

Kraftwerksanalytik



Qualitätskontrolle in Kraftwerken (Prozesswasser, Turbinenöle sowie Brenn- und Betriebsstoffe)



Metrohm ...

- ist der Weltmarktführer im Bereich Titration
- bietet neben sämtlichen Methoden der Ionenanalytik – Titration, Voltammetrie und Ionenchromatographie – ein komplettes Portfolio für die NIR- und Raman-Analytik
- ist ein Schweizer Unternehmen und produziert ausschliesslich in der Schweiz
- gewährt 3 Jahre Garantie auf Geräte und 10 Jahre auf chemische Suppressoren für die Anionenchromatographie
- unterstützt Sie bei Fragen mit einzigartigem Applikations-Know-how
- stellt Ihnen kostenlos über 1800 Applikationen zur Verfügung
- unterstützt Sie weltweit mit zuverlässigem Vor-Ort-Service
- ist nicht an der Börse notiert, sondern im Besitz einer gemeinnützigen Stiftung
- gibt einer nachhaltigen, den Interessen von Kunden und Mitarbeitern verpflichteten Unternehmensführung Vorrang vor einer Maximierung der Rendite

Metrohm – massgeschneiderte Kraftwerksanalytik für Wasser, Turbinenöle sowie Brenn- und Betriebsstoffe

Energie und Kraftwerke

Die Frage der Energieversorgung ist zum Leitbegriff der Moderne geworden. Bereits in der griechischen Mythologie wusste man um den Wert der Energie. Zeus nahm den Menschen das Feuer und damit jede Aussicht auf Zivilisation. Zum Glück gab es Prometheus: Er raubte den Göttern das Feuer und gab es den Menschen zurück. Heute ist kein Prometheus in Sicht. Die Menschheit muss sich auf sich selbst verlassen. Sie hat Kraftwerke entwickelt, um kinetische (Wind, Wasser) und thermische Energien (Kernenergie, chemische Energie) in elektrische Energie umzuwandeln.

Steigender Energieverbrauch

Mit der rasanten Zunahme der Erdbevölkerung – jedes Jahr wächst die Erdbevölkerung um ca. 80 Millionen Menschen – ist auch der Energieverbrauch gestiegen. Laut Berechnungen der Internationalen Energieagentur (International Energy Agency, IEA) wird der weltweite Energiebedarf bis zum Jahr 2035 um ca. 65 % steigen. Auch in Zukunft wird ein Grossteil der benötigten Energie durch fossil und nuklear betriebene Kraftwerke gedeckt.

Bedeutung der Analytik in Kraftwerken

Mit einer leistungsstarken Labor- und Prozessanalytik sorgt Metrohm für einen sicheren und nachhaltigen Betrieb der Kraftwerke und hilft, teure Stillstandszeiten zu minimieren. Dies umfasst die Analytik für das in den verschiedenen Kühlkreisläufen zirkulierende Prozesswasser, für die in den Turbinen verwendeten Öl- und Schmierstoffe sowie für Brenn- und Betriebsstoffe.

Als führender Hersteller von Geräten für die chemische Analytik wissen wir um die Herausforderungen. Wir bieten Ihnen modernste Instrumente und Systeme, mit denen Sie die Analytik im Kraftwerk durchführen können, sowohl im Labor als auch im Prozess.

Auf unsere Expertise können Sie zählen

Metrohm bietet Ihnen nicht nur modernste Geräte, sondern komplette Lösungen für ganz konkrete analytische Fragestellungen. Ihre Ansprechpartner bei uns sind Spezialisten, die massgeschneiderte Applikationen für Sie entwickeln und Sie kompetent rund um das Thema Kraftwerksanalytik unterstützen.



I. Prozesswasser

Wasserkreisläufe in thermischen Kraftwerken

Thermische Kraftwerke überführen die durch Verbrennung oder Kernspaltung entstehende Wärme in Wasserdampf. Dieser wird einer Turbine zugeleitet, die ihrerseits einen Generator antreibt und so die mechanische in elektrische Energie umwandelt. In dem hinter der Turbine angeordneten Kondensator wird der Dampf kondensiert und wieder dem Speisewasserbehälter zugeführt, von wo das Wasser wieder in den Dampfkessel gepumpt wird. Kühlwasser durchfließt in einem getrennten Kreislauf den Kondensator und führt die Kondensationswärme des Dampfes über einen Wärmetauscher ab. Kernkraftwerke mit Druckwasserreaktoren haben noch einen weiteren Wasserkreislauf, den sogenannten Primärkreislauf.

Die Wasserchemie muss stimmen

Alle thermischen Kraftwerke verwenden Wasser als zentrales (Arbeits-)Medium. In flüssiger Form dient es der Kühlung und in gasförmiger Form treibt es die Turbinen an. In Kernkraftwerken moderiert es zudem noch die Spaltneutronen und kontrolliert somit die Kernspaltung. Eine durchdachte Wasserchemie garantiert Sicherheit und Effizienz im Kraftwerk.

Richtlinien der VGB, EPRI, EPPSA, IAPWS und Regelwerke der IAEA

Nahezu 50 % der ungewollten Stillstandszeiten in Kraftwerken sind auf Verunreinigungen sowie Probleme in der Wasser-Dampf-Kreislaufchemie zurückzuführen. Dabei steht die Korrosion an vorderster Stelle. Diverse Richtlinien definieren zulässige Betriebsbereiche und dienen Kraftwerksbetreibern als wichtige Orientierung. Zum einen ist da die VGB (Verein der Grosskesselbesitzer e.V.) und die EPPSA (European Power Plant Suppliers' Association),

zum anderen die IAPWS (International Association for the Properties of Water and Steam) und das EPRI (Electric Power Research Institute). Des Weiteren gibt es noch die Regelwerke der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEA, International Atomic Energy Agency), die sich ausschliesslich mit der nuklearen Energieerzeugung befassen.

Je nach Kraftwerkstyp, Kühlkreislaufdesign und den eingesetzten Werkstoffen variiert die Wasserchemie. Jeder Kühlkreislauf ist in seiner Zusammensetzung einzigartig und hat seine eigenen Anforderungen an die Analytik. Falls Ihre Kraftwerksapplikation in diesem Prospekt nicht enthalten ist, dann wenden Sie sich bitte an Ihre Metrohm Vertretung.

Prozess- und Laborparameter

Bezüglich der Instrumentierung unterscheidet man in der Analytik zwischen Prozess- und Laborparametern. Erstere sind Schlüsselparameter, die meist online bestimmt werden und der kontinuierlichen Kontrolle des Betriebszustands dienen. Laborparameter werden dagegen offline und meist in definierten Zeiträumen bestimmt. Sie geben zusätzliche diagnostische Hilfe und ergänzen die Online-Messungen; sie dienen nicht der primären Kontrolle des Betriebszustands.

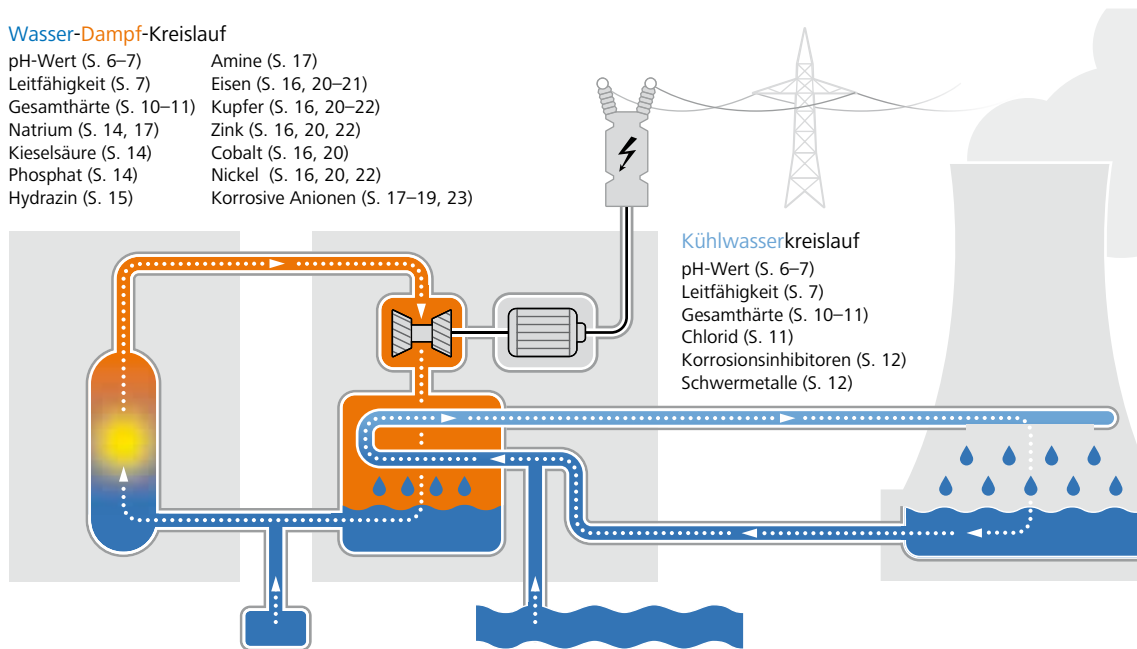
Die folgenden beiden Flussdiagramme zeigen wichtige Parameter, die im Rahmen der Wasserchemie in Kraftwerken mit zwei beziehungsweise drei Kreisläufen bestimmt werden. Die Zahlen in den Klammern verweisen auf die Seite(n), auf der die Applikation beschrieben ist.



Inhaltsverzeichnis

Wasser-Dampf-Kreislauf

- pH-Wert (S. 6–7)
- Leitfähigkeit (S. 7)
- Gesamthärte (S. 10–11)
- Natrium (S. 14, 17)
- Kieselsäure (S. 14)
- Phosphat (S. 14)
- Hydrazin (S. 15)
- Amine (S. 17)
- Eisen (S. 16, 20–21)
- Kupfer (S. 16, 20–22)
- Zink (S. 16, 20, 22)
- Cobalt (S. 16, 20)
- Nickel (S. 16, 20, 22)
- Korrosive Anionen (S. 17–19, 23)



- Kühlwasserkreislauf**
- pH-Wert (S. 6–7)
 - Leitfähigkeit (S. 7)
 - Gesamthärte (S. 10–11)
 - Chlorid (S. 11)
 - Korrosionsinhibitoren (S. 12)
 - Schwermetalle (S. 12)

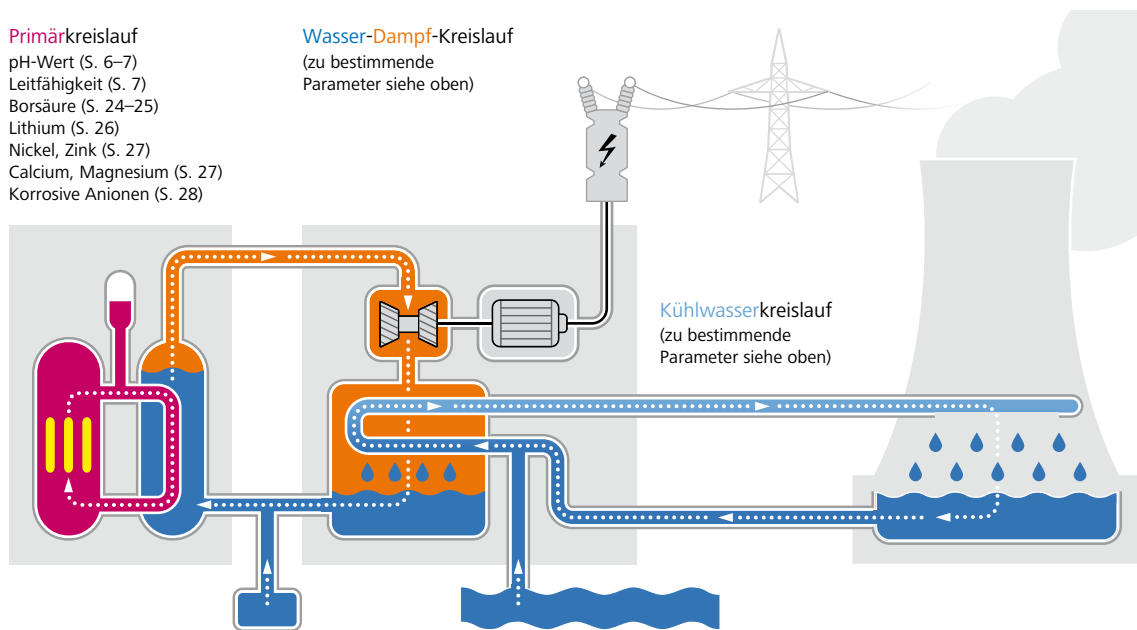
Zu überwachende analytische Parameter in einem Kraftwerk mit zwei Wasserkreisläufen

Primärkreislauf

- pH-Wert (S. 6–7)
- Leitfähigkeit (S. 7)
- Borsäure (S. 24–25)
- Lithium (S. 26)
- Nickel, Zink (S. 27)
- Calcium, Magnesium (S. 27)
- Korrosive Anionen (S. 28)

Wasser-Dampf-Kreislauf

(zu bestimmende Parameter siehe oben)



- Kühlwasserkreislauf**
- (zu bestimmende Parameter siehe oben)

Zu überwachende analytische Parameter in einem Druckwasserreaktor mit drei Wasserkreisläufen

II. Turbinen- und Schmieröle

Turbinen- und Schmieröle sind in Kraftwerken extremen Belastungen ausgesetzt. Zahlreiche internationale Normen definieren Anforderungen und Prüfverfahren für die In-Service-Wartung der eingesetzten Turbinen. Diese Broschüre beschreibt auf den Seiten 32 bis 35 zwei der in der ASTM D4378 festgelegten Prüfverfahren, zum einen die potentiometrische Bestimmung der Säure und Basenzahl und zum anderen die Karl-Fischer-Titration zur Ermittlung des Wassergehalts.

III. Brenn- und Betriebsstoffe

Mittels der auf den Seiten 36 bis 37 beschriebenen Combustion Ion Chromatography können Halogene und Schwefel in sämtlichen brennbaren, festen oder flüssigen Proben bestimmt werden, sei es in Brennstoffen wie Kohle oder Müll, sei es in Gebrauchsgegenständen wie Latexhandschuhen, oder auch zur Untersuchung des Ionenaustauschermaterials, das bei der Aufbereitung des Prozesswassers eingesetzt wird.

I. Prozesswasser in Kraftwerken

pH-Wert und Leitfähigkeit

Alle thermischen Kraftwerke wandeln die durch Verbrennungsprozesse oder Kernspaltung freigesetzte Energie in Wärme um, mit der das Arbeitsmittel Wasser verdampft wird. Der Wasserdampf wird überhitzt und unter hohem Druck auf die Schaufeln der Hochdruckturbine geleitet. In Rotation versetzt, erzeugen diese durch Kopplung mit einem Generator Strom. Im Niederdruckbereich der Turbine wird der Dampf entspannt und im gekühlten Kondensator zu Wasser kondensiert. Das Kondensat wird gereinigt, vorgewärmt und dem Verdampfer über Pumpen wieder als Speisewasser zugeleitet. Das den Kondensator in kilometerlangen Röhren durchfließende Hauptkühlwasser führt die Kondensationswärme ab. Grundlage eines effizienten und störungsfreien Betriebs der Dampfturbine ist die Dampfreinheit.

pH-Wert

Das Korrosionsverhalten von Metallen wird in erster Linie durch den Sauerstoffgehalt und den pH-Wert des Wassers bestimmt. Mit steigendem pH-Wert vermindert sich die Triebkraft der Korrosion. Am stärksten ist die Korrosion bei pH-Werten unter 8; darüber dominieren meist Passivierungsreaktionen. Im Primärkreislauf des Druckwasserreaktors ist der pH-Wert ein wichtiger Parameter zur Kontrolle der zudosierten Menge an Lithiumhydroxid; in Wasser-Dampf-Kreisläufen steuert er die Aminzugabe.

Die Bestimmung des pH-Werts erfolgt mit dem 867 pH Module – gesteuert per Software oder Touch Control – oder dem 780 pH Meter. Als Sensor empfiehlt sich die Aquatrode Plus; in ionenarmen Prozesswässern garantiert sie höchste Präzision in der pH-Messung.

Aquatrode Plus: Das unempfindliche Festschliffdiaphragma garantiert ein rauscharmes Messsignal in ionenarmen Wässern.



Leitfähigkeit

Die Leitfähigkeit lässt auf den Anteil an gelösten Mineralien schliessen. Sie ist ein Mass für die Reinheit des Wassers und gehört zu den wichtigsten Parametern eines jeden chemischen Kontrollprogramms im Kraftwerk. Sie wird an zahlreichen Beprobungsstellen im Kraftwerk bestimmt: im Kühlwasserkreislauf, im Speise- und Zusatzwasser, am Ausgang der Kondensatpumpe sowie im Primärkreislauf eines Druckwasserreaktors. Im hochreinen Prozesswasser spiegelt sie die Menge an zudosierten Additiven wie Ammonium oder Amininen wider. Eine plötzliche Zunahme der Leitfähigkeit ist häufig ein Hinweis auf Leckagen, da sich Kohlendioxid aus der Luft im Wasser löst.

