Anwendung eines Geräts durchgeführt werden, das aus nur einem Rohr besteht. Unter Feldbedingungen ist eine statistische Analyse üblicherweise nicht erforderlich.

#### **10.3.1.6 Prüfprotokoll und Prüfbericht**

Das Prüfprotokoll und die Prüfberichte sollten bestimmte Auslegungs- und Betriebsdaten sowohl für den Wärmetauscher der Anlage als auch für die Prüfeinheit enthalten, so dass diese Daten in den Prozess der Entscheidung für eine Wasserbehandlung einbezogen werden können. Im Prüfbericht sollten Berechnungen angegeben werden, die den Nachweis für die hydrodynamische Ähnlichkeit der Prüfeinheit mit dem simulierten Wärmetauscher erbringen. Möglicherweise vorliegende Unterschiede sollten beschrieben und diskutiert werden.

### **10.3.2 Chemie des Wassers**

#### **10.3.2.1 Vergleich von On-site-Wasser (Wasser vom Standort der Anlage) und Off-site-Wasser (Wasser von außerhalb des Standorts)**

Wie im vorliegenden Teil von ISO 16784 erläutert, sollte die Modellprüfung vor Ort unter Benutzung der Wasserversorgungen der Anlage durchgeführt werden. Eine zweite und weniger anzustrebende Möglichkeit ist die Verschickung des Anlagen-Wassers zu Prüfzwecken zu einem Off-site-Laboratorium. Aus praktischen Gründen wird dieses Verfahren häufig angewendet. In diesen Fällen ist es wichtig, daran zu erinnern, dass sich die Chemie des Wassers, besonders die Alkalitätsverhältnisse und der mikrobiologische Gehalt des Wassers, durch Verschicken und Lagerung verändert, so dass diese Eigenschaften des Wassers bei Off-site-Prüfungen nicht korrekt eingeschätzt werden.

#### **10.3.2.2 Mikrobiologische Einflüsse**

Falls davon auszugehen ist, dass das mikrobiologische Fouling von Bedeutung ist, sollte eine Prüfung am Standort der Anlage während der Periode (Saison oder andere Bedingungen) vorgenommen werden, in der die Bedingungen für Biofouling am förderlichsten sind, z. B. für die Wasserbeschaffenheit.

#### **10.3.3 Produktdosierung — Einflüsse des Verhältnisses Oberfläche/Volumen**

Nach der Definition ist das Verhältnis der Oberfläche zum Volumen (Verhältnis  $s/V$ ) das Verhältnis des gesamten Bereichs der wirksamen Oberfläche des Metalls, das dem Wasser im Kühlsystem ausgesetzt ist, zum Gesamtvolumen des im System enthaltenen Wassers. In arbeitenden Kühlsystemen ist dieses Verhältnis ziemlich klein im Vergleich zu dem Verhältnis in den Modellsystemen. Das bedeutet, im Anlagensystem befindet sich im Vergleich zur Metalloberfläche viel mehr Wasser als in einer Modelleinheit. Dieses große Volumen von chemisch aufbereitetem Wasser stellt ein Reservoir für Chemikalien dar, das zur Wiederauffüllung der aus dem Oberflächenfilm durch Abscheidung, Reaktionen mit Feststoffen oder Zerfall verloren gegangenen Chemikalien dient. Aus diesem Grund sind die für einen guten Schutz gegen Fouling und Korrosion erforderlichen Dosierungen der Chemikalien oftmals in der Feld-Praxis niedriger als bei Modelluntersuchungen.

#### **10.3.4 Prüfdauer**

Ideal wäre es, für diese Art von Prüfungen eine genormte Zeitdauer angeben zu können. Diese Dauer ist jedoch unmöglich so festzulegen, dass sie für alle Kombinationen von Wasserbeschaffenheit, Aufbereitung und Betriebsbedingungen geeignet wäre. In offenen Systemen mit umlaufendem Kühlwasser ist der Foulingfaktor eine asymptotische Funktion, und die Prüfdauer sollte so ausreichend lang sein, dass, sofern nicht der Beginn der Asymptote, dann doch mindestens der Knick in der Kennlinie erreicht wird. Für die Korrosionsuntersuchung wird eine ausreichende Dauer benötigt, um für den Anwender sicherzustellen, dass die Prüfung mindestens einen oder zwei Zyklen der veränderlichen Betriebsbedingungen überdeckt. Modellprüfungen sind im Allgemeinen über zwei oder drei Wochen laufen zu lassen, wobei diese Angabe keine für alle Fälle zutreffende Empfehlung darstellt. Eine genormte Beanspruchungsdauer für Untersuchungen an Korrosions-Probestücken beträgt jedoch 90 Tage. Kürzere Zeiten ergeben im Allgemeinen höhere Korrosionsgeschwindigkeiten als die 90-Tage-Prüfung. Die geeignete Prüfdauer sollte für jeden Standort individuell bestimmt werden.

#### **10.3.5 Betrachtungen zur Gesamtauslegung**

Prüfeinrichtungen und -verfahren sollten praktisch so anwendbar sein, dass die Zeit zwischen den Prüfungen verringert wird und die Verfahren und Protokolle für die Durchführung der Prüfungen leicht verständlich und einzuhalten sind. Außerdem sollten die geforderte Reinigung, Kalibrierung, Montage und Demontage von einem erfahrenen Techniker im Feld leicht durchzuführen sein.

