



## Application Note AN-PAN-1038

# Stromerzeugung: Analyse des m-Wert (Alkalinität) im Kühlwasser

Eine Möglichkeit, die Effizienz der Wärmeübertragung in einem Kraftwerk zu maximieren und die Kosten zu senken, besteht in der Kontrolle der Wasserchemie im Kühlkreislauf. Dieses Kühlwasser wird alkalisch gehalten, um die schützende Oxidschicht auf den Metallrohren im gesamten Wasserkreislauf zu erhalten. Übersteigt die Alkalinität allerdings den empfohlenen Konzentrationsbereich, kann sich

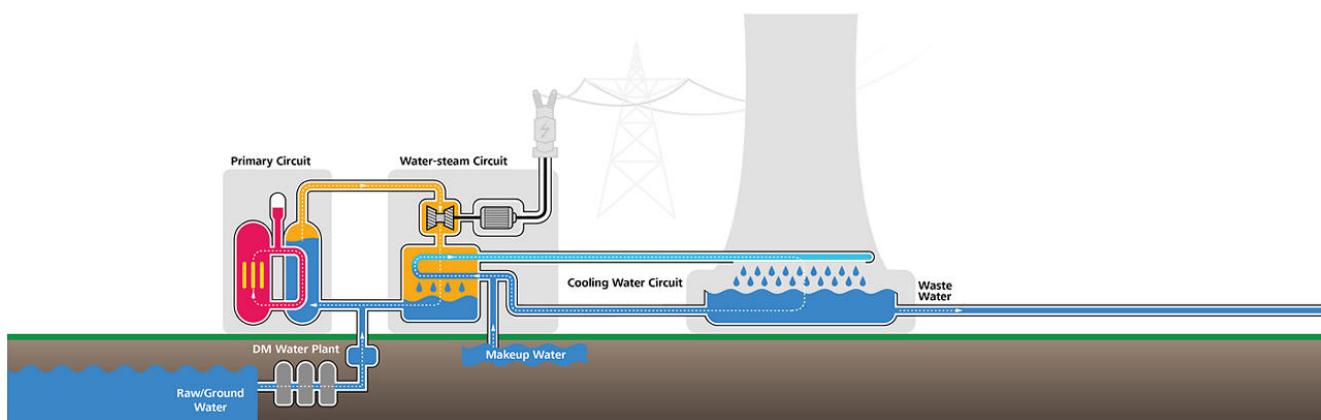
Kesselstein (Ablagerungen) bilden, weshalb mit Carbonat- ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) und Bicarbonat-Ionen ( $\text{HCO}_3^-$ ) gepuffert wird. Die Titration des Kühlwassers auf pH 4,5 ergibt die so genannte "m-Alkalinität" (Methylorange-Alkalinität), ein Maß für die Gesamtalkalinität. Unterhalb dieses pH-Werts ist keine Alkalinität mehr vorhanden, sondern nur noch freie Säure ( $\text{H}^+$ ), Kohlensäure ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) und  $\text{CO}_2$ .

In dieser Process Application Note wird die Online-Analyse der Alkalinität in Kühlwasser beschrieben. Diese Methode liefert Ergebnisse in weniger als 30 Minuten, was eine schnellere Reaktionszeit bedeutet, wenn Messwerte außerhalb der Spezifikation liegen. In Zusammenspiel mit der Leitwarte (DCS) des

Die Kontrolle der Wasserchemie im Kühlkreislauf eines Kraftwerks ist eine Möglichkeit, den Wirkungsgrad der Wärmeübertragung zu maximieren und Kosten zu reduzieren (**Abbildung 1**). Kühlwasser wird eingesetzt, um den Abdampf der Turbine zu kondensieren und das so entstehende Wasser als Speisewasser wieder dem Wasser-Dampf-Kreislauf zuzuführen. Die Kondensationswärme (Energie) des Dampfes wird auf das Kühlwasser übertragen, während dieses durch kilometerlange (Titan-)Rohre in den Kondensator fließt. Die Wasserchemie hängt von der Art des Kraftwerks, der Form des Kühlkreislaufs und der Werkstoffe ab. Jeder Kühlkreislauf verfügt über ein einzigartiges Design und individuelle analytische Anforderungen. Das Absenken der

Kraftwerks stellt die Online-Überwachung des m-Wertes mit einem Prozessanalysator sicher, dass die Korrosion kontrolliert werden kann, bevor sie den Wirkungsgrad des Kraftwerks beeinträchtigt, was die Ausfallzeiten verringert und die Wartungskosten senkt.

Temperatur des Kühlwassers erfolgt entweder in Form einer Durchlaufkühlung, bei der Wasser aus der Umwelt entnommen und mit einer geringfügig höheren Temperatur zurückgeführt wird, oder im Kreislauf eines Kühlturms. Der Wasserbedarf für Durchlaufkühlkreisläufe ist wegen der großen Mengen, die für die kontinuierliche Kühlung benötigt werden, wesentlich höher. Das aus Flüssen und Seen entnommene Wasser enthält neben anderen Verunreinigungen auch Sauerstoff, der zu Korrosion in den Rohrleitungen führt, wenn er nicht ausreichend entfernt wird. Eine kontinuierliche Zirkulation des Kühlwassers erhöht zwar die Konzentration von Verunreinigungen, verbraucht jedoch viel weniger Wasser.