Ein wichtiger Parameter ist die Kationen- oder auch Säureleitfähigkeit, die am Ausgang eines Kationenaustauschers bestimmt wird und die Anwesenheit von korrosiven Säureresten anzeigt. Die Leitfähigkeit der Säureanionen wird signifikant verstärkt, da die Gegenionen – Ammonium oder Natrium – gegen das sehr viel leitfähigere Hydroniumionen ersetzt werden. Die Leitfähigkeitsmessung nach Kationenaustausch ist ein wichtiger Parameter zum Aufspüren von Leckagen. Der Leitwert von Reinstwasser in Wasser-Dampf-Kreisläufen liegt in der Grössenordnung von $0.15 \mu\text{S}/\text{cm}$. Wird dieser Wert überschritten, ohne dass zuvor Additive zudosiert wurden, ist dies häufig ein Hinweis auf eindringende Verunreinigungen aus dem Kühlwasserkreislauf.

Die Bestimmung der Leitfähigkeit in Reinstwasser ist anspruchsvoll. Das 856 Conductivity Module, entweder Software- oder Touch-gesteuert, erfüllt diese Aufgabe in Verbindung mit einer Edelstahlleitfähigkeitsmesszelle.

pH-Wert und Leitfähigkeit – Prozessparameter

pH-Wert und Leitfähigkeit müssen an zahlreichen Stellen des Kühlkreislaufs quasikontinuierlich bestimmt werden. Dies leistet der ADI 2045TI Process Analyzer von Metrohm Process Analytics, der diese Direktmessungen mit verschiedenen Analysemethoden kombiniert und für die simultane Analyse mehrerer Probenströme und Parameter konzipiert ist. Die Messung erfolgt in drucklosen und auf Raumtemperatur gekühlten Probeströmen der Hochtemperatur-Wasserkreisläufe, in denen die Online-Sensoren angeordnet sind.



Das 856 Conductivity Module (Mitte) mit 900 Touch Control und 801 Stirrer

Korrosion

08

In Kraftwerken, wo metallische Oberflächen ständig im Kontakt mit Wasser stehen, ist Korrosion allgegenwärtig. Gemäss der Definition in der DIN EN ISO 8044 versteht man unter Korrosion die physikochemische Wechselwirkung zwischen einem Metall und seiner Umgebung, in deren Folge eine messbare Veränderung des Werkstoffes auftritt, die zu einer Beeinträchtigung der Funktion des Metalls oder des gesamten Systems führen kann. Diese Wechselwirkungen sind meist elektrochemischer Natur. Ziel ist es, durch geeignete Aufbereitung und Konditionierung des Wassers, die Korrosionsrate und den

Transport von Korrosionsprodukten in den Kreisläufen so niedrig wie möglich zu halten.

Zur Quantifizierung der Korrosionsraten werden zunehmend elektrochemische Untersuchungsmethoden eingesetzt. Diese sind den traditionellen Methoden wie zum Beispiel der Bestimmung des Gewichtsverlusts weit überlegen, da sie mit geringerem Arbeits- und Zeitaufwand, ein tieferes Verständnis der Korrosion vermitteln. Die Leistungsfähigkeit der elektrochemischen Methoden spiegelt sich in zahlreichen internationalen Normen wider.

Auswahl wichtiger Normen zu Korrosionsmessungen

Normbezeichnung	Kurzbeschreibung
ASTM G102	Standardverfahren zur Berechnung von Korrosionsgeschwindigkeiten und entsprechende Angaben aus elektrochemischen Messungen
DIN 50918	Korrosion von Metallen; elektrochemische Korrosionsuntersuchungen
ASTM G106 DIN EN ISO 16773	Standardverfahren für elektrochemische Impedanzmessungen
ASTM G5 DIN EN ISO 17475	Referenzprüfung für potentiostatische und potentiodynamische Messungen der anodischen Polarisation Korrosion von Metallen und Legierungen – elektrochemische Prüfverfahren – Richtlinien für die Durchführung potentiostatischer und potentiodynamischer Polarisationsmessungen
ASTM G199	Standardanleitung für elektrochemische Rauschmessungen
ASTM G148	Standardverfahren zur Auswertung der Wasserstoffaufnahme, Durchdringung und des Transports in Metallen mittels Elektrochemie
ASTM G150	Genormte Untersuchungsmethode für elektrochemische Prüfung der kritischen Lochbildungstemperatur von Edelstahl
DIN 50919	Korrosion von Metall, Untersuchungen der galvanischen Korrosion in Elektrolytlösungen

Zu den wichtigsten elektrochemischen Methoden in der Korrosionsprüfung gehören die lineare Polarisation (linear polarization, LP), die elektrochemische Rauschmessung (electrochemical noise measurement, ECN) und die elektrochemische Impedanzspektroskopie (electrochemical impedance spectroscopy, EIS).

Die kritische Lochfrassstemperatur gemäss ASTM G150

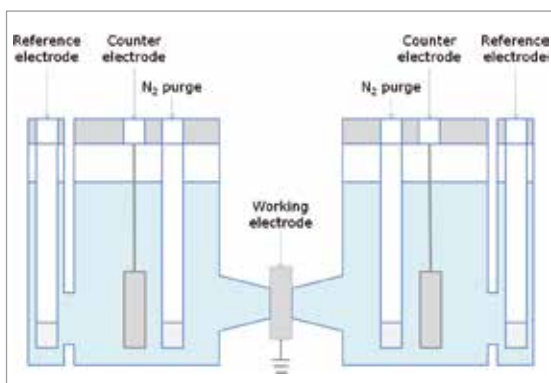
Ein Mass für die Korrosionsbeständigkeit eines Werkstoffes bei hohen Temperaturen ist die kritische Lochfrassstemperatur (critical pitting temperature, CPT). Sie gibt die

Temperatur an, bei der auf einer Metalloberfläche, die unter definierten Bedingungen einer Prüflösung ausgesetzt ist, erstmalig Korrosionsangriffe in Form von tiefen Mulden auftreten. Ihre Bestimmung erfolgt bei konstantem Polarisationspotential. Die kritische Lochfrassstemperatur ist an einem starken Anstieg der anodischen Stromdichte erkennbar. Je beständiger der Werkstoff gegenüber Lochfrass, desto höher die CPT. Die Bestimmung der CPT erfolgt auf dem Autolab PGSTAT 302N oder 128N mit einem optionalen pX1000 Module. Die Temperatur der Messzelle wird von einem externen Thermostaten geregelt, der an eine Korrosionszelle angeschlossen ist.

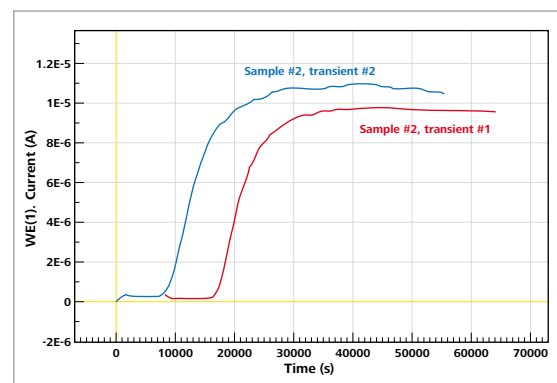
Wasserstoffpermeation gemäss ASTM G148

Elektrochemisch entwickelter Wasserstoff absorbiert an metallischen Werkstoffoberflächen, dringt in diese ein und verändert deren mechanische Eigenschaften. Daher ist die Bestimmung der Wasserstoffpermeation von Metallen ein wichtiger Parameter in der Korrosionsforschung. Bestimmt wird die elektrochemisch kontrollierte Wasserstoffpermeation mit Hilfe der Devanathan-Stachurski-(Doppel-)Zelle. Sie besteht aus zwei getrennten elektroly-

tischen Zellen, die durch das zu untersuchende Metall als Membran getrennt sind. An der Kathode wird elektrochemisch Wasserstoff hergestellt, während der durch die Metallmembran diffundierende Wasserstoff an der Anode bei einem konstanten Potential oxidiert wird. Dabei ist der Oxidationsstrom direkt proportional zur Menge des durch die Metallmembran diffundierten Wasserstoffs.



Schematische Darstellung der Devanathan-Stachurski-Zelle für elektrochemisch kontrollierte Wasserstoffpermeationsmessungen



Wasserstoffpermeationsmessungen an zwei Proben aus Kohlenstoffstahl mit unterschiedlicher Dicke

Metrohm Autolab offeriert die komplette Produktpalette an elektrochemischen Messgeräten für Korrosionsmessungen, sei es in kompakter (PGSTAT101) oder modularer (PGSTAT302N, 128N, 100N, 302F) Form, sei es in Verbin-

dung mit optionalen Modulen (FRA32M für elektrochemische Impedanz- und ECN für elektrochemische Rauschmessungen) oder mit weiterem Zubehör (elektrochemische Zellen, Korrosionszellen, Elektroden).



Der Autolab PGSTAT128N mit dem Modul FRA32M

 **Metrohm**
Autolab B.V.

www.metrohm-autolab.com

Kühlwasser

Das Kühlwasser hat die Aufgabe, den Wasserdampf nach Austritt aus der Turbine zu Wasser zu kondensieren, welches dann als Speisewasser wieder dem Wasser-Dampf-Kreislauf zugeführt wird. Dazu durchströmt Kühlwasser in kilometerlangen Röhren – meist aus Titan – den Kondensator und nimmt dabei die Kondensationswärme des Dampfes auf. Die Kühlung des Kühlwassers erfolgt entweder mittels Durchlaufkühlung, bei der Wasser einem Fluss entnommen und leicht erwärmt wieder zurückgeleitet wird, oder in einem Kühlturmkreislauf. In einem Nasskühlturm wird diese Wärme an die Umgebung abgegeben, indem das warme Kühlwasser im Kühlturm aus grosser Höhe herabfällt und die Wärme an den aufsteigenden Luftstrom überträgt. Die kontinuierliche Wiederverwendung des Kühlwassers führt dazu, dass Verunreinigungen sich aufkonzentrieren. Um Korrosions- und Ablagerungsprozesse im Kühlwasserkreislauf zu kontrollieren, ist auch hier eine Wasseranalytik erforderlich. Jedoch sind die Reinheitsansprüche an das Kühlwasser deutlich geringer als im Fall des Kesselspeisewassers. Einige Parameter sind im Folgenden beschrieben.

Bestimmung der Wasserhärte mittels ionenselektiver Elektrode (ISE)

Gelöste Erdalkalisalze im Kühlwasser können sich in den kilometerlangen Röhren des Kondensators ablagern. Dadurch bildet sich eine Isolierschicht, die den Wärmeübergang behindert und die Funktion des Kondensators beeinträchtigt. Das Gleiche gilt in noch viel stärkerem Masse für die Dampferzeuger im Wasser-Dampf-Kreislauf.

Als Prüfparameter für Speisewasser dient die Bestimmung der Gesamthärte, welche die Summe der Erdalkalimetallkationen bezeichnet. Näherungsweise entspricht sie der Summe der Calcium- und Magnesiumhärte. Ihre Bestimmung erfolgt mittels komplexometrischer Titration mit dem Titranten Na_2EDTA und einer Ca^{2+} -selektiven Elektrode (gemäss ISO 6095).



Kombinierte Polymermembranelektrode für die Calcium- und Magnesiumbestimmung



Das MATi 01 besteht aus 815 Robotic USB Sample Processor XL, mehreren 800 Dosinos, 856 Conductivity Module und dem 905 Titrando. Es eignet sich hervorragend für vollautomatische Analysen von Prozesswässern in Kraftwerken.

Colorimetrische Bestimmung der Wasserhärte – Prozessparameter

Neben der auf Seite 10 beschriebenen Bestimmung mittels ISE kann die Wasserhärte auch colorimetrisch bestimmt werden. Nach Zugabe des Indikators Hydroxynaphtholblau bildet sich bei pH-Werten über 7 ein roter Komplex. Gibt man EDTA-Lösung dazu, wechselt die Farbe nach blau. Die Farbänderung ist proportional zur Konzentration der Erdalkalimetallionen. Die Bestimmung im Sub- $\mu\text{g/L}$ -Bereich erfolgt bequem auf einem ICON Analyzer von Metrohm Process Analytics und dauert nur 10 Minuten. Der ICON Analyzer ist das ideale Gerät für die Online-Überwachung von Wasser. Es ist nicht nur robust und zuverlässig, er ist auch einfach zu bedienen: Netzkabel einstecken, Proben- und Reagenzschläuche anschliessen und los geht's! Für höhere Calcium- und Magnesiumkonzentrationen können auch andere High-End-Analysatoren von Metrohm Process Analytics eingesetzt werden.

Chlorid

Chloridionen begünstigen die Metallkorrosion, weshalb die Chloridkonzentration im Kühlwasser gewisse Grenzwerte nicht überschreiten darf. Die Bestimmung der Chloridionen erfolgt mittels potentiometrischer Titration mit dem Titranden AgNO_3 nach vorhergehender pH-Wert-Einstellung mit Salpetersäure. Als Sensor dient eine kombinierte Ag-Ring-Elektrode, die Ag-Titrode. Diese ist wartungsfrei, da sie als Referenzelektrode eine pH-Glasmembran verwendet. Dadurch entfällt das regelmässige Nachfüllen mit Elektrolyt.

Die Ag-Titrode zur Chloridbestimmung



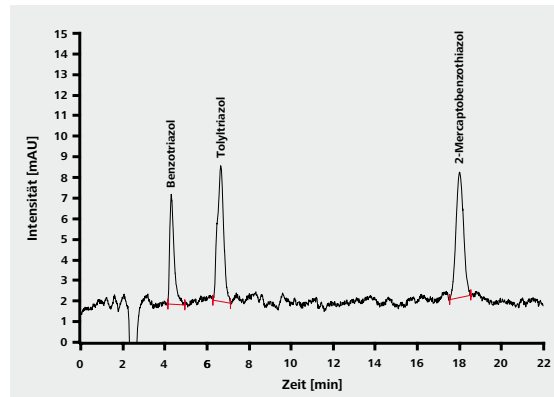


Korrosionsinhibitoren

Die Inhibierung der Stahlkorrosion erfolgt durch Zugabe von Zinkionen, Phosphaten oder Phosphonaten. Sie bilden dünne Schutzfilme und schützen das Metall vor Korrosion. Zur Inhibierung der Kupferkorrosion und seiner Legierungen werden Triazole, wie Tolyltriazol, Benzotriazol und 2-Mercaptobenzothiazol, im mg/L-Bereich eingesetzt. Auf der Metalloberfläche bilden sie schwer lösliche Verbindungen. Da die Kupferverbindungen der Triazole nicht oxidationsstabil sind und mit zudosierten Mikrobioziden reagieren, müssen die Triazole nachdosiert werden, was eine regelmässige Bestimmung verlangt. Hierfür eignet sich die Ionenchromatographie mit spektrophotometrischer Detektion.

Schwermetalle

Schwermetalle wie Cu, Fe, Zn und Pb gelangen vor allem durch Korrosion in das Kühlwasser. Sie führen im verzweigten Röhrensystem des Kondensators zu Verkrustungen, die einen sehr hohen Wärmeleitwiderstand besitzen und die Wärmeübertragung erschweren. Zudem fungieren sie als Katalysatoren für weitere Verschmutzungen.



Mit jeweils 1 mg/L Korrosionsinhibitoren aufgestockte Kühlwasserprobe; Säule: Prontosil 120-3-C18-AQ 150/4.0; Eluent: 0.5 % Phosphorsäure und 25 % Acetonitril, 0.8 mL/min; Säulentemperatur 40 °C; Wellenlänge: 214 nm (bei 320 nm wird nur das 2-Mercaptobenzothiazol detektiert); Probenvolumen: 20 µL

Die Bestimmung erfolgt mit dem bedienungsfreundlichen und modernen 884 Professional VA. Der Allround-Messstand erlaubt die genaue und empfindliche Bestimmung von Metallspuren im Kühlwasser. Eine Probenvorbereitung ist im Prozesswasser nicht erforderlich.

Wasser-Dampf-Kreislauf – Kesselspeisewasser

Kesselspeisewasser ist das Arbeitsmittel im Wasser-Dampf-Kreislauf eines thermischen Kraftwerks. Es besteht aus dem wiederverwendeten Kondensat aus dem Wasser-Dampf-Kreislauf und aufbereitetem Zusatzwasser. In Rohrleitungen durchfließt es den Dampferzeuger, wo es durch Wärme in hochreinen Dampf umgewandelt wird, der die Turbinen antreibt und über die Generatoren Strom erzeugt. Nach Verlassen der Turbine wird der Abdampf in einem nachgeschalteten Kondensator bei möglichst tiefen Temperaturen kondensiert und als Speisewasser wieder in den Dampferzeuger geleitet. In letzterem herrschen sehr hohe Temperaturen, was zu Korrosion

und Ablagerungen führt, welche die Leistung des Kraftwerks stark vermindern. Um dem entgegenzuwirken, ist eine optimale Speisewasserchemie erforderlich. Zum einen muss das Wasser ultrarein sein, zum anderen muss die Zudosierung von Konditionierungsmitteln (Phosphate, Sauerstoffbindemittel) stetig überprüft werden. Die Anforderungen an das im Wasser-Dampf-Kreislauf zirkulierende Wasser sind dementsprechend sehr hoch und werden unter anderem in den Normen EN 12952 (Wasserrohrkessel und Anlagenkomponenten) sowie EN 12953 (Grossraumwasserkessel) definiert.

