

WavE-Verbundprojekt:

Effiziente Kreislaufführung von Kühlwasser durch integrierte Entsalzung am Beispiel der Stahlindustrie (WEISS)

Barbara Wendler, Martin Hubrich, Matthias Kozariszczuk
Ressourcentechnologie Flüssige Medien, BFI

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

DEUTSCHE EDELSTAHLWERKE
Providing special steel solutions



ifak

SMS
SIEMAG
SMS group



UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



WEHRLE



PTKA
Projektträger Karlsruhe
im Karlsruher Institut für Technologie

BFI

VDEh-Betriebsforschungsinstitut
GmbH

Stahl

- › **VDEh-Betriebsforschungsinstitut (BFI)** – angewandte Forschung und Entwicklung – Verbundkoordinator, Feststoff/Salzabtrennung
- › **SMS group GmbH (SMS)** – Anlagenbau – Evaporation, Gesamtkonzept
- › **Technische Universität Berlin (TUB)**,
Institut für Technischen Umweltschutz, FG Umweltverfahrenstechnik –
Simulation, Life Cycle Assessment
- › **Universität Duisburg-Essen (UDE)**, Lehrstuhl für Technische Chemie II –
Umkehrosmose-Membranmodifikation mittels Beschichtung
- › **Deutsche Edelstahlwerke GmbH (DEW)** – Drahtproduzent – Versuche an
Kühlwasserkreisläufen
- › **WEHRLE Umwelt GmbH (Wehrle)** – Anlagenbau – Umkehrosmose mit
minimaler Konzentratmenge
- › **ifak Magdeburg e.V.**, Institut für Automation und Kommunikation -
Simulationssoftware

Inhalt

- › **Ausgangssituation**
- › Projektziele
- › Innovative Ansätze
- › Arbeitspakete

Ausgangssituation

- › Einsatz von 2,3 Mrd. m³/a Wasser branchenübergreifend für Kühlzwecke in Deutschland (92% der nichtöffentlichen Versorgung 2010)
- › Anstieg der Salz- und Feststoffgehalte in den Kühlkreisläufen durch Verdunstung und Kreislaufführung (Konzentrationslimits zur Vermeidung von Korrosion: Chlorid: 150 – 200 mg/L, Sulfat: 200 – 400 mg/L)
 - > Absalzung 1 % - 5 % des Wassers
(bis zu 200 m³/h in einem Stahlwerks-Kühlkreislauf)
 - > Verlust an Behandlungschemikalien

In der Stahlindustrie:

- › Keine bedarfsgerechte Dosierung von Kühlwasser-Behandlungschemikalien (Korrosionsinhibitoren, Dispergatoren und Antiscalants)
 - > Erhöhte Kosten für Chemikalien durch Überdosierung
- › Komplexe Kühlwasserkreisläufe, insbesondere in gewachsenen Werken
- › Branchen mit großen Kühlwassermengen neben der Stahlindustrie:
Chemie, Papier, Kraftwerke, Klima- und Kälteanlagen, Maschinen-/Kunststofffabriken, Erdölindustrie, Glaswerke, NE-Metallhütten