**Abbildung 1.** Schematische Darstellung eines Wärmekraftwerks. Der Kühlkreislauf ist ein wichtiger Bestandteil von Zwei- und Dreikreis-Wärmekraftwerken.

## EINFÜHRUNG

Das Kühlwasser wird im alkalischen Bereich gehalten, um die schützende Oxidschicht in den metallischen Rohrleitungen des Wasserkreislaufs aufrechtzuerhalten. Saures Wasser würde die Oxidschicht zerstören und die metallische Oberfläche angreifen. Übersteigt die Alkalinität allerdings den empfohlenen Konzentrationsbereich, kann sich Kesselstein (Ablagerungen) bilden. Aus diesem Grund wird das Wasser mit Karbonat- ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) und Bicarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) gegen weitere Änderungen des pH-Werts gepuffert (**Reaktion 1**). Traditionell wird das Wasser mittels Titration im Labor analysiert. Diese Methode liefert jedoch keine zeitnahen Ergebnisse und erfordert menschliches Eingreifen, um die Ergebnisse der Laboranalyse auf den Prozess zu übertragen. Die Online-Prozessanalyse ermöglicht eine ständige Überwachung der Wasserqualität ohne

manuelle Probenahme und liefert genauere und repräsentative Ergebnisse direkt an den Kontrollraum. Optimale Wasserchemie beginnt mit einem Online Prozessanalysensystem wie dem 2026 Titrolyzer von Metrohm Process Analytics. Profitieren Sie von einer zeitsparenden Analyse die den Wirkungsgrad des Prozesses sowie die Effizienz deutlich erhöht. Die Online-Analyse trägt zum Schutz vor Korrosion und Verschmutzung im Kühlwasserkreislauf bei und ermöglicht so eine längere Betriebszeit und geringere Wartungskosten. Die Titration auf einen pH-Wert von 4,5, der von einer pH-Elektrode angezeigt wird, ergibt den so genannten "m-Wert" (Methylorange-Alkalinität), der auch ein Maß für die Gesamtalkalinität ist. Unterhalb eines pH-Wertes von etwa 4,3 ist keine Alkalinität mehr vorhanden, sondern nur noch freie Säure ( $\text{H}^+$ ), Kohlensäure ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) und  $\text{CO}_2$ .

$$m - \text{alkalinity} = [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-]$$

---

**Reaktion 1.** Gesamtreaktion der m-Alkalinität.

Die Titration wird mit 0,1 mol/L Salzsäure (HCl) auf pH 4,5 durchgeführt. Der Endpunkt wird automatisch durch Aufzeichnung der Änderung des pH/mV-Signals in Abhängigkeit von der dosierten Menge des Titriermittels ermittelt. Eine geeignete pH-Elektrode wird zur genauen Anzeige dieser pH/mV-Änderung

verwendet. Neben dem 2026 Titrolyzer können auch die 2035 Process Analyzer - Potentiometrie und 2060 TI Process Analyzer (**Abbildungen 2 und 3**) die Alkalinität online überwachen, was eine hohe Prozesseffizienz und niedrige Betriebs- und Energiekosten garantiert.



---

**Abbildung 2.** 2035 Process Analyzer – Potentiometrie.



---

**Abbildung 3.** 2060 TI Process Analyzer von Metrohm Process Analytics.

**Tabelle 1.** Messparameter für Wärmekraftwerke \* Andere Konzentrationen unterhalb des angegebenen Bereichs können durch Anpassung der Konzentration der Reagenzien bestimmt werden.

Parameter	Messbereich
m-Alkalität	0–110 mmol/L *
CaCO <sub>3</sub>	0–1000 mg/L *

## FAZIT

Metrohm Process Analytics bietet eine breite Palette von Online-Prozessanalysatoren zur rund-um-die-Uhr Überwachung von Kraftwerken. Von Einzelparameter-Analysatoren (z. B. 2026 Titrolyzer) bis hin zu Multiparameter-Analysatoren (z. B. 2035 Process

Analyzer - Potentiometrie und 2060 TI Process Analyzer) - alle diese Lösungen können die Alkalinität messen und helfen, den Anlagenbetrieb zu sichern und die Effizienz der Prozesskühlung zu optimieren.