EN 12953: Anforderungen an Speisewasser für Dampfkessel und Heisswasserkessel

Parameter Betriebsdruck [bar]	Speisewasser		Zusatzwasser Gesamtbereich
	> 0.5 a 20	> 20	
pH-Wert bei 25 °C	> 9.2	> 9.2	> 7.0
Leitfähigkeit bei 25 °C [µS/cm]	< 6'000	< 3'000	< 1'500
Gesamthärte (Ca + Mg) [mmol/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.05
Eisen [mg/L]	< 0.3	< 0.1	< 0.2
Kupfer [mg/L]	< 0.05	< 0.03	< 0.1
Kieselsäure [mg/L]	druckabhängig		
Sauerstoff [mg/L]	< 0.05	< 0.02	–
Öl/Fett [mg/L]	< 1	< 1	< 1
Organische Substanzen*	–		

* Organische Substanzen können zu Produkten abgebaut werden, welche Säureleitfähigkeit, Korrosion und Ablagerungen erhöhen. Des Weiteren können sie zu Schaum- und/oder Belagbildung führen. Ihre Konzentration im Kesselspeisewasser sollte daher so gering wie möglich sein.

Die im Folgenden beschriebenen Methoden gelten zur Überprüfung der Grenzwerte an verschiedenen Stellen des Wasser-Dampf-Kreislaufs und beinhalten Analysen von Dampf, Kondensat, Kesselspeise- und Zusatzwasser. Zugleich dienen diese Methoden der Kontrolle der Wasserchemie im Reaktorkühlsystem des Siedewasser- und Druckwasserreaktors sowie im Kühlkreislauf.

Dampf für Heizzwecke und Prozessdampf

Dampf wird nicht nur zum Antrieb von Turbinen, sondern auch zu Heizzwecken oder als Prozessdampf in der chemischen Industrie verwendet. Viele der in dieser Broschüre beschriebenen Applikationen sind auch für diese, hier nicht erwähnten Anwendungen relevant.

Natrium mittels ionenselektiver Elektroden – Prozessparameter

Natriumionen sind im Wasser allgegenwärtig. Ein Großteil stammt aus der Zudosierung von Natronlauge und Trinatriumphosphat im Rahmen der Kesselwasserkonditionierung. Erhöhte Natriumkonzentrationen im Wasser-Dampf-Kreislauf weisen zudem auf Leckagen im Kondensator hin, wo natriumreicheres Kühlwasser in hochreines Prozesswasser eindringt. Auf Metalle wirken Natriumionen korrosiv, und im Prozesswassersystem sowie auf den Turbinenschaufeln sorgen sie für schädliche Ablagerungen.

Typische Natriumkonzentrationen in Kraftwerkswässern liegen unter 50 µg/L. Die einfachste Bestimmung erfolgt mittels ionenselektiver Elektroden (ISE) und Ammonium- oder Diisopropylaminpuffer. Die in den Alert Ion Analyzers eingesetzten ionenselektiven Elektroden mit Polymembran benötigen dagegen keinen Puffer. Ihre Wirkungsweise ist einfach: Die Polymermembran enthält ein Molekül (Iono-phor), das ausschließlich Natriumionen bindet. Dringen Natriumionen in diese Membran ein, so verändern sich die elektrochemischen Eigenschaften der Membran, was eine Potentialänderung bewirkt. Die Nachweisgrenzen liegen im Sub-mg/L-Bereich.

Natrium kann auch ionenchromatographisch bestimmt werden. Sollen neben Natrium noch weitere Kationen bestimmt werden, so ist die Ionenchromatographie die Methode der Wahl (Seite 17).

Kieselsäure – Prozessparameter

Eine zu hohe Kieselsäurekonzentration im Kesselspeise- oder Zusatzwasser von Kraftwerken ist zu vermeiden. Kieselsäure (SiO_2) ist eine sehr schwach dissoziierte Säure. Kolloidale Kieselsäure wird bei der Aufbereitung des Zusatzwassers nicht von den Ionenaustauschern zurückgehalten und wandelt sich im Kessel durch Hydrolyse in

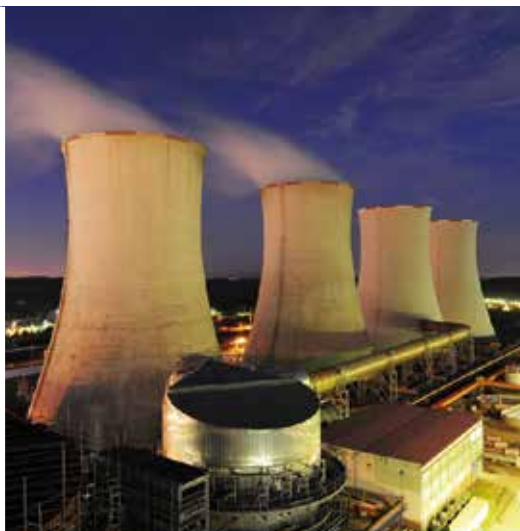
lösliche Kieselsäure um. Bei höheren Drücken gelangt sie infolge ihrer Dampflichkeit in den Dampfkreislauf, wo sie sich besonders in Gegenwart von Erdalkalimetallen auf den Turbinenblättern absetzt.

Die Bestimmung der Kieselsäure erfolgt colorimetrisch nach Umsetzung mit Ammoniummolybdat und anschließender Reduktion der entstandenen gelben Silicomolybdänsäure mit Ascorbinsäure zu einem blauen Silicomolybdänblau. Störungen durch Phosphat – auch Phosphat wird durch Zugabe von Ammoniummolybdat bestimmt – vermeidet man durch Addition von Oxalsäure. Die Analyse erfolgt auf einem ICON Analyzer; die Nachweisgrenzen liegen im unteren µg/L-Bereich.

Phosphatbestimmung – Prozessparameter

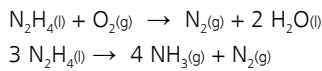
Phosphate gehören zu den gängigsten Konditionierungsmitteln im Kühl- und Kesselspeisewasser. Auf Metalloberflächen bilden sie korrosionsbeständige Schutzfilme; Risse und Fehlstellen werden in ihrer Gegenwart phosphatiert. Zum Kesselspeisewasser gibt man Trinatriumphosphat (TNP); es reduziert die Resthärte, phosphatiert und alkalisiert das Kesselspeisewasser. Zu hohe TNP-Konzentrationen führen zu einer störenden Schaumbildung. Die Phosphatzugabe erfolgt meist quasikontinuierlich.

Die Bestimmung im Prozess erfolgt colorimetrisch mittels der Phosphormolybdänblau-Methode bei 875 nm. Ammoniummolybdat reagiert im Sauren mit Orthophosphat zur gelben Dodekamolybdatophosphorsäure ($\text{H}_3[\text{P}(\text{Mo}_3\text{O}_{10})_4]$), welche mit starken Reduktionsmitteln wie Ascorbinsäure zum Phosphormolybdänblau reduziert wird. Die Bestimmungsgrenzen liegen im mg/L-Bereich. Die Messung erfolgt mittels ICON Analyzer ADI 2019 oder ADI 2045.



Sauerstoffbindemittel (Hydrazin) – Prozessparameter

In Wasserkreisläufen ist der gelöste Sauerstoff eine der Hauptursachen der Korrosion, weshalb Wasser vor Gebrauch immer thermisch entgast wird. Der Restsauerstoff wird chemisch entfernt – meist durch Zudosieren von Reduktionsmitteln wie Hydrazin oder Sulfit. Sulfit-salze haben den Nachteil, dass sie zum korrosiven Sulfat oxidiert werden und somit die Salzfracht im Wasser-Dampf-Kreislauf erhöhen. Hydrazin ist als carcinogen eingestuft, ist jedoch in seiner Wirksamkeit im Wasserkreislauf kaum zu übertreffen. Es ist ein ausgezeichnetes Sauerstoffbindemittel und seine Oxidations- und Zersetzungsprodukte sind salzfrei, da sie lediglich aus Stickstoff, Wasser und Ammoniak bestehen.



Des Weiteren erhöht Hydrazin den pH-Wert und ist darüber hinaus noch ein guter Korrosionsinhibitor. In Stahlkesseln bildet es eine passivierende Magnetitschicht, auf kupferhaltigen Legierungen eine Oxidschutzschicht.

Hydrazin wird colorimetrisch mit p-Dimethylaminobenzaldehyd bei 440 nm bestimmt. Der Nachweis erfolgt mittels Alert Ion Analyzer. Die Analyse dauert 10 Minuten; die Nachweisgrenze liegt im unteren µg/L-Bereich. Zunehmend wird auch Diethylhydroxylamin (DEHA) als Sauerstoffbindemittel eingesetzt. Diese kann ebenfalls colorimetrisch mit dem Alert Ion Analyzer nachgewiesen werden. DEHA reduziert zugegebenes Fe(III) zu Fe(II), welches dann colorimetrisch bestimmt wird.

Übersicht über colorimetrische Bestimmungen in der Kraftwerkschemie – Prozessparameter

Analyt	Konzentrationsbereich [mg/L]	Methode (Farbreagenz)	Analysator
Wasserhärte (Ca, Mg)	0.005–5	Hydroxynaphtholblau (HNB)	ICON, ADI 2019, ADI 2045
Eisen (Fe ²⁺)	0.005–1	Triazin	ICON, ADI 2019, ADI 2045
Kupfer (Cu ²⁺)	0.02–5	2,2-Bicinchoninsäure	ICON, ADI 2019, ADI 2045
Nickel (Ni ²⁺)	0.02–3	Dimethylglyoxim	ICON, ADI 2019, ADI 2045
Zink (Zn ²⁺)	0.02–2	Zincon	ICON, ADI 2019, ADI 2045
Phosphat	0.01–7	Phosphomolybdänblau	ICON, ADI 2019, ADI 2045
Kieselsäure	0.005–5	Molybdänblau	ICON, ADI 2019, ADI 2045
Hydrazin	0.005–0.5	p-Dimethylaminobenzaldehyd	ICON, ADI 2019, ADI 2045
Diethylhydroxylamin (DEHA)	0.005–0.5	Fe ³⁺	ICON, ADI 2019, ADI 2045

Ionenselektiv

- Ammoniak
- Calcium
- Chlorid
- Fluorid
- Nitrat
- Kalium
- Natrium



Colorimetrisch

- Aluminium
- Ammoniak
- Chrom
- Kupfer
- Hydrazin
- Eisen
- Nickel
- Nitrat
- Nitrit
- Phosphat
- Silicium
- Zink

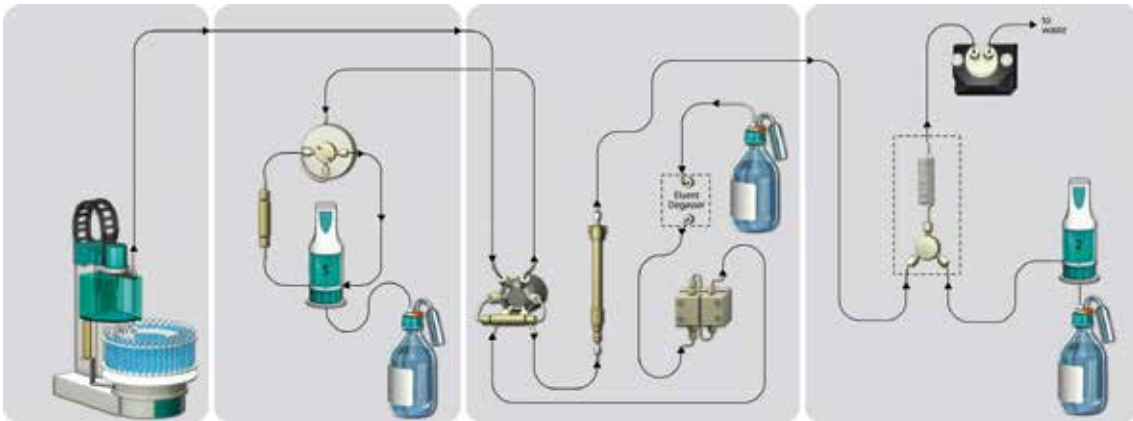
«Plug and analyze» – Die bequeme Online-Wasserüberwachung, einmal mit dem **Alert Ion Analyzer** (links) für die Messung mit ionenselektiven Elektroden, das andere Mal mit dem **ICON Analyzer** (rechts) für colorimetrische Messungen.

Übergangsmetalle

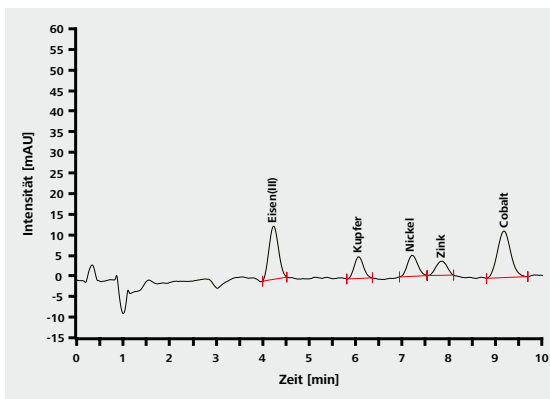
Im Kraftwerk stehen Wasser, Dampf und Metalloberflächen in ständigem Kontakt miteinander und Korrosion ist allgegenwärtig. Ionen der Metalle Eisen, Kupfer und Nickel sind wichtige Korrosionsindikatoren. Sie werden vom Dampf mitgerissen und lagern sich auf den Turbinenschaufeln ab, was zu erheblichen Leistungsverlusten führt.

Ihre Bestimmung erfolgt durch Ionenchromatographie mit UV/VIS-Detektion. Die Probenvorbereitung erfolgt mittels Inline-Anreicherung der Metallkationen. Der Eluent löst die Metalle von der Anreicherungsäule und spült sie

in Form ihrer negativ geladenen anionischen Komplexe auf die Anionenaustauschersäule, wo sie getrennt werden. In der Nachsäulenreaktion reagieren die Metalle mit dem Chelatbildner PAR zu spektrochemisch aktiven Komplexen, deren Nachweis per UV/VIS-Detektion erfolgt. Die Methode erlaubt die Unterscheidung zwischen Eisen(II) und Eisen(III). Wie die Kationenbestimmung im Wasser-Dampf-Kreislauf des Siedewasserreaktors auf Seite 22 verdeutlicht, können diese auch direkt mittels Leitfähigkeitsdetektion bestimmt werden.



Inline-Anreicherung für Proben im Sub-µg/L-Bereich: Die Probe wird durch das Injektionsventil bis in ein Puffervolumen gezogen. Nach Umschalten des Ventils wird ein von der Anreicherung abhängiges Probenvolumen (0.1 bis 10 mL) auf die Anreicherungsäule gegeben. Von dort eluieren die Metalle auf die Trennsäule und reagieren danach im Nachsäulenreaktor mit PAR zu UV/VIS-aktiven Komplexen, die sich im UV/VIS-Detektor bestimmen lassen. Eine wartungsarme, leicht zu reinigende und präzise Dosiereinheit fördert das PAR-Reagenz.



Künstliche Probe aus dem Wasser-Dampf-Kreislauf, versetzt mit jeweils 2 µg/L Eisen(III), Kupfer, Nickel, Zink und Cobalt; Säule: Metrosep A Supp 10 - 75/4.0; Eluent: 7 mmol/L Dicolinsäure, 5.6 mmol/L Na₂SO₄, 66 mmol/L NaOH, 74 mmol/L Ameisensäure, 1 mL/min; Säulentemperatur: 45 °C; Anreicherungs-volumen: 4000 µL; Nachsäulenderivatisierung mit 0.11 g/L 4-(2-Pyridylazo)-Resorcinol (PAR); Flussrate Nachsäulenreagenz: 0.2 mL/min; UV/VIS-Detektion bei 510 nm. Alternativ können Microbore-Säulen eingesetzt werden; sie weisen einen geringeren Eluenten- und Probenverbrauch auf.

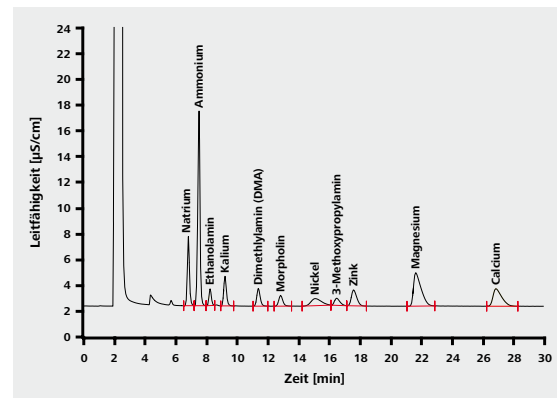
Amine und Kationen

Ein zu tiefer pH-Wert erhöht das Korrosionspotential, während ein zu hoher pH-Wert die Schutzschicht auf den Metallen zerstört. Die Einstellung des pH-Werts ist anspruchsvoll, da die Forderung nach minimaler Korrosion und maximaler Schutzschichtbildung sehr wenig Spielraum lässt. Meist werden Lewisbasen wie zum Beispiel Amine zur pH-Wert-Einstellung benutzt. Die Ionenchromatographie mit Leitfähigkeitsdetektion erlaubt eine effektive Kontrolle der Aminzugabe. Im selben Analysengang können zudem noch Alkali- und Erdalkalimetalle bestimmt werden. Dies erlaubt es, Leckagen durch eindringendes Kühlwasser sofort zu erkennen. Mit Anreicherungs volumina von 4 mL können Natriumkonzentrationen bis in den einstelligen ng/L-Bereich bequem nachgewiesen werden.

