



Application Note AN-PAN-1013

Online-Analyse von Borsäure im Kühlwasser von Druckwasserreaktoren

Borsäure wird verwendet, um Neutronen im Primärkreislauf von Druckwasserreaktoren (DWR) zu absorbieren und so die Reaktivität des Reaktors zu steuern. Daher ist eine nahezu kontinuierliche Überwachung der Borsäurekonzentrationen von entscheidender Bedeutung. Die Konzentration der Borsäure wird in der Regel mit manuellen Laboranalysemethoden überwacht. Manuelle Analysen sind jedoch zeitaufwändig und abhängig vom Bediener. Mit dem 2060 TI Process Analyzer ist eine schnelle und zuverlässige automatisierte Online-Analyse möglich.

In dieser Process Application Note wird die Online-

Analyse von Borsäure in nuklearen DWRs erläutert. Die intelligente Software IMPACT des 2060 TI Process Analyzers kann sich automatisch auf den sich verändernden Prozessbereich einstellen und gewährleistet durch die Veränderung der Konzentration des Titriermittels in der Bürette ein Höchstmaß an Genauigkeit über den gesamten Messbereich (hoch-niedrig). In Verbindung mit dem „Chemical and Volume Control System“ des Kraftwerks (CVCS) wird die Echtzeitüberwachung sowie die frühzeitige Erkennung potenzieller Probleme ermöglicht und die Reaktorsteuerung für einen sicheren und effizienten Betrieb optimiert.

Etwa 9 % des weltweiten Stroms stammen aus Kernenergiequellen [1]. Druckwasserreaktoren (DWRs) sind eine der gebräuchlichsten Arten von Kernreaktoren zur Stromerzeugung [1]. Der sichere und effiziente Betrieb von DWRs ist entscheidend, um eine zuverlässige Energieversorgung zu gewährleisten und gleichzeitig die Umwelt zu schonen.

In Druckwasserreaktoren (PWR) wird Borsäure als Neutronenabsorber (B-10 Isotop, ^{10}B) dem Wasser des Hauptkühlsystems zugefügt, um die Kernreaktion zu steuern. Bor besitzt eine hohe Affinität, Neutronen zu binden, sodass eine Erhöhung oder Absenkung der jeweiligen Konzentration die Neutronenaktivität entsprechend beeinflusst. Durch die Einstellung der Borsäurekonzentration im Kühlmittel können die Betreiber die Leistung des Reaktors präzise steuern. Bor wird im Primär- und Sekundärkreislauf sorgfältig kontrolliert (Abbildung 1). Obwohl diese Kreisläufe so

konzipiert sind, dass sie hochgradig geschützt sind, können potenzielle Risiken wie Unfälle, Lecks oder Verschüttungen dazu führen, dass kontaminiertes Wasser in die Umwelt freigesetzt wird, was sich letztendlich auf nahe gelegene Wasserquellen auswirkt.

Die Borkonzentration im Primärkühlmittel variiert je nach Stufe des Brennstoffkreislaufs zwischen 0 und 2.000 mg/L oder mehr [2]. Dies liegt deutlich über dem empfohlenen Höchstwert für Trinkwasser, der laut Weltgesundheitsorganisation (WHO) bei 2,4 mg/l [3] und nach EU-Standards bei 1 mg/l liegt [4]. Das CVCS ist für die Regelung der Borkonzentrationen im Reaktorkühlmittel verantwortlich. Dieses System passt die Menge an Borsäure, die dem Primärkreislauf zugeführt wird, sorgfältig an, um eine optimale Reaktivität aufrechtzuerhalten und einen sicheren Reaktorbetrieb zu gewährleisten.