## ÄHNLICHE ANWENDUNGSHINWEISE

AN-PAN-1003 Amin („reich“ und „mager“) und

kostenloses und vollständiges CO<sub>2</sub>

## VORTEILE BEI LAUFENDER TITRATION

- Erhöhte Langlebigkeit der wertvollen Unternehmensressourcen
- Überwachung **mehrerer Probenströme** (bis zu 10) für mehr Einsparungen pro Messpunkt und Ergebnis
- Sichereres **Arbeitsumfeld** und automatisiert Probenahme
- **Vollautomatische Diagnose** – Automatische Alarne, wenn die Proben außerhalb der vorgegebenen Parameter liegen



## CONTACT

Metrohm Deutschland  
In den Birken 3  
70794 Filderstadt

info@metrohm.de

## GERÄTEKONFIGURATION



### 2035 Process Analyzer – Potentiometrie

Der 2035 Process Analyzer verwendet für die potentiometrische Titration und ionenselektive Messungen spezielle Titriermittel und Elektroden. Diese Gerätevariante des 2035 Process Analyzers ist zudem geeignet für ionenselektive Analysen mit Hochleistungselektroden von Metrohm. Dieses genaue Standardadditionsverfahren ist ideal für kompliziertere Probenmatrices.

Die potentiometrische Gerätevariante des Analysengeräts bietet unter allen auf dem Markt angebotenen Messverfahren die genauesten Resultate. Mit weit mehr als 1000 bereits verfügbaren Applikationen ist auch die Titration in nahezu allen Industriezweigen eines der meist eingesetzten Verfahren zur Analyse Hunderter von Komponenten und reicht von der Säure-Base-Analyse bis zur Bestimmung der Metallkonzentrationen in Galvanikbädern.

Die Titration ist eine der gängigsten chemischen Absolutmethoden, die heute verwendet wird. Das Verfahren ist unkompliziert und benötigt keine Kalibrierung.

In dieser Konfiguration erhältliche Titrationsvarianten:

- Potentiometrische Titration
- Kolorimetrische Titration mit  
Lichtleitertechnologie
- Wassergehaltsbestimmung nach der Karl-Fischer-Titrationsmethode



## 2060 Process Analyzer

Der 2060 Process Analyzer ist ein Online-Analysengerät für die Nass-Chemie, das sich für zahlreiche Anwendungen eignet. Dieser Prozessanalysator bietet ein neues Baukastensystem, das eine zentrale Plattform hat, den sogenannten „Basisschrank.“

Der Basisschrank besteht aus zwei Teilen. Der obere Teil enthält einen Touchscreen sowie einen Industrie-PC. Im unteren Teil befindet sich der flexible Nassteil, in dem die Hardware für die eigentliche Analyse untergebracht ist. Wenn die Kapazität des Nassteils aus der Grundausstattung nicht ausreicht, um eine analytische Herausforderung zu bewältigen, kann der Basisschrank auf bis zu vier weitere Nassteilschränke erweitert werden. So lässt sich sicherstellen, dass selbst für die anspruchsvollsten Anwendungen genügend Platz vorhanden ist. Die zusätzlichen Schränke lassen sich so konfigurieren, dass jeder Nassteilschrank zwecks Erhöhung der Betriebszeit des Analysengeräts mit einem Reagenzienkasten, der über eine integrierte (kontaktlose) Füllstandserfassung verfügt, kombiniert werden kann.

Der 2060 Process Analyzer bietet verschiedene nasschemische Methoden: Titration, Karl-Fischer-Titration, Photometrie, Direktmessung und Standardadditionsverfahren.

Zur Erfüllung aller Projektanforderungen (oder all Ihre Bedürfnisse) sind auch Probenaufbereitungssysteme erhältlich, die eine stabile Analyselösung garantieren. Wir können jedes Probenaufbereitungssystem liefern, unter anderem zum Kühlen oder Heizen, Druckmindern oder Entgasen, Filtern und für vieles mehr.



## 2026 Titrolyzer

Der 2026 Titrolyzer verwendet zur Durchführung potentiometrischer Titrationen ein hochpräzises Bürettensystem und Hochleistungselektroden. Zu den verschiedenen Titrationsarten gehören Säure/Basen-, Redox- und Fällungstitrations. Bei den meisten Anwendungen kann eine automatische Wendepunkttitration eingesetzt werden. Das Analysengerät kann zudem verwendet werden, um in Situationen den pH-Wert zu messen, in denen Inline-Sensoren ansonsten versagen würden.

Darüber hinaus kann der 2026 Titrolyzer unter Anwendung der dynamischen Standardadditionsmethode Messungen mittels einer hochpräzisen Bürette und leistungsfähiger ionenselektiver Elektroden (ISE) ausführen. Bei diesem Verfahren wird das Standardadditionsvolumen mittels dynamischer Potentialänderung an die jeweilige Probenkonzentration angepasst. Zudem werden mehrere Steigungswerte der ionenselektiven Elektrode berücksichtigt. Dies bedeutet, dass die ISE bis in ihren untersten oder obersten Messbereich genutzt werden können. Durch die gleichzeitige Temperaturmessung können mögliche Auswirkungen der Temperatur auf die Analysenresultate ausgeschlossen werden.

Der 2026 Titrolyzer ist für verschiedene Märkte perfekt geeignet, unter anderem für die Bereiche Chemie, Petrochemie, Halbleiter, Umwelt, Bergbau, Stahl/Metall und Trinkwasser.

Ausgewählte Anwendungen sind:

- Saure und alkalische Lösungen
- Chlorid
- Wasserstoffperoxid
- Härte
- Cyanid
- Kupfer
- Fluorwasserstoff
- pH
- Und viele mehr ...