Korrosive Anionen im Spurenbereich

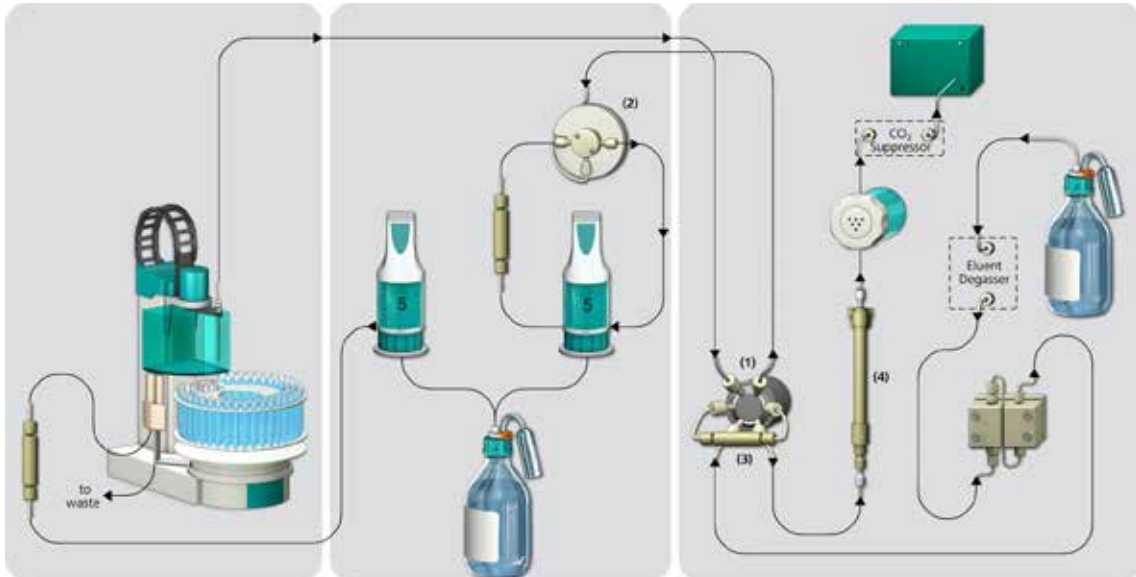
Chlorid führt zu Lochfrasskorrosion auf den Turbinenschaufeln und Rotoren. Zusammen mit Sulfat führt es zudem zu Korrosionsermüdung (Schwingungsrissskorrosion) und Spannungsrisskorrosion (stress corrosion cracking, SCC). Dampfgängige Ammoniumverbindungen verstärken diese Effekte. Folglich müssen korrosiv wirkende Anionen bis in den Spurenbereich bestimmt werden. Die Spurenanalytik der Anionen im Wasser-Dampf-Kreislauf

basiert auf einer Kombination aus Inline-Anreicherung und Matrixeliminierung (MiPCT-ME). Das gewünschte Volumen wird mikrolitergenau auf die konditionierte Anreicherungs säule transferiert. Anschliessend wird mit Reinstwasser gespült, um die störende Matrix zu entfernen. Dies schonet die Trennsäule und verbessert die Chromatographie. Anionen können in einem Konzentrationsbereich von 0.01 bis 10 000 µg/L bestimmt werden.

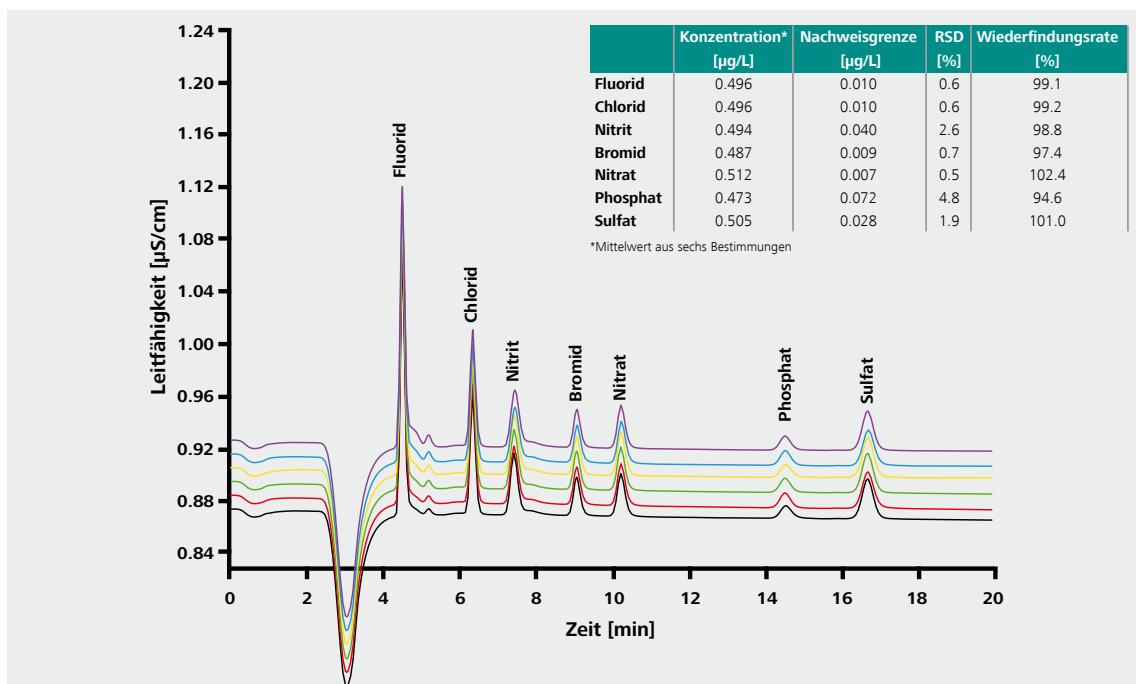


Künstliche Probe aus dem Wasser-Dampf-Kreislauf, versetzt mit jeweils 1 mg/L Aminen und Kationen. Alle Kationen weisen einen linearen Messbereich auf. Säule: Metrosep C 4 - 250/4.0; Eluent: 2.5 mmol/L HNO₃ und 0.5 mmol/L Oxalsäure, 0.9 mL/min; Säulentemperatur: 32 °C; Probenvolumen: 100 µL, Leitfähigkeitsdetektion ohne Suppression





Schematisches Diagramm der kombinierten Inline-Anreicherung mit Matrixeliminierung (MiPCT-ME) für Proben im $\mu\text{g/L}$ -Bereich: Der 800 Dosino saugt das benötigte Volumen der Probe durch das Injektionsventil (1) in das Puffervolumen (2). Nach Umschalten des Ventils wird dieses Volumen auf die Anreicherungssäule (3) dosiert, von wo die Ionen nach erneutem Umschalten des Ventils auf die Trennsäule (4) eluieren.



Künstliche Probe aus dem Wasser-Dampf-Kreislauf, versetzt mit jeweils $0.5 \mu\text{g/L}$ Anionen; MiPCT-ME garantiert Wiederfindungsraten und eine Präzision im Sub- $\mu\text{g/L}$ -Bereich, die ansonsten nur im mg/L -Bereich zu erzielen sind. Anreicherungsvolumen: $4000 \mu\text{L}$; Säule: Metrosep A Supp 5 - $150/4.0$; Eluent: $3.2 \text{ mmol/L Na}_2\text{CO}_3$, $1.0 \text{ mmol/L NaHCO}_3$, 0.7 mL/min ; Säulentemperatur: $35 \text{ }^\circ\text{C}$; Leitfähigkeitsdetektion nach sequenzieller Suppression.

Automatische Kalibrierung

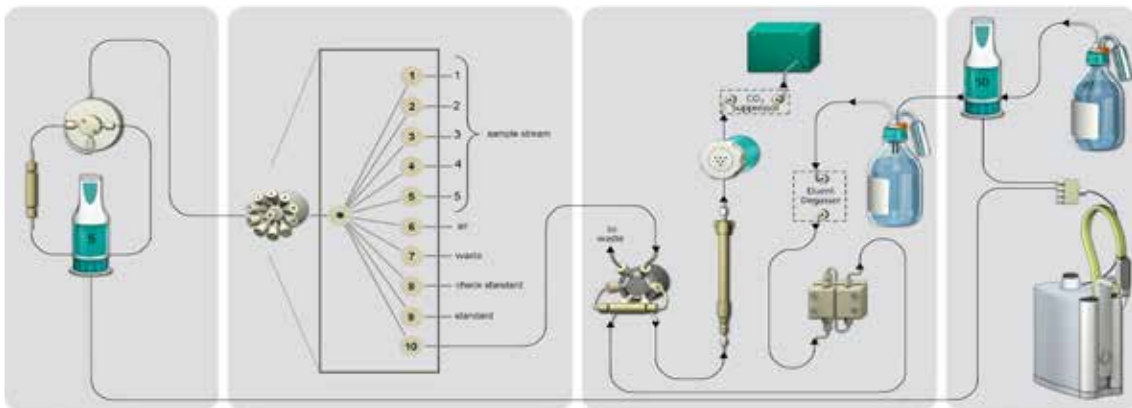
Sowohl die Metrohm-Inline-Anreicherungstechnik mit Matrixeliminierung (MiPCT-ME) als auch die intelligente Partial-Loop-Injektionstechnik (MiPT) überzeugen im Routinebetrieb der Kraftwerksanalytik. Mit einem einzigen Standard ist eine Mehrpunktkalibrierung möglich und es werden Konzentrationsbereiche vom ng/L - bis in den mg/L -Bereich erschlossen.



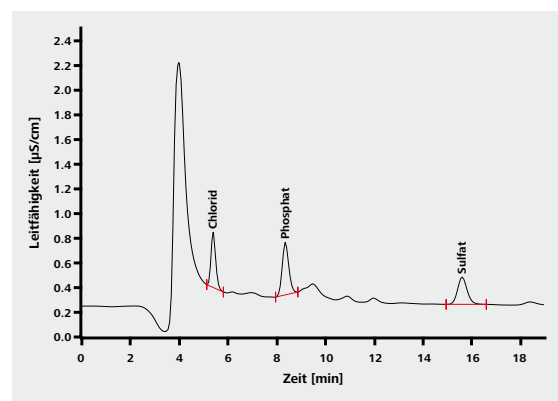
Chlorid und Sulfat in überkritischen Wasser-Dampf-Kreisläufen

Je höher Temperatur und Druck des Dampfes, der die Turbinenschaufeln antreibt, desto höher ist der Wirkungsgrad thermodynamischer Kreisprozesse. Kraftwerke, die Wasser oberhalb des kritischen Punktes im Wasser-Dampf-Kreislauf einsetzen (374 °C und 221 bar), produzieren deshalb mit gleicher Brennstoffmenge deutlich mehr Strom. Jedoch stel-

len superkritische Kesseltechnologien auch höchste Anforderungen an die Kesselwerkstoffe, da Korrosion und Ablagerungen zunehmen. Metrohms leistungsstarke Ionenchromatographie ermöglicht die schnelle, flexible und überaus empfindliche Überwachung der Anionenkonzentration in überkritischen Wasser-Dampf-Kreisläufen.



Das Online-System ermöglicht es, bis zu fünf frei wählbare Probenströme abwechselnd zu überwachen. Je ein weiterer Anschluss des 10-Port-Selector-Ventils ist für den Kalibrier- und Checkstandard vorgesehen. Um Kontaminationen zu vermeiden, kann dieses Online-System direkt an eine Reinstwasseranlage (z. B. vom Typ ELGA PURELAB flex 5) angeschlossen werden. Zudem besteht die Möglichkeit, das IC-System so zu erweitern, dass es Prozessanforderungen erfüllt.

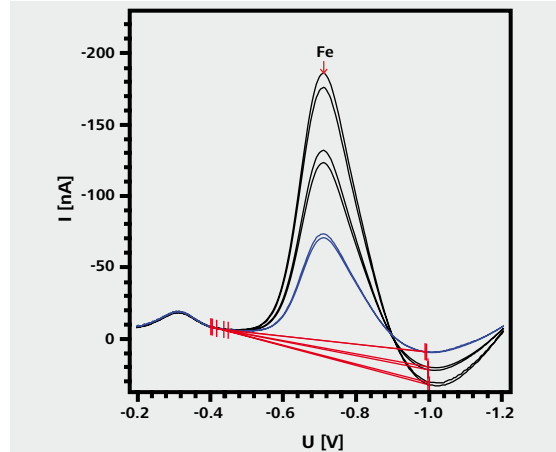


Künstliche Probe aus dem Wasser-Dampf-Kreislauf eines überkritisch betriebenen Reaktors, versetzt mit 1 µg/L Anionen; Säule: Metrosep A Supp 10 - 100/2.0; Eluent: 5 mmol/L Na₂CO₃, 5 mmol/L NaHCO₃, 0.25 mL/min; Säulentemperatur: 45 °C; Anreicherungsvolumen: 4000 µL; Leitfähigkeitsdetektion nach sequenzieller Suppression

Eisen

Wasserdampf reagiert bei hohen Temperaturen mit dem Eisen des Kohlenstoffstahls von Dampfkesseln. Dabei bildet sich eine dünne Schicht aus Magnetit, ein Eisen(II,III)-oxid, welches die Stahloberfläche passiviert und vor weiterer Korrosion schützt (Schikorr-Reaktion). Unter ungünstigen Bedingungen kann die inhibierende Magnetit-schicht abplatzen, was erhöhte Eisenkonzentrationen im Wasser-Dampf-Kreislauf bedingt. Eine regelmäßige Eisenbestimmung erlaubt es, einerseits Korrosionsvorgänge, andererseits die Bildung und Zerstörung der Magnetit-schutzschicht zu verfolgen.

Die adsorptive Stripping Voltammetrie (AdSV) erlaubt den schnellen und empfindlichen Eisennachweis in Prozesswässern des Wasser-Dampf-Kreislaufs (Kesselspeise- und Zusatzwasser, Kondensat) von Kraftwerken. Dazu wird das Eisen mit geeigneten Komplexbildnern in adsorbierfähige Komplexe überführt und nach einer definierten Anreicherungszeit an der Elektrodenoberfläche reduziert. Mit 2,3-Dihydroxynaphthalin (DHN) als Komplexbildner liegen die Nachweisgrenzen im unteren $\mu\text{g/L}$ -Bereich. Die direkte Kalibrierung über Standardaddition in der Probe ermöglicht eine matrixunabhängige Bestimmung.



Voltammetrische Bestimmung von Eisen

Kupfer und andere Schwermetalle (Eisen, Zink, Cadmium, Blei, Nickel, Cobalt)

Kupferlegierungen werden fast nur noch in Kondensatoren des Wasser-Dampf-Kreislaufs eingesetzt. Nachteilig ist die Korrosionsanfälligkeit von Kupfer und seinen Legierungen gegenüber Ammoniak. Entstehende Korrosionsprodukte initiieren weitere Korrosionsangriffe. Kupferverbindungen fallen im Dampf bereits im Hochdruckbereich der Dampfturbinen aus und setzen sich auf den Turbinenschaufeln ab. Ihre Bestimmung erfolgt voltammetrisch gemäss der DIN 38406-16. Eine Probenvorbereitung ist nicht erforderlich.



884 Professional VA: das komfortable und flexible VA-Analysesystem zur empfindlichen Bestimmung von Metallsuren in Prozesswässern von Kraftwerken



Spurenanalytik von Schwermetallen – Prozessparameter

Die Online-Bestimmung von Schwermetallen im Spurenbereich erfolgt mittels des Analysators ADI 2045VA von Metrohm Process Analytics. Der Analysator ermöglicht es, die verschiedenen Wasserkreisläufe in Kraftwerken mittels Online-Voltammetrie zu überwachen und das in bis zu vier Probenströmen.

Eisen und Kupfer – Prozessparameter

Die quasikontinuierliche Analyse der Eisenkonzentrationen im Kondensat lässt Korrosionsvorgänge in Turbinen, Pumpen oder auch im Wärmeaustauscher (Wasser-Dampf-Kreislauf) frühzeitig erkennen. Quasikontinuierliche Analysen garantieren auch, dass kein ungelöstes Eisen in den Kondensatstrom und auf die Turbinenschaufeln gelangt und dort zu Schäden führt.

Durch Zugabe von 2,4,6-Tripyridyl-s-triazin zu Eisen(II) bildet sich ein violetter Farbkomplex, der sich colorimetrisch bei 590 nm im unteren $\mu\text{g/L}$ -Bereich bestimmen

lässt. Der Eisen(III)-Gehalt wird nach vorheriger Reduktion von Eisen(III) zu Eisen(II) bestimmt.

Kupfer tritt im Wasser-Dampf-Kreislauf meist in Form seiner Legierungen auf. Es wird als Kupfer(I)-Ion durch Zugabe des Natriumsalzes der 2,2-Bicinchoninsäure als violetter Komplex bei 550 nm bis in den unteren $\mu\text{g/L}$ -Bereich bestimmt. Den Kupfer(II)-Gehalt bestimmt man nach Reduktion von Kupfer(II) zu Kupfer(I).

Wie bei den anderen colorimetrischen Bestimmungen, erfolgt die Analyse von Eisen und Kupfer mit einem ICON Analyzer. Alternativ kann die Analyse auch auf einem 2019, 2035 oder 2045 Process Analyzer von Metrohm Process Analytics erfolgen.