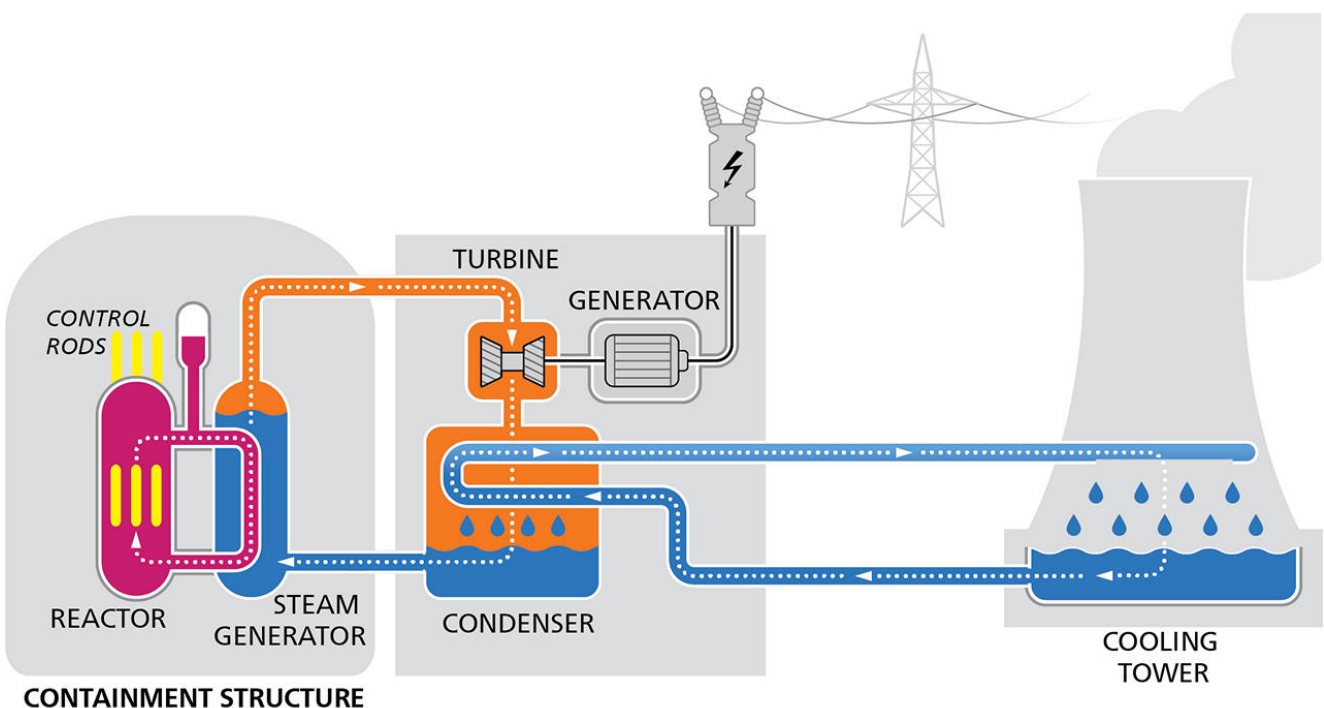


Abbildung 1. Darstellung der verschiedenen Wasserkreisläufe in einem Kernreaktor (links: Primärkreislauf, Mitte: Sekundärkreislauf, rechts: Kühlkreislauf).

Der **2060 TI Process Analyzer** (Abbildung 2) bietet einen deutlichen Vorteil gegenüber herkömmlichen Laboranalysemethoden im nuklearen Bereich. Die Automatisierung der Analytik ermöglicht eine kontinuierliche Überwachung der Borkonzentrationen im DWR in Echtzeit, ohne dass manuelle Labortests erforderlich sind.

Darüber hinaus gewährleistet die Selbstkalibrierungsfunktion des Analysators eine gleichbleibende Genauigkeit, ohne dass häufige

manuelle Einstellungen erforderlich sind.

Durch die nahtlose Integration in die Steuerungssysteme von Kernkraftwerken ermöglicht der **2060 TI Process Analyzer** automatische Anpassungen auf der Grundlage der gemessenen Borkonzentrationen. Diese Automatisierung verbessert die Betriebseffizienz und trägt zur Aufrechterhaltung einer optimalen Reaktorleistung bei.

ANWENDUNG

Die Online-Überwachung von Borsäure im Kühlwasser ist mittels potentiometrischer Titration möglich. Die intelligente IMPACT-Software, die vom 2060 TI Process Analyzer verwendet wird, kann sich automatisch an unterschiedliche Borsäurewerte

anpassen und die Titriermittelkonzentrationen umschalten, um sicherzustellen, dass über den gesamten Messbereich die höchste Genauigkeit erreicht wird.