## **11 Arbeitsgänge bei Anwendung einer Modell-Einrichtung**

### **11.1 Dokumentation der Auslegung**

#### **11.1.1 Allgemeine Betrachtungen**

Die Bedingungen in diesem simulierten Wärmetauscher sollten so exakt wie möglich an die Feldbedingungen angeglichen werden. Alle Abweichungen von der Feldpraxis sollten identifiziert und beschrieben werden, sowohl im Prüfprotokoll als auch im abschließenden Bericht, der die Auswertung der Prüfergebnisse enthält. Diese Angaben müssen bei der Auswahl der Produkte und beim Vergleich der Ergebnisse von Modellprüfungen mit Daten von Feldprüfungen für eine Anwendung verfügbar sein.

#### **11.1.2 Prüfeinrichtung**

Die Auslegung und der tatsächliche Betrieb des nachzubildenden Prozess-Wärmetauschers müssen dokumentiert werden, bevor ein Prüfprogramm initiiert wird. Während die physikalische Gestaltung einer Einrichtung zur Modell-Leistungsprüfung nach dem Bau der Einrichtung unverändert bleiben darf, müssen Betriebsparameter, Strömung und Wärmefluss so einzustellen sein, dass die Fouling- und Korrosionsbedingungen nachgeahmt werden, die im zu modellierenden Prozess-Wärmetauscher vorliegen.

#### **11.1.3 Wasserbehandlung**

Die Gesamtheit der Betriebsbedingungen für die Wasserbehandlung des Modellsystems muss mit dem Betriebssystem übereinstimmen. Das gilt besonders für die mikrobiologische Kontrolle über oxidierende oder nicht oxidierende Mikrobiozide.

### **11.2 Wiederholpräzision der Ergebnisse und Vergleich mit der im Feld erzielten Leistung**

Die Ergebnisse von allen Prüfungen an Modellanlagen außerhalb des Anlagenstandorts oder von Laborprüfungen sollten gegenüber der standortspezifischen Feld-Leistung validiert werden. Alle Diskrepanzen sollten untersucht werden. Sorgfältige Aufzeichnungen der Prüfergebnisse und der tatsächlichen Leistung sollten aufbewahrt werden. Wenn wiederholte Diskrepanzen zwischen den bei der Leistungsprüfung und beim tatsächlichen Betrieb ermittelten Ergebnisse auftreten, sollte der Betrieb der für die Leistungsprüfung verwendeten Einrichtung so lange verändert werden, bis eine geeignete Übereinstimmung zwischen der Leistung der Wasserbehandlungsprogramme in der Modelleinheit und dem Prozess-Wärmetauscher erreicht ist.

### **11.3 Aufbewahrung der Aufzeichnungen und Prüfberichte**

Von allen relevanten Daten müssen Aufzeichnungen erstellt und aufbewahrt werden, einschließlich:

- a) für den zu modellierenden Wärmetauscher: Prozess-Konstruktionsblatt, tatsächliche Kühlwasserströmung, Eintritts- und Austrittstemperaturen, errechnete Oberflächentemperatur, Metallurgie usw.;
- b) Einrichtung für die Modell-Leistungsprüfung: Prozessauslegung, Einstellungsbedingungen, Strömungsgeschwindigkeit des Kühlwassers, Wärmeleistung oder Wärmefluss, Oberflächentemperatur, Metallurgie usw.;
- c) signifikante Kompromisse, die für einen bestimmten zu modellierenden Wärmetauscher in der Modellierungsphase getroffen wurden und die erwarteten Auswirkungen dieser Kompromisse auf die Prüfergebnisse;
- d) Chemie des Wassers in der Modellanlage;
- e) alle bei der Modellprüfung ermittelten Prüfdaten und durchgeführten Analysen.

## Literaturhinweise

- [1] ASTM G 4-01, *Standard guide for conducting corrosion tests in field applications*
- [2] KNUDSEN, J.G. *Apparatus and Techniques for Measurement of Fouling of Heat Transfer Surfaces*. In *Fouling of Heat Transfer Equipment*. Eds. E.C.F. Somerscales and J.G. Knudsen. Washington, DC: Hemisphere Publishing Corp., 1981
- [3] NACE Standard RP0189-2002, *On-Line monitoring of cooling waters*
- [4] NACE RP0300, *Standard recommended practice pilot-scale evaluation of corrosion and fouling control additives for open recirculating cooling water systems*
- [5] NACE Standard RP0497-2004, *Field corrosion evaluation using metallic test specimens*
- [6] NACE Standard TM0286-01, *Cooling water test unit incorporating heat transfer surfaces*
- [7] NEN 7420:1994, *Industrial cooling water/Assessment of the performance of treatment programmes under standard conditions*. Bilthoven, The Netherlands: Netherlands Corrosion Centre<sup>5)</sup>
- [8] PERRY, R.H. and D.W. Green, eds. *Perry's Chemical Engineers' Handbook of Chemical Engineering*. 7th ed, Chapter 10, York, NY: McGraw Hill, New, 1997
- [9] NACE Publication 3T199, *Techniques for monitoring corrosion and related parameters in field applications* (Houston, TX: NACE)

---

5) Netherlands Corrosion Centre, Postbus 120, NL, 3720 AC Bilthoven, The Netherlands.