Wasser-Dampf-Kreislauf im Siedewasserreaktor (SWR)

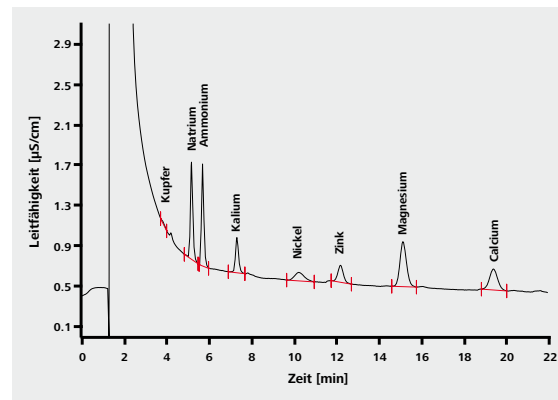
Im Siedewasserreaktor (SWR) wird die durch Kernspaltung freigesetzte Energie zur Verdampfung des Wassers genutzt. Der erzeugte Dampf gelangt direkt zur Turbine, welche die Generatoren antreibt. Verunreinigungen wie Korrosionsprodukte können aus den Rohr- und Behälterwerkstoffen in den Wasser Dampf-Kreislauf und so zu den Brennelementen gelangen. Ähnliches gilt für Leckagen im Kondensator. Sie beeinträchtigen die Betriebsbedingungen der Brennelemente, indem Inhaltsstoffe aus dem weniger reinen Kühlwasser über den Wasser-Dampf-Kreislauf zu den Brennelementen gelangen.

Je nach Hersteller und Anlagentyp variiert die Wasserchemie der SWR. Häufig dosiert man auch Edelmetalle zu, um Systemoberflächen mit einer dünnen Edelmetallschicht zu schützen.

Kationen sowie Kupfer, Zink und Nickel

Korrosion setzt aus Stahl- und Messinglegierungen korrosive Ionen der Metalle Nickel, Kupfer und Zink frei. Diese werden leicht vom Dampf mitgerissen und lagern sich auf den Turbinenschaufeln ab, was erhebliche Leistungsverluste verursacht. Zudem gehen die durch Korrosion freigesetzten Metalle Kernreaktionen ein und erhöhen die Strahlungsleistung im Kraftwerk. Um die Korrosion der Werkstoffe zu begrenzen und die Bildung von radioaktivem ⁶⁰Co (entsteht durch Neutroneneinfang des in den Stahllegierungen vorhandenen stabilen ⁵⁹Co-Isotops) zu verhindern, gibt man dem Kühlwasser im SWR häufig abgereichertes Zinkoxid (enthält < 1 % des stabilen Hauptisotops ⁶⁴Zn) zu.

Wie bereits auf den Seiten 10 bis 11 beschrieben, fallen Salze der Erdalkalimetalle bei höheren Temperaturen auf den Heizflächen als Kesselstein aus, bilden eine Isolierschicht und behindern den Wärmeübergang. Die Ionenchromatographie mit Leitfähigkeitsdetektion erlaubt eine empfindliche Bestimmung von Cu, Zn und Ni, der Alkali- und Erdalkalimetalle sowie Ammonium in einer Analyse.



Künstliche Probe aus dem Wasser-Dampf-Kreislauf, versetzt mit 0.5 µg/L Standardkationen sowie Kupfer, Nickel und Zink; Säule: Metrosep C 4 - 250/2.0; Eluent: 2.5 mmol/L HNO₃, 0.5 mmol/L Oxalsäure, 0.4 mL/min; Säulentemperatur: 32 °C; Anreicherungsvolumen Probe: 9800 µL; Leitfähigkeitsdetektion ohne Suppression

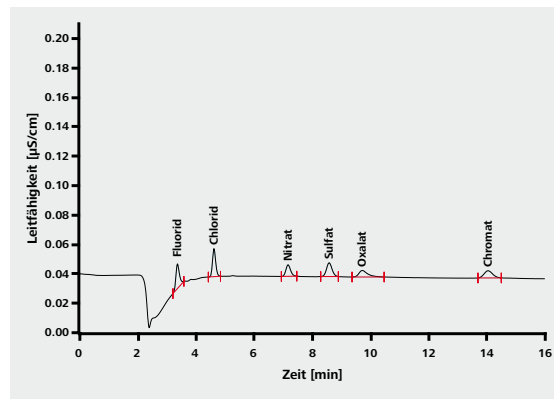
Die Bestimmung der Übergangsmetalle kann auch, wie bereits auf Seite 16 beschrieben, spektrophotometrisch erfolgen.





Korrosive Anionen

Die Kombination von Metrohm Inline-Anreicherung (MiPCT) und automatischer Kalibrierung ermöglicht den Nachweis von korrosiven Anionen im unteren $\mu\text{g/L}$ -Bereich. Die Methode ist sowohl für Wasser-Dampf-Kreisläufe in nuklear sowie fossil betriebenen Reaktoren geeignet. In der gleichen Analyse kann auch Chromat bis zu einer Nachweisgrenze von 50 ng/L bestimmt werden. Durch Erhöhen des Anreicherungsvolumens können die Nachweisgrenzen weiter gesenkt werden.



Künstliche Probe aus dem Wasser-Dampf-Kreislauf eines Siedewasserreaktors, versetzt mit jeweils 50 ng/L Standardanionen und Chromat; Säule: Metrosep A Supp 5 - 150/4.0; Eluent: $4.8 \text{ mmol/L Na}_2\text{CO}_3$, $1.5 \text{ mmol/L NaHCO}_3$, 0.8 mL/min ; Säulentemperatur: $30 \text{ }^\circ\text{C}$; Anreicherungsvolumen: $2000 \text{ }\mu\text{L}$; Leitfähigkeitsdetektion nach sequenzieller Suppression

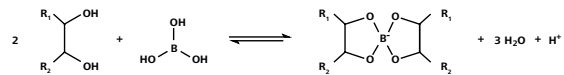
Primärkreislauf im Druckwasserreaktor (DWR)

Neben dem SWR ist der Druckwasserreaktor (DWR) die häufigste Bauform des Kernreaktors, wobei der DWR mit drei Kreisläufen einen Kreislauf mehr besitzt als der SWR. Im Primärkreislauf des DWR zirkuliert das Wasser unter hohem Druck (bis 160 bar) durch den Reaktorkern, um die bei der Kernspaltung freigesetzte Wärme aufzunehmen. Im Dampferzeuger gibt das auf ca. 325 °C erhitzte Wasser seine Wärme an den Sekundärkreislauf – ein klassischer Wasser-Dampf-Kreislauf mit Dampferzeuger, Turbine und gekühltem Kondensator – ab. Der zusätzliche Kreislauf des DWRs stellt sicher, dass radioaktive Stoffe im Primärkreislauf verbleiben.

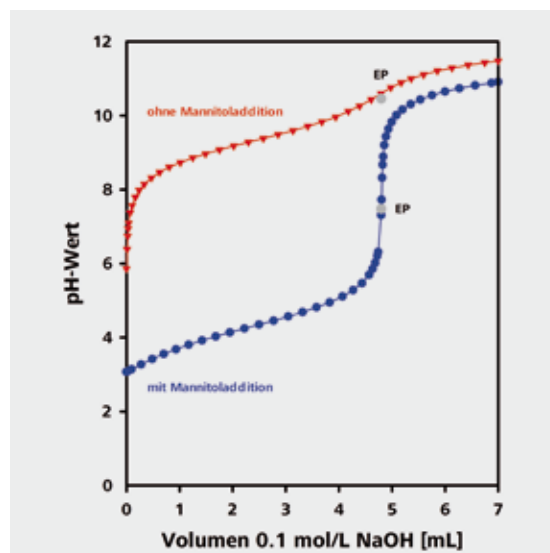
Die Steuerung des Druckwasserreaktors erfolgt einerseits über die Regelstäbe, andererseits über die im Primärkreislauf gelöste Borsäure. Vor allem das ¹⁰B-Isotop absorbiert als «Moderator» die Spaltneutronen, welche die Kettenreaktion in Gang halten und für die Reaktivität des Reaktors verantwortlich sind. Die Bestimmung der Inhaltsstoffe des Primärkreislaufs ist ausserordentlich wichtig für die Sicherheit und Effizienz des Reaktors.

Borsäure

Eine einfache und schnelle Bestimmung der Borsäurekonzentration ist wichtig, um die Reaktivität im DWR zu regeln. Borsäure ist mit einer Säurekonstante K_{S1} von 5.75×10^{-10} ($pK_s = 9.24$) eine schwache Säure, die sich nur schwer titrieren lässt. Durch Zugabe von Polyalkoholen wie Mannitol bilden sich Komplexe mit höherer Säurestärke, die sich wie eine einwertige Säure verhalten und eine einfache Titration mit Natronlauge erlauben. Das Gleichgewicht der Komplexbildung liegt, wie folgende Gleichung zeigt, auf der rechten Seite:



Bei der manuellen Bestimmung pipettiert man die Probe in die Titrierzelle, verdünnt sie mit destilliertem Wasser und gibt ein definiertes (Überschuss-)Volumen einer gesättigten Mannitollösung dazu. Nach Umrühren titriert man mit 0.1 molarer Natronlauge bis zu einem pH-Wert von 8.5. Ein genaues Pipettieren und die Bestimmung des von Mannitol verursachten Blindwertes sind Voraussetzung für die präzise Borsäurebestimmung. Die Methode dient auch zur Bestimmung des Borsäuregehalts im Abklingbecken.



Titrimetrische Bestimmung des Borsäuregehalts in einer künstlichen Probe aus dem Primärkreislauf eines DWR, einmal die Titration ohne Mannitoladdition (rote Linie), das andere Mal nach Mannitolzugabe (blaue Linie).



Der Robotic Acid/Base Analyzer zur Bestimmung der Borsäure

Metrohm bietet ein vollautomatisches System für die Borsäureanalytik an. Es ermöglicht nicht nur eine lückenlose Rückverfolgbarkeit, sondern auch einen hohen Probandendurchsatz im 365/24/7-Betrieb.

Borsäure – Prozessparameter

Druckwasserreaktoren, die Leichtwasser verwenden, erlauben während des Betriebs keinen Austausch der Brennstäbe, weshalb zu Beginn eines Betriebszyklus eine Brennstoffreserve vorliegt. Die damit verbundene Überschussaktivität im Reaktor wird durch höhere Borsäurekonzentrationen kontrolliert. Mit dem Abbrand der Brennstoffe müssen die Borsäurekonzentrationen gesenkt werden, um die volle Leistung des Reaktors aufrecht zu erhalten. Dazu wird borsäurehaltiges Wasser gegen Reinstwasser ersetzt: Die Borsäurekonzentration zwischen den Wiederbelastungen mit Brennstoff variiert zwischen 2000 mg/L und einem Wert von praktisch null.

Die quasikontinuierliche Kontrolle der sich stetig ändernden Borsäuremengen im Primärkreislauf ist äusserst wichtig für einen effizienten und sicheren Betrieb, weshalb ständige Borsäurebestimmungen im Prozess unerlässlich sind. Sowohl der 2016 und 2035 als auch der 2045 Prozess Analyzer von Metrohm Process Analytics erlauben die schnelle und sichere Bestimmung per potentiometrischer Titration. Wie bereits auf Seite 24 beschrieben, titriert man den durch Zugabe von Mannitol gebildeten sauren Borsäureester.



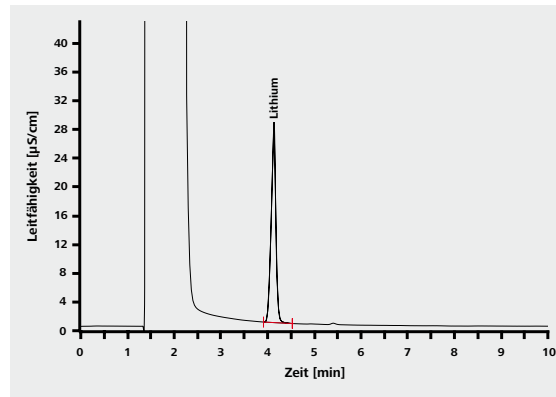
2035 Process Analyzer – ein massgeschneiderter und robuster Analyzer für Online-Anwendungen in der Kraftwerkschemie



Lithium

Ein optimaler pH-Wert des Wassers im Primärkreislauf verhindert, dass metallische Werkstoffe angegriffen und darauf haftende Schutzschichten zerstört werden. Die Zugabe der Borsäure zum Primärkreislauf des DWR senkt den pH-Wert und erhöht damit das Korrosionspotential. Um dies zu verhindern, gibt man dem Primärkreislauf ein Alkalisierungsmittel zu. In den meisten Druckwasserreaktoren ist dies isotopenreines Lithiumhydroxid ${}^7\text{Li}$ (ca. 2 mg/L). Zum einen geht es keine unerwünschten Kernreaktionen ein; zum anderen ist ${}^7\text{Li}$ ohnehin im Reaktor vorhanden, da es durch die Neutroneneinfangreaktion des Bors gemäß ${}^{10}\text{B}(n,\alpha){}^7\text{Li}$ gebildet wird.

Die Bestimmung der Lithiumkationen erfolgt mittels intelligenter Partial-Loop-Injektionstechnik (MiPT). Entsprechend der vorliegenden Probenkonzentration berechnet und injiziert das System das benötigte Injektionsvolumen (2–200 μL) der unverdünnten Probe. Die Methode ist schnell, präzise und lässt sich mit der Ultrafiltration kombinieren.

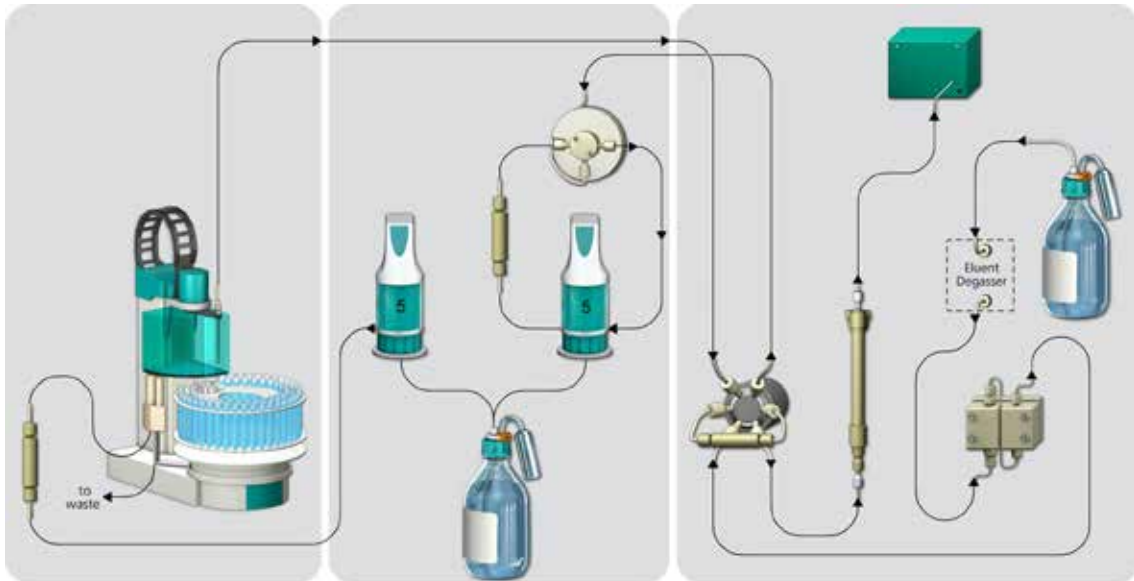


Künstliche Probe aus dem Primärkreislauf eines DWR mit 1 g/L Borsäure, versetzt mit 1.7 mg/L Lithiumhydroxid; Säule: Metrosep C 4 - 250/2.0; Eluent: 2.5 mmol/L HNO_3 , 0.5 mmol/L Oxalsäure, 0.4 mL/min; Säulentemperatur: 32 °C; Probenvolumen: 20 μL ; Leitfähigkeitsdetektion ohne Suppression

Weitere Kationen

Der gleiche Ionenchromatograph, der zur Lithiumanalyse eingesetzt wird, dient auch zur Bestimmung von Nickel, Zink, Calcium und Magnesium. Sogar die Trennbedin-

gungen können beibehalten werden; der einzige Unterschied sind die erforderlichen Anreicherungsvolumina.

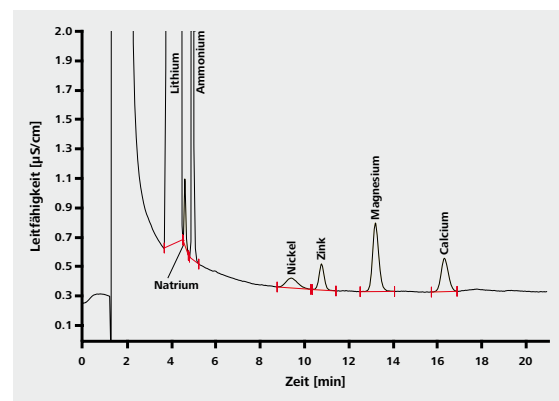


Kombinierte Inline-Anreicherung und Matrixeliminierung für die Bestimmungen von Metallen im $\mu\text{g/L}$ -Bereich. Die Proben aus dem Primärkreislauf werden durch das Injektionsventil bis in ein Puffervolumen gezogen. Nach Umschalten in die Fill-Position, wird das exakt dosierte Volumen auf die Anreicherungssäule transferiert.