Tabelle 1. Typische Borsäurekonzentrationen, die in Druckwasserreaktoren vorkommen.

Parameter	[mg/L]
Bor	0 – 2.000

BEMERKUNGEN

Weitere Prozessanwendungen im Bereich der Kraftwerksindustrie sind die Überwachung von Kieselsäure, Natrium, Nickel, Zink, Kalzium, Magnesium und Chlorid. Zuverlässige Messungen dieser kritischen Parameter sind mit dem 2060 TI Process Analyzer von Metrohm Process Analytics möglich (Abbildung 2).



Abbildung 2. Der 2060 TI Process Analyzer eignet sich zur Überwachung verschiedener kritischer Parameter in nuklearen Druckwasserreaktoren.

FAZIT

Die Fähigkeit, Borsäurekonzentrationen im Bereich von 0 bis 2.000 mg/l zu überwachen, ist besonders wertvoll bei DWRs, bei denen eine präzise Kontrolle dieses Parameters für einen sicheren und effizienten

Betrieb unerlässlich ist. Die Vielseitigkeit und Genauigkeit des 2060 TI Process Analyzers machen ihn zu einem wertvollen Werkzeug für Betreiber von Kernkraftwerken.

REFERENZEN

1. *Nuclear Power in the World Today* - World Nuclear Association. <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today> (accessed 2024-08-20).
2. Mesquita, A. Z.; Reis, I. C.; de Almeida, V. F.; et al. Boron-10 Effect on the Reactivity of the IPR-R1 Triga Research Reactor. *Annals of Nuclear Energy* **2019**, 132, 64–69.
DOI:10.1016/j.anucene.2019.04.023
3. *Boron, a key challenge for reverse osmosis systems, successfully treated with LG Chem TFN membranes GWI*.
<https://www.globalwaterintel.com/articles/boron-a-key-challenge-for-reverse-osmosis-systems-successfully-treated-with-lg-chem-tfn-membranes-lg-chem> (accessed 2024-08-19).
4. *EU's drinking water standards*.
<https://www.lenntech.com/applications/drinking/standards/eu-s-drinking-water-standards.htm> (accessed 2024-08-19).

ZUGEHÖRIGE APPLICATION NOTES

[AN-PAN-1016 Online-Analyse von Kieselsäure im Kesselspeisewasser von Kraftwerken](#)

[AN-PAN-1032 Korrosionsüberwachung in Kraftwerken mit Online-Prozessanalytik](#)

[AN-PAN-1038 Stromerzeugung: Analyse des m-Wert \(Alkalität\) im Kühlwasser](#)

[AN-PAN-1040 Ammoniak im Kühlwasser von Wärmekraftwerken](#)

[AN-PAN-1042 Online-Spurenanalyse von Anionen im](#)

[Primärkreislauf von Kernkraftwerken](#)

[AN-PAN-1043 Online-Spurenanalyse von Kationen im Primärkreislauf von Kernkraftwerken](#)

[AN-PAN-1044 Online-Spurenanalyse von Aminen im alkalischen Wasser-Dampf-Kreislauf von Kraftwerken](#)

[AN-PAN-1045 Online-Überwachung von Kupferkorrosionsinhibitoren in Kühlwasser](#)

[AN-PAN-1056 Online-Überwachung von Natrium in Industriekraftwerken](#)

VORTEILE DER ONLINE-PROZESSANALYTIK

- Sichereres Arbeitsumfeld für die Mitarbeiter (Kernreaktor).
- Vollautomatische Diagnosen – automatische Alarme, wenn Proben außerhalb der Spezifikationsparameter liegen.
- Garantierte Einhaltung von Umweltstandards.
- Hohe Genauigkeit für niedrigere Nachweisgrenzen von Bor.



CONTACT

Metrohm Schweiz AG
Industriestrasse 13
4800 Zofingen

info@metrohm.ch

KONFIGURATION



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 Reagenzienschrank, 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 Ihrer Bedürfnisse) sind auch Probenaufbereitungssysteme erhältlich, die eine stabile Analyselösung garantieren. Wir können jedes Probenaufbereitungssystem liefern, unter anderem zum Kühlen oder Heizen, Druckmindern oder Entgasen, Filtrieren und für vieles mehr.