Nickel, Zink, Calcium und Magnesium

Nickel ist ein wichtiges Veredelungsmetall, welches Stahl korrosionsbeständiger macht. Gelangen Nickelionen jedoch in den Primärkreislauf, so begünstigen sie die Korrosion, weshalb ihre Konzentration in regelmäßigen Abständen zu überwachen ist. Häufig gibt man dem Primärkreislauf abgereichertes Zink (enthält $< 1\%$ des stabilen Hauptisotops ^{64}Zn) hinzu: Zum einen reduziert es die Radioaktivität der Komponentenoberflächen, zum anderen vermindert es die Korrosion der mit dem Wasser in Berührung kommenden Metalloberflächen.

Im borsäure- und lithiumhydroxidhaltigen Primärkreislauf ermöglicht die kombinierte Inline-Anreicherung und Matrixeliminierung eine Bestimmung der Metallkonzentrationen bis in den Sub- $\mu\text{g/L}$ -Bereich.

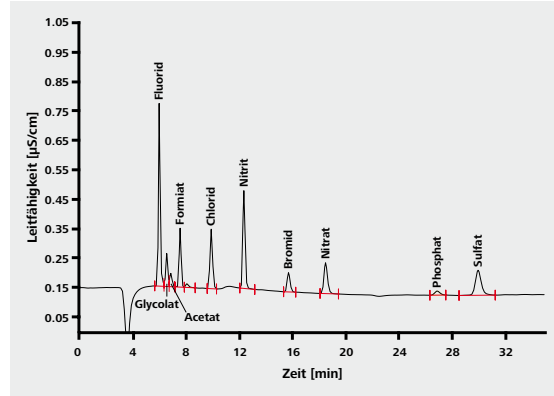


Künstliche Probe aus dem Primärkreislauf eines Druckwasserreaktors mit 2 g/L Borsäure und 3.3 mg/L Lithiumhydroxid, versetzt mit jeweils 2 $\mu\text{g/L}$ Nickel, Zink, Calcium und Magnesium; Säule: Metrosep C 4 - 250/2.0; Eluent: 2.5 mmol/L HNO_3 , 0.5 mmol/L Oxalsäure, 0.4 mL/min; Säulentemperatur: 32 °C; Anreicherungsvolumen: 1000 μL ; Leitfähigkeitsdetektion ohne Suppression

Korrosive Anionen

Anionen wirken korrosiv auf Metalle und ihre Konzentrationen müssen regelmässig kontrolliert werden. Die Herausforderung an die Analytik besteht darin, Anionen im $\mu\text{g/L}$ -Bereich neben Grammengen an Borsäure und Lithiumhydroxid nachzuweisen. Die Analyse erfolgt vollautomatisch mittels einer Kombination aus Inline-Matrixeliminierung (für das Borat) und Inline-Neutralisation (für das LiOH). Die Möglichkeit der Spurenanalytik beruht auf der verwendeten Anreicherungstechnik. Die Bestimmung funktioniert auch, wenn Borsäure statt mit LiOH mit Ammoniumhydroxid neutralisiert wurde. Ein weiterer Vorteil ist die automatische Kalibrierung. Sie garantiert exzellente Nachweisgrenzen, eine hohe Reproduzierbarkeit und exzellente Wiederfindungsraten.

Neben den Standardanionen Fluorid, Chlorid, Nitrat und Sulfat werden auch wichtige organische Abbauprodukte wie Glykolat, Formiat und Acetat mit hoher Präzision bestimmt. Ihre Anwesenheit deutet meist auf fehlerhafte Ionenaustauscher, die zum Herstellen des Kesselspeisewassers eingesetzt werden.



Mit $2 \mu\text{g/L}$ Anionen angereicherte Wasserprobe aus dem Primärkreislauf eines Druckwasserreaktors mit 2 g/L Borsäure und 3.3 mg/L Lithiumhydroxid; Säule: Metrosep A Supp 7 - 250/4.0; Eluent: $3.6 \text{ mmol/L Na}_2\text{CO}_3$, 0.8 mL/min ; Säulentemperatur: $45 \text{ }^\circ\text{C}$; Anreicherungsvolumen: $2000 \mu\text{L}$; Leitfähigkeitsdetektion nach sequenzieller Suppression





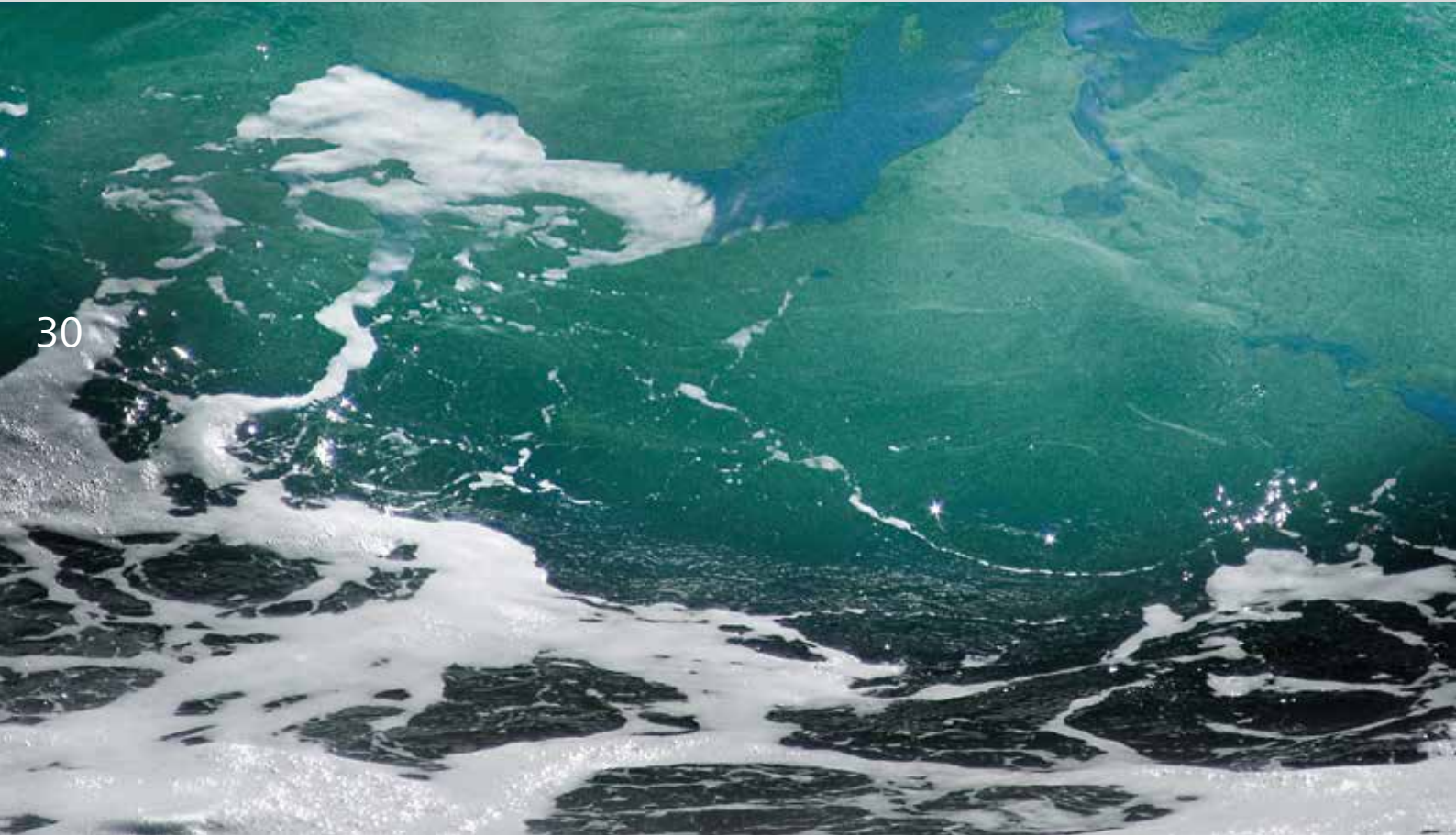
Abwasser

Prozesswässer aus den Kühlkreisläufen werden in modernen Kraftwerken zunehmend wiederverwendet. Sollen sie dennoch in die Umwelt eingeleitet werden, so sind Grenzwerte für eine Vielzahl von Verbindungen einzuhalten. Die meisten Inhaltsstoffe stammen von Chemikalien, die dem Wasser während der Konditionierung zugesetzt wurden, von Korrosionsinhibitoren über Sauerstoffbindemittel bis hin zu Laugen und Säuren. Zudem gibt es noch die radioaktiven und borsäurehaltigen Abwässer aus den Kreisläufen der Siede- und Druckwasserreaktoren. Die strengen Auflagen der Behörden verlangen eine umfassende Abwasseranalytik. Parameter wie pH-Wert, Leitfähigkeit, chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) sowie der Gehalt an Schwermetallen, Hydrazin, Chlorid oder Sulfat sind streng reglementiert, und die Einhaltung von Grenz-

werten bedarf einer präzisen Analytik. Die Broschüren der Wasser- und Umweltanalytik enthalten zahlreiche Applikationen zur Abwasseranalytik. Dieses Dokument beschreibt exemplarisch die Bestimmung von Schwermetallen und die Prozessanalytik in Rauchgasreinigungsanlagen.

Schwermetalle in Abwasser

In den Wasserkreisläufen von Kraftwerken ist Wasser permanent im Kontakt mit Metallen und Metalllegierungen. Schwermetalle gelangen durch Korrosion in die Wasserkreisläufe und sind dementsprechend auch im Abwasser zu berücksichtigen. Zink, Cadmium, Blei und Kupfer lassen sich voltammetrisch mit hoher Empfindlichkeit gemäss DIN 38406 Teil 16 bestimmen.



Abwasser aus der Rauchgasreinigung – Prozessparameter

Die Verbrennung fossiler Energieträger – dazu zählt auch die Verbrennung des Hausmülls – führt zur Entstehung von Luftschadstoffen, wie Kohlen-, Stickstoff- und Schwefeloxid sowie Staub, die alle aus dem Rauchgas entfernt werden müssen. In einem ersten Schritt werden die Stickoxide an Katalysatoren zu Stickstoff reduziert. Elektrische Filter entfernen dann den Staub, bevor in den Wassertürmen der Rauchgasentschwefelungsanlage Schwefeldioxid mit einem flüssigen Kalkstein-Mehl-Gemisch und Sauerstoff sulfatisiert und in Gips umgewandelt wird.

Die entstehenden Abwässer sind kontaminiert und müssen vor der Einleitung in die Umwelt aufwändige chemisch-physikalische Behandlungen durchlaufen. Die zu kontrollierenden analytischen Parameter reichen von der Bestimmung des pH-Werts über die Analyse von Schwefelspezies bis hin zum Nachweis von Schwermetallen.

Das ist der Einsatzbereich der Online- oder Atline-Analysatoren von Metrohm Process Analytics, egal ob in einem einzigen Probenstrom oder in komplexen Mehrfach-Probenströmen. Die Analysatoren basieren auf nasschemischen Verfahren wie Titration, Kolorimetrie oder Messungen mit ionenselektiven Elektroden.

Rauchgasreinigung

CO₂-Bindevermögen der Aminwäsche – Prozessparameter

Ab dem Jahr 1930 ging man vermehrt dazu über, das aus der Verbrennung von organischen Materialien stammende CO₂ im Rauchgas mittels Aminwäsche abzutrennen. Diese Technik wurde 1980 erstmalig in fossil befeuerten Kraftwerken eingesetzt. Rauchgas wird in aminhaltiges (20–30 % aus Monoethylamin, MEA) Waschmittel eingeleitet. Dadurch wird das saure CO₂ von den Aminen chemisch reversibel gebunden, bevor es durch Erhitzen wieder freigesetzt, dann verdichtet, getrocknet und verflüssigt wird. Die aminhaltige Waschlösung wird mit Wasserdampf im Gegenstromverfahren gereinigt, abgekühlt und dem Prozess wieder zugeführt.

Der ADI-2045TI-Prozessanalysator von Metrohm Process Analytics bestimmt das CO₂-Bindevermögen der Waschlösung, die erforderlich ist, um das gesamte CO₂ aus dem Rauchgas zu entfernen. Dazu muss der CO₂-Gehalt im Rauchgas bestimmt werden. Das CO₂ wird in einer NaOH-Lösung aufgefangen. Der Überschuss an NaOH wird durch Titration mit HNO₃ bestimmt.

Ein einziger Analysator kann mehrere Probenströme überwachen und das CO₂-Bindevermögen von mehreren Aminwäschern hintereinander bestimmen.



II. Turbinen- und Schmieröle

Neue Kraftwerkstechnologien und die Verbesserung der Wirkungsgrade von Gas- und Dampfturbinen stellen immer höhere Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der eingesetzten Schmierstoffe. Die ASTM D4378 beschreibt Anforderungen und Prüfverfahren für die In-Service-Wartung von Dampf- und Gasturbinen. Wichtige Parameter sind die Bestimmung der Säure- und Basenzahl sowie des Wassergehalts mittels Karl-Fischer-Titration. Die im Folgenden beschriebenen Applikationen gelten auch für Öle und Schmierstoffe, die in Turbinen von Wasser- und Windkraftanlagen zum Einsatz kommen.

Säure- und Basenzahl

Bestimmung der Säure- und Basenzahl

Mit der Basenzahl werden basisch reagierende Bestandteile in Mineralölprodukten als Summenparameter bestimmt. Es sind dies vor allem primäre organische und anorganische Aminoverbindungen. Daneben werden aber auch Salze schwacher Säuren, basische Salze von Polycarbonsäuren, einige Schwermetallsalze und Detergenzien erfasst. Die Basenzahl gibt an, wie viel basische Bestandteile, ausgedrückt als mg KOH, in 1 g Probe enthalten sind. Ihre Bestimmung dient dazu, Produktveränderungen während des Gebrauchs festzustellen.

Mit der Säurezahl werden sauer reagierende Bestandteile in Mineralölprodukten als Summenparameter bestimmt. Es sind Verbindungen (Säuren, Salze) mit pK_s -Werten < 9 . Die Säurezahl gibt an, wie viel mg KOH zur Neutralisation von 1 g Probe notwendig sind. Sie zeigt Veränderungen während des Gebrauchs der Produkte. Die Bestimmung beider Kenngrößen erfolgt mittels potentiometrischer Titration in nichtwässrigen Lösungsmitteln beziehungsweise Lösungsmittelgemischen. Die Titration kann auch komplett automatisiert erfolgen – von der Zugabe der Lösungsmittel bis hin zur reproduzierbaren Reinigung der Elektrode. Auf Wunsch kann die Ölprobe vor der Titration auch voll automatisch mit dem 864 Robotic Balance Sample Processor eingewogen werden. Dies garantiert eine vollständige Rückführbarkeit.

Die kombinierte pH-Glaselektrode Solvotrode easyClean wurde speziell für diese Applikationen entwickelt. Das lösbare Schliffdiaphragma lässt sich auch bei hartnäckiger Verschmutzung einfach reinigen. Die elektrostatische Abschirmung des Elektrolytraums sorgt zusätzlich für ein rauscharmes Messsignal.

Bestimmung der Säure- und Basenzahl nach ASTM D974 (photometrische Titration)

Die Säure- und Basenzahl kann alternativ mittels photometrischer Titration mit Farbindikation des Äquivalenzpunkts nach ASTM D974 bestimmt werden. Für diese Applikation bietet Metrohm die Optrode, einen neuen Sensor für die photometrische Titration. Dank Glasschaft ist dieser Sensor hundertprozentig lösungsmittelbeständig und ermöglicht zudem die Automatisierung der Bestimmung.



Optrode

Solvotrode easyClean

Wichtige Normen für die TAN/TBN-Bestimmung

Norm	Kenngröße	Titrant	Lösungsmittel	Elektrode (Referenzelektrolyt)
ASTM D4739	Basenzahl	HCl in Isopropanol	Chloroform, Toluol, Isopropanol, Wasser	Solvotrode easyClean (LiCl in EtOH)
ASTM D2896	Basenzahlen > 300 mg KOH/g	Perchlorsäure in Eisessig	Eisessig, Xylol	Solvotrode special
ISO 3771	Basenzahl	Perchlorsäure in Eisessig	Toluol, Eisessig, Aceton	Solvotrode easyClean (LiCl in EtOH)
ASTM D664	Säurezahl	KOH in Isopropanol	Toluol, Isopropanol, Wasser (Schmierstoffe), Isopropanol (Biodiesel)	Solvotrode easyClean (LiCl in EtOH)
DIN EN 12634	Säurezahl	KOH oder TMAH ^a	Dimethylsulfoxid, Isopropanol, Toluol	Solvotrode easyClean (LiCl in EtOH)
UOP565	Säurezahl und Naphthensäuren	KOH in Isopropanol	Toluol, Isopropanol, Wasser	Solvotrode easyClean (LiCl in EtOH)
ASTM D974	Säurezahl	KOH in Isopropanol	Toluol, Isopropanol, Wasser	Optrode
ASTM D974	Basenzahl	HCl in Isopropanol	Toluol, Isopropanol, Wasser	Optrode

^aTetramethylammoniumhydroxid



864 Robotic Balance Sample Processor (mit 843 Pump Station (peristaltic)) für die TAN/TBN-Bestimmung

Wasserbestimmung nach Karl Fischer

34

Wasser ist in praktisch allen Turbinen- und Schmierölen als Verunreinigung enthalten. Es reduziert das Schmiervermögen, begünstigt die Oxidation des Öls, reagiert mit wasserempfindlichen Additiven und fördert die Korrosion von Eisen- und Nichteisenmetallen. Bei höheren Öltemperaturen verdampft Wasser und führt zu einer partiellen Entfettung. Dagegen arbeiten die in Windrädern eingesetzten Turbinen- und Schmieröle sehr häufig bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt. Wasser bildet Eiskristalle und beeinträchtigt die Schmierfähigkeit.

Eine effiziente und sichere Stromerzeugung verlangt die Kontrolle des Wassergehaltes in den im Kraftwerksbereich eingesetzten Ölen. Infolge der sehr guten Reproduzierbarkeit und Genauigkeit sowie der einfachen Handhabung empfehlen viele internationale Normen die Karl-Fischer-Titration. Zu erwähnen sind die ASTM D6304 und ISO 12937. Die Bestimmung kann sowohl volumetrisch als auch coulometrisch erfolgen.

Coulometrische Bestimmung

Die coulometrische Bestimmung mit Diaphragmazelle ist besonders für Turbinen- und Schmieröle geeignet, die sehr wenig Wasser enthalten. Damit sich die Öle vollständig in den methanolhaltigen Karl-Fischer-Reagenzien lösen, müssen Lösungsvermittler wie Chloroform oder Trichlorethylen zugegeben werden.

Additive in Turbinen- und Schmierölen können mit Karl-Fischer-Reagenzien Nebenreaktionen eingehen und so den Wassergehalt verfälschen. Einige dieser Nebenreaktionen lassen sich mit speziellen KF-Reagenzien unterdrücken. Ist dies nicht möglich, bietet sich die Ofenmethode an.



851 Titrande (Mitte) mit 900 Touch Control und 801 Stirrer



899 Coulometer (Mitte) mit 860 KF Thermoprep und USB-Thermodrucker Neo's

Ofenmethode

Die Ofenmethode eignet sich für Proben, die ihr Wasser erst bei höheren Temperaturen abgeben, schwerlöslich sind oder, wie erwähnt, mit dem KF-Reagenz reagieren. Das zu analysierende Öl wird in ein Probenglas eingewogen, darin luftdicht verschlossen und in einem Ofen erhitzt. Das verdampfende Wasser wird mit einem trocknen Trägergasstrom über eine Doppelhohnadel in die Titrierzelle geleitet, wo es anschließend titriert wird.

Da nicht die Ölprobe selbst, sondern nur das darin befindliche Wasser in die Titrierzelle gelangt, sind Verunreinigungen des Ofens oder der Titrierzelle sowie Matrixeffekte nahezu ausgeschlossen.



874 USB Oven Sample Processor mit 851 Titrand

III. Brenn- und Betriebsstoffe

Halogene und Schwefel mittels Combustion IC

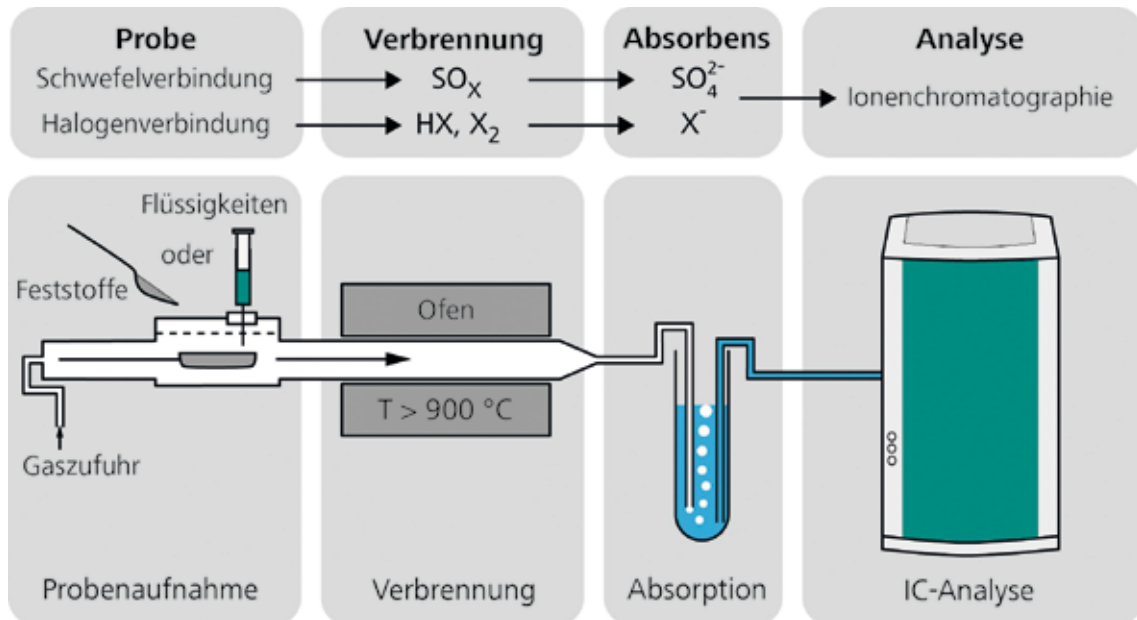
Die in Kraftwerken verbrannten fossilen Energieträger, wie Erdöl und Kohle, können grosse Mengen an Schwefel enthalten (zum Beispiel Mercaptane, Sulfide, elementarer Schwefel etc.). Beim Verbrennen entsteht Schwefeldioxid (SO_2). Dieses reagiert mit Wasser und Sauerstoff zu Schwefelsäure und schädigt als «saurer Regen» Pflanzen, Gebäude und Gewässer. In den Kühlkreisläufen von Kraftwerken fördern Halogenide die Korrosion, weshalb ihre Konzentrationen in den in Kraftwerken verwendeten Betriebs- und Hilfsstoffen (zum Beispiel Dichtungen und Latexhandschuhe) zu bestimmen ist.

Das von Analytik Jena und Metrohm entwickelte Combustion-IC-System erlaubt die simultane Bestimmung von Halogenen und Schwefel in sämtlichen brennbaren Pro-

ben, ganz gleich ob fest oder flüssig. Das vollständig automatisierte Inline-System ist Offline-Aufschlussmethoden weit überlegen und überzeugt durch einen hohen Probendurchsatz sowie Präzision und Richtigkeit der Ergebnisse. Ein Flammensensor kontrolliert die Verbrennung und erspart zeitaufwändige Methodenentwicklungen.

Das Prinzip

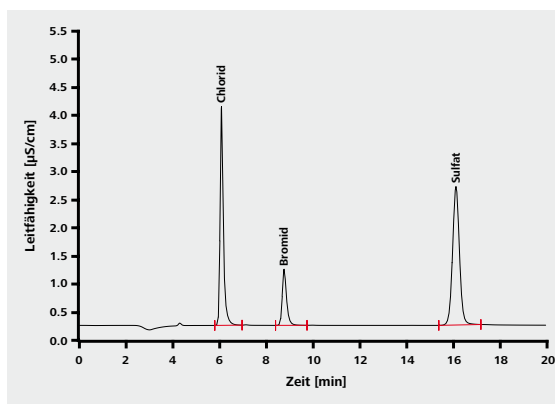
Bei der CIC werden die Proben zunächst in der Ofeneinheit unter Argonatmosphäre aufgeschlossen und anschliessend mit Sauerstoff verbrannt. Dabei werden kleinste Mengen an Wasser eingeleitet, um Ablagerungen oder Glaskorrosion durch HF im Pyrolyseofen zu minimieren und um den Austrag der Verbrennungsprodukte zu verbessern.



Schwefel- und Halogenverbindungen werden im Verbrennungsaufschluss (Pyrolyse) in Schwefeldioxid beziehungsweise in Halogenwasserstoff und elementare Halogene umgewandelt. Diese gasförmigen Verbrennungsprodukte werden in eine oxidierende Absorptionlösung geleitet und mittels der nachfolgenden Ionenchromatographie als Sulfat und Halogenid nachgewiesen.

Halogen- und Schwefelgehalt in Kunststoffen und Brennstoffen

Neben der auf Seite 36 bereits erwähnten Bestimmung von Schwefel in Brennstoffen erlaubt es die Combustion IC, Halogene in festen Materialien nachzuweisen. So sind in den Wasserkreisläufen der Kraftwerke nur halogenfreie Materialien einzusetzen. Dies soll verhindern, dass korrosive Anionen – zum Beispiel aus Dichtungen – ins Prozesswasser gelangen.

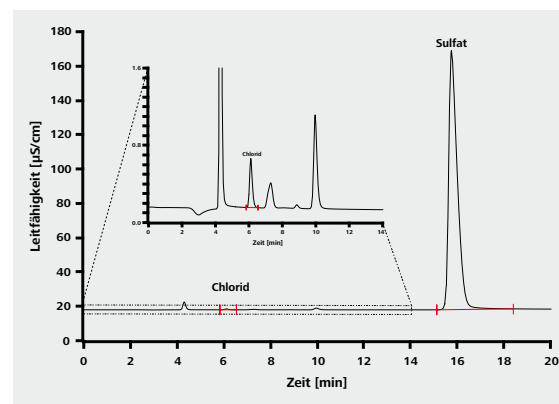


Bestimmung von Halogenen und Schwefel in zertifizierten PE-Pellets ERM-EC681k; Wiederfindungsraten: Chlorid (102.4 %), Bromid (95.4 %), Schwefel (100.3 %); Säule: Metrosep A Supp 5 - 150/4.0; Eluent: 3.2 mmol/L Na_2CO_3 , 1.0 mmol/L NaHCO_3 , 0.7 mL/min; Leitfähigkeitsdetektion mit sequenzieller Suppression

Halogen- und Schwefelgehalt in Latexhandschuhen

Handschuhe werden in Reinraumumgebungen eingesetzt, um ionische Verunreinigungen aus dem Handschweiss zurückzuhalten. Im Bereich des Wasser-Dampf-Kreislaufs von Kraftwerken sowie des Primärkreislaufs von Druckwasserreaktoren dürfen nur halogen- und schwefelfreie Materialien verwendet werden, damit keine korrosiven Halogenide oder Sulfate eingetragen werden. Der Halogen- und Schwefelgehalt in Latexhandschuhen lässt sich mittels Combustion Ion Chromatography bequem und zuverlässig bestimmen.

Die Methode erfüllt die in der ASTM D7359 beschriebene Bestimmung von Halogenen und Schwefel in aromatischen Kohlenwasserstoffen sowie des Gesamtfluorgehalts in Kohle und Koks gemäss ASTM D5987.



Bestimmung von Halogenen und Schwefel in Kohlereferenzmaterial NIST 2682b; Wiederfindungsraten: Chlorid (103.4 %), Schwefel (96.8 %); Säule: Metrosep A Supp 5 - 150/4.0; Eluent: 3.2 mmol/L Na_2CO_3 , 1.0 mmol/L NaHCO_3 , 0.7 mL/min; Leitfähigkeitsdetektion mit sequenzieller Suppression

Halogen- und Schwefelgehalt in Ionenaustauschermaterial

In Kraftwerken eingesetzte Ionenaustauscher haben die Aufgabe mindestens 98 % der gelösten Salze im Zusatzwasser oder im Kondensat zu entfernen. Dies ist nur möglich, wenn hochreine Ionenaustauscherharze eingesetzt werden. Die Überprüfung des Halogen- und Schwefelgehalts im Ionenaustauscherharz kann ebenfalls bequem mit der Combustion IC erfolgen.



Metrohm Quality Service – Service, auf den Sie sich verlassen können

Die Kraftwerksanalytik ist ein integraler Bestandteil der chemischen Analytik und umfasst in erster Linie die Untersuchung des Arbeitsmittels Wassers. Ein sicherer und effizienter Betrieb der Anlage setzt eine optimale Wasserchemie voraus, die darauf zielt, Korrosion und Ablagerungen zu minimieren. Von Bedeutung ist auch die Analytik der Turbinen- und Schmieröle sowie der in fossilen Kraftwerken und Müllverbrennungsanlagen eingesetzten Brenn- und Betriebsstoffe.

Wer in Kraftwerken Verantwortung für die Korrektheit der Analysenergebnisse trägt, darf keine Kompromisse eingehen. Hier gilt: Fachmännisch installierte und in Betrieb genommene Systeme, die regelmässig gewartet werden, garantieren grösstmögliche Sicherheit.

Mit dem Leistungsangebot des Metrohm Quality Service sind Sie von Anfang an auf der sicheren Seite. Von der Installation über die Inbetriebnahme bis zur regel-

mässigen Wartung und – im Fall der Fälle – raschen Reparatur garantieren wir Ihnen präzise und richtige Messergebnisse.

Metrohm Compliance Service

Vertrauen Sie dem Metrohm Compliance Service, wenn es um die professionelle Erstqualifizierung Ihrer Analysengeräte geht. Durch die Installation Qualification/Operational Qualification (IQ/OQ) oder einer Certified Installation (CI) sparen Sie Zeit und Kosten, indem wir das System gemäss Ihren Anforderungen konfigurieren und für eine schnelle und professionelle Inbetriebnahme sorgen.

Ferner werden im Rahmen von Anwendereinweisungen die Grundlagen für eine sichere und fehlerfreie Bedienung vermittelt. Der Metrohm Compliance Service beinhaltet zudem eine vollständige Dokumentation und garantiert die Konformität mit den gängigen Anforderungen im Qualitätsmanagement, wie beispielsweise GLP/GMP und ISO.



Metrohm Quality Service

Der weltweite Metrohm Quality Service, insbesondere die planmässige und vorbeugende Wartung, verlängert die störungsfreie Lebens- und Betriebsdauer Ihrer Analysensysteme. Qualifizierte Servicetechniker mit Ausbildungsnachweis führen die Wartungsarbeiten durch. Sie

können zwischen verschiedenen Servicevertragstypen auswählen. Ein Vollservicevertrag beispielsweise bietet Ihnen optimale Sicherheit für ein sorgenfreies Arbeiten bei voller Kostenkontrolle und vollständig konformer Nachweisdokumentation.

Metrohm Quality Service	Kundennutzen
Metrohm Care Contracts	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Ausfallzeiten durch vorbeugende Wartung • Budgetkontrolle und Einsparungen durch kostenlose oder kostenreduzierte Ersatz- und Verbrauchsmaterialien • Garantierte Reaktionszeiten und rasche Problembhebung vor Ort • Dokumentierte Gerätezertifizierung als ideale Vorbereitung auf Audits
Metrohm Software Care	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Datensicherheit und maximale Systemperformance durch regelmässige und professionelle Softwarewartung
Metrohm Compliance Service	<ul style="list-style-type: none"> • Massgeschneiderte Dienstleistungen und Dokumentation zur analytischen Instrumentenqualifizierung (AIQ) • Professionelle Inbetriebnahme (IQ/OQ oder Certified Installation) sowie Requalifizierung bzw. Rezertifizierung durch speziell geschulte Mitarbeiter
Metrohm Remote Support	<ul style="list-style-type: none"> • Schnelle Lösung von Software- und Applikationsfragen direkt am Arbeitsplatz
Metrohm Dosing Test	<ul style="list-style-type: none"> • Kalibrieren von Buretten (z. B. Dosier- und Wechseinheiten) mit Zertifikatserstellung • Genaue Messergebnisse • Nachweisdokumentation zur Einhaltung von Vorschriften und für problemlose Audits
Metrohm Repair Service	<ul style="list-style-type: none"> • Schnelle Wiederverfügbarkeit der Geräte dank dezentraler, weltweiter Reparaturwerkstätten und einer Zentralwerkstatt beim Hersteller • Nachhaltiger Reparaturerefolg durch hochqualifizierte Servicetechniker • Schnelle Problemlösung und Minimierung von Stillstandzeiten durch Notfalldienste und Expressreparaturen vor Ort
Metrohm Spare Parts	<ul style="list-style-type: none"> • Weltweit verfügbare, von Metrohm in der Schweiz produzierte Originalersatzteile • Kurze Lieferzeiten durch Lagerhaltung in lokalen Vertretungen • Investitionssicherheit durch zehnjährige Ersatzteilgarantie nach Produktionsende
Metrohm Application Support	<ul style="list-style-type: none"> • Kostenloser Zugriff auf den Application Finder (www.metrohm.com/en/applications/) mit mehr als 1800 Applikationen (Application Bulletins, Application Notes, Monographien, technische Poster und Fachartikel) • Schnelle und professionelle Lösung aller anfallenden Anwendungsfragen durch persönliche Beratung unserer Spezialisten per E-Mail, Telefon oder Remote Support • Unterstützung bei der Lösung komplexer Analysenprobleme sowie Methodenoptimierung vor Ort oder in unseren Applikationslabors
Metrohm Training Programs	<ul style="list-style-type: none"> • Basis- und Expertenschulungen in den lokalen Vertretungen, in der Metrohm Academy oder aber direkt vor Ort • Effiziente und sichere Anwendung aller Analysemethoden sowie Ergebnissicherheit durch kompetent geschulte Anwender • Schulungsnachweise und Zertifikate für problemlose Audits

Applikationen

40

In dieser Broschüre wurden nur einige Applikationen aus dem umfangreichen Metrohm-Sortiment der Kraftwerksanalytik beschrieben. Sollten Sie die von Ihnen gesuchte Applikation auch nicht in der folgenden Liste finden, dann kontaktieren Sie bitte Ihre lokale Metrohm Vertretung.

Weitere Applikationen aus der Kraftwerksindustrie – oder auch aus ganz anderen Bereichen der Analytik – können Sie über den Application Finder herunterladen: www.metrohm.com/en/applications/

I. Prozesswasser

Korrosion

COR01	Corrosion Part 1 – Basic concepts
COR02	Corrosion Part 2 – Measurement of corrosion rates
COR03	Corrosion Part 3 – Measurement of polarization resistance
COR04	Corrosion Part 4 – Equivalent circuit models
COR05	Corrosion Part 5 – Corrosion inhibitors
COR06	Corrosion Part 6 – Critical pitting temperature measurements with pX1000
COR07	Corrosion Part 7 – Hydrogen permeation experiments with PGSTAT302F

Wasseranalytik im Kraftwerk – Allgemein

AN-Q-005	Online analysis of trace anions in power plant water matrices
AN-Q-004	Online analysis of trace cations in power plant water matrices
AN-S-304	Variable Inline Preconcentration including Matrix Elimination for trace anion analysis (MiPCT-ME)
AN-S-250	Trace anions in tetramethylammonium hydroxide (TMAOH)
AN-S-032	ppt analysis (ng/L) in ion chromatography
8.000.6064EN	Microbore columns: a contribution to green chemistry

Kühlwasser

AN-S-218	Common anions in a closed cooling water system
AN-U-060	Corrosion inhibitors in cooling water
8.000.6065	Automated ion chromatographic determinations over six orders of magnitude
8.000.6063	Post-column chemistry for improved optical absorption detection
8.000.6005	Hyphenated techniques as modern detection systems in ion chromatography

Wasseraufbereitung

AN-CIC-011	Analysis of an ion exchanger applying Metrohm Combustion IC
AN-H-012	Determination of ferrous ion content of heat exchanger wash solutions
AN-S-158	Five anions in the presence of 2 g/L nitrate in an ion exchanger eluate

Wasser-Dampf-Kreislauf

AN-C-139	Cations and amines in the water-steam cycle
AN-C-132	Traces of lithium, sodium, and ammonium in the presence of ethanolamine (Metrosep C 4 - 250/4.0)
AN-C-126	Methylamines and ethanolamines (Metrosep C 4 - 150/4.0)
AN-C-094	Methylamine, isopropylamine, diethylamine, and diethylethanolamine with preconcentration
AN-C-083	Online monitoring of trace levels of cations in boiler feed water
AN-C-078	Ethanolamines in the presence of alkali metal and alkaline earth cations
AN-C-076	Sodium and ammonium in 25% DEA (diethanolamine)
AN-C-052	Determination of cations and ethanolamines
AN-C-049	Trace cations in power plant feed water stabilized with 7 ppm monoethanolamine (MEA)

AN-N-060	Online monitoring of trace levels of silicate in boiler feed water
AN-Q-007	Online analysis of chloride and sulfate in supercritical water-steam cycles
AN-Q-003	Online monitoring of trace levels of anions in boiler feed water
AN-Q-002	Online monitoring of trace levels of cations in boiler feed water
AN-S-056	Traces of chloride in ultrapure water under clean room conditions
AN-S-157	Trace anions in boiler feed water containing 10 mg/L ammonia
AN-S-295	Anions in boiler water including sulfur speciation (sulfite and sulfate)
AN-V-179	Iron in boiler feed water for power plants (DHN method)
AN-U-059	Transition metals in feedwater using post-column reaction and subsequent UV/VIS detection
AN-U-061	Speciation of iron(II) and iron(III) applying post-column reaction and subsequent UV/VIS detection

Wasser-Dampf-Kreislauf im Siedewasserreaktor

AN-C-137	Copper, nickel, zinc, and common cations in the water-steam cycle of a boiling water reactor (BWR)
AN-S-306	Trace anions including chromate in water-steam cycle of a boiling water reactor (BWR)

Primärkreislauf im Druckwasserreaktor

AB-044	Colorimetric determination of boron
AB-066	Potentiometric determination of boric acid
AB-266	Determination of titanium and uranium by voltammetry
AB-243	Determination of chromium at the «Ultra Trace» graphite electrode by cathodic stripping voltammetry
AB-083	Determination of sodium with the ion-selective electrode
AB-045	Colorimetric determination of silicic acid
AN-C-038	Five cations in 4% boric acid
AN-C-096	Trace analysis of monovalent cations in an ethanolamine matrix (secondary cycle of a pressurized water reactor) using Metrohm Inline Sample Preparation with an 800 Dosino for liquid handling
AN-C-140	Lithium in borated water of a pressurized water reactor (PWR)
AN-C-138	Zinc, nickel, calcium, and magnesium in borated water of a pressurized water reactor (PWR)
AN-Q-006	Online analysis of trace anions in borated water of a pressurized water reactor (PWR)
AN-S-242	Trace analysis of anions in the primary cycle of a nuclear power plant (PWR) using Metrohm Inline Sample Preparation
AN-S-066	Trace anions in boric acid after preconcentration
8.000.6071	Trace-level determination of anions in the primary circuit of a PWR-type nuclear power plant using ion chromatography after inline sample preparation
8.000.6072	Trace-level determination of cations in the secondary circuit of a PWR-type nuclear power plant using ion chromatography after inline sample preparation

Abwasser

AN-N-065	Borate in borate effluent
AN-S-222	Anions in borate effluent

Rauchgas

AN-T-027	Alkalinity of amine-containing gas washing solutions
----------	--



II. Turbinen- und Schmieröle

AB-209 Coulometric water determination according to Karl Fischer in insulating oils as well as in hydrocarbons and their derivatives

III. Brenn- und Betriebsstoffe

AN-K-010 Water in coal dust

AN-CIC-003 Chlorine, bromine, and sulfur in low-density polyethylene (ERM®-EC680k) applying Combustion IC

AN-CIC-004 Total and leachable concentration of halogens and sulfur in latex gloves using Combustion IC and a leach test

AN-CIC-005 Analysis of an ion exchanger applying Metrohm Combustion IC

Bestellinformationen

pH-Wert

2.826.0110	826 pH mobile mit Tragkoffer und Primatrode
2.827.0X1X	827 pH lab mit Primatrode oder Unitrode
2.780.0010	780 pH Meter, inklusive Unitrode, Stativ- und Elektrodenhalter
2.140.0200	Nadeldrucker Custom DP40-S4N für 780 pH Meter
2.867.0110	867 pH Module für die pH- und Ionenmessung mit Touch Control inklusive iUnitrode
2.801.0010	801 Stirrer zu 780 pH Meter und 867 pH Module
6.0277.300	iAquatrode Plus mit Pt 1000
6.0257.600	Aquatrode Plus mit Pt 1000, Steckkopf U
6.2104.600	Elektrodenkabel, Steckkopf U, Stecker F, 2 × B

Leitfähigkeitsmessung

2.856.0120	856 Conductivity Module mit Touch Control und Edelstahlleitfähigkeitsmesszelle $c = 0.1 \text{ cm}^{-1}$
------------	--

Titration (Gesamthärte, Chlorid, Borsäure)

2.905.0010	905 Titrande
2.800.0010	800 Dosino
2.801.0040	801 Stirrer
2.855.1020	Robotic Acid/Base Analyzer
6.0253.100	Aquatrode Plus
6.0257.600	Aquatrode Plus mit Pt 1000, Steckkopf U
6.0277.300	iAquatrode Plus mit Pt 1000
6.0430.100	Ag-Titrode
6.0470.300	iAg-Titrode
6.0510.100	Kombinierte Polymermembranelektrode für die Calciumbestimmung
6.2104.020	Elektrodenkabel Stecker F
6.2104.600	Elektrodenkabel, Steckkopf U, Stecker F, 2 × B

Wasserbestimmung nach Karl Fischer

Coulometrische KF-Titration

2.831.0010	831 KF Coulometer inklusive Generatorelektrode mit Diaphragma und 728 Magnetrührer
2.831.0110*	831 KF Coulometer inklusive Generatorelektrode ohne Diaphragma
2.756.0010	756 KF Coulometer mit eingebautem Drucker inklusive Generatorelektrode mit Diaphragma und 728 Magnetrührer
2.756.0110*	756 KF Coulometer mit eingebautem Drucker inklusive Generatorelektrode ohne Diaphragma
2.851.0010	851 Titrande inklusive Generatorelektrode mit Diaphragma und 801 Stirrer
2.851.0110*	851 Titrande inklusive Generatorelektrode ohne Diaphragma
2.852.0050	852 Titrande inklusive Generatorelektrode mit Diaphragma und 801 Stirrer
2.852.0150*	852 Titrande inklusive Generatorelektrode ohne Diaphragma
2.899.0010	899 Coulometer mit eingebautem Rührer inklusive Generatorelektrode mit Diaphragma
2.899.0110	899 Coulometer mit eingebautem Rührer inklusive Generatorelektrode ohne Diaphragma

KF Ofen

2.860.0010	860 KF Thermoprep
2.874.0010	874 Oven Sample Processor
2.885.0010	885 Compact Oven Sample Changer

* Der Magnetrührer muss extra bestellt werden.

Ionenchromatographie

Korrosionsinhibitoren

2.940.1100	940 Professional IC Vario ONE
2.944.0010	940 Professional UV/VIS Detector Vario
2.858.0020	858 Professional Sample Processor – Pump
6.6059.312	MagIC Net 3.1 Professional

Übergangsmetalle

2.940.1100	940 Professional IC Vario ONE
2.943.0110	943 Professional Reactor Vario
2.944.0010	944 Professional UV/VIS Detector Vario
2.858.0010	858 Professional Sample Processor
2.800.0010	800 Dosino
6.5330.140	IC-Ausrüstung: MiPCT
6.1020.070	Metrosep A Supp 10 - 75/4.0
6.1010.320	Metrosep C PCC 1 VHC/4.0
6.6059.312	MagIC Net 3.1 Professional

Amine und Kationen

2.940.1100	940 Professional IC Vario ONE
2.850.9010	IC Conductivity Detector
2.858.0010	858 Professional Sample Processor
2.800.0010	800 Dosino, 2 ×
6.5330.160	IC-Ausrüstung: MiPCT-ME
6.1050.430	Metrosep C 4 - 250/4.0
6.1010.310	Metrosep C PCC 1 HC/4.0
6.6059.312	MagIC Net 3.1 Professional

Korrosive Anionen im Spurenbereich

2.940.1500	940 Professional IC Vario ONE/SeS/PP
2.850.9010	IC Conductivity Detector
2.858.0010	858 Professional Sample Processor
2.800.0010	800 Dosino, 2 ×
6.5330.160	IC-Ausrüstung: MiPCT-ME
6.2832.000	MSM Rotor A
6.2842.020	Adapterhülse für Suppressor Vario
6.1006.520	Metrosep A Supp 5 - 150/4.0
6.1006.310	Metrosep A PCC 1 HC/4.0
6.6059.312	MagIC Net 3.1 Professional

Chlorid und Sulfat in überkritischen Wasser-Dampf-Kreisläufen

2.940.1500	940 Professional IC Vario ONE/SeS/PP
2.850.9010	IC Conductivity Detector
2.942.0070	942 Extension Module Vario LQH
2.941.0010	941 Eluent Production Module
2.800.0010	800 Dosino
6.5330.140	IC-Ausrüstung: MiPCT
6.2832.000	MSM Rotor A
6.2842.020	Adapterhülse für Suppressor Vario
6.1020.070	Metrosep A Supp 10 - 100/2.0
6.1006.310	Metrosep A PCC 1 HC/4.0
6.6059.312	MagIC Net 3.1 Professional

Kationen sowie Kupfer, Zink und Nickel

2.940.1100	940 Professional IC Vario ONE
2.850.9010	IC Conductivity Detector
2.858.0010	858 Professional Sample Processor
2.800.0010	800 Dosino, 2 ×
6.5330.160	IC-Ausrüstung: MiPCT-ME
6.1050.230	Metrosep C 4 - 250/2.0
6.1010.310	Metrosep C PCC 1 HC/4.0
6.6059.312	MagIC Net 3.1 Professional

Lithium im Primärkreislauf**Nickel, Zink, Calcium und Magnesium im Primärkreislauf**

2.940.1100	940 Professional IC Vario ONE
2.850.9010	IC Conductivity Detector
2.858.0010	858 Professional Sample Processor
2.800.0010	800 Dosino, 2 ×
6.5330.160	IC-Ausrüstung: MiPCT-ME
6.1050.230	Metrosep C 4 - 250/2.0
6.1010.310	Metrosep C PCC 1 HC/4.0
6.6059.312	MagIC Net 3.1 Professional

Korrosive Anionen im Primärkreislauf

2.940.1530	940 Professional IC Vario ONE/SeS/PP/Prep 3
2.850.9010	IC Conductivity Detector
2.858.0010	858 Professional Sample Processor
2.800.0010	800 Dosino, 2 ×
6.5330.160	IC-Ausrüstung: MiPCT-ME
6.2832.000	MSM Rotor A
6.2842.020	Adapterhülse für Suppressor Vario
6.1006.520	Metrosep A Supp 7 - 250/4.0
6.1006.310	Metrosep A PCC 1 HC/4.0
6.6059.312	MagIC Net 3.1 Professional

Combustion IC

2.930.9010 930 Metrohm Combustion IC

Das Packet beinhaltet

2.930.2560 930 Compact IC Flex Oven/SeS/PP/Deg

2.850.9010 IC Conductivity Detector

2.920.0010 Absorber Module

6.2832.000 MSM Rotor A

6.2842.020 Adapterhülse für Suppressor Vario

2.136.0700 Combustion Module

6.1006.310 Metrosep A PCC 1 HC/4.0

6.6059.311 MagIC Net 3.1 Compact

Optional

2.136.0800 Autosampler MMS 5000 (Probenrack nicht inbegriffen)

6.7302.000 Kit für feste Proben zu MMS 5000, 35 Positionen

6.7303.000 Kit für flüssige Proben zu MMS 5000, 112 Positionen

6.1031.420 Metrosep A Supp 16 - 150/4.0

Optionen für Suppressorrotoren

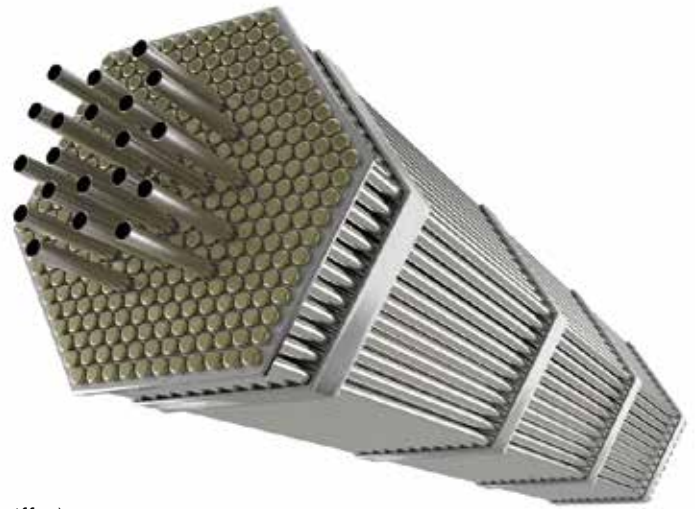
6.2832.000 MSM Rotor A

6.2842.000 MSM-HC Rotor A

6.2844.000 MSM-LC Rotor A

6.2842.200 MSM-HC Rotor C

6.2842.020 Adapterhülse für Suppressor Vario

**Voltammetrie**

2.884.0110 884 Professional VA manual für die Multi-Mode-Elektrode

2.884.1110 884 Professional VA semiautomated für die Multi-Mode-Elektrode. Bestehend aus 884 Professional VA, Messkopf für MME und zwei 800 Dosinos.

MVA-22 Vollautomatisiertes Professional-VA-System. Bestehend aus 884 Professional VA, Messkopf für MME, 919 IC Autosampler plus für VA und zwei 800 Dosinos zur automatischen Zugabe von Hilfslösungen. Ermöglicht die automatische Bearbeitung von bis zu 28 Proben. Dieses System ist die optimale Lösung für die automatische Analyse kleiner Probenserien.

Notwendiges Zubehör

6.5339.030 VA-Elektrodenkit mit Multi-Mode-Elektrode

6.6065.202 viva 2.0 Full

Prozessanalytik

Wir bieten Ihnen Online- und Atline-Analyzer für Einzel- und Multiparameterbestimmungen, die alle Ansprüche in der Prozessanalytik erfüllen. Jeder Prozessanalysator ist einzigartig, da er an die Erfordernisse des jeweiligen Prozesses angepasst ist.

ADI2045PL	ProcessLab-System für die Atline-Bestimmung diverser Parameter mit Titration, Kolorimetrie und ISE
ADI 201Y Series	Process Analyzer zur Einzelparameteranalytik, beherrschen Titration, Kolorimetrie und ISE
ADI 204Y Series	Multifunktionelle Process Analyzer, beherrschen Titration, ISE, Kolorimetrie und Voltammetrie
2035 Series	Analyzer in 3 Versionen erhältlich, als potentiometrischer, photometrischer und thermometrischer Titrator
ICON Analyzer	Analyzer aus der Plug-and-Analyze-Serie für photometrische Extinktionsmessungen
Alert Ion Analyzer	Analyzer aus der Plug-and-Analyze-Serie für die Messung von Einzelparametern durch ISE
7010 TOC	Analyzer für die Bestimmung des organischen Gesamtkohlenstoffgehalts (TOC) in flüssigen Proben

Ihre Metrohm Vertretung gibt Ihnen kompetente Auskunft auf Ihre Fragen. Besuchen Sie uns unter www.metrohm.com



powerplant.metrohm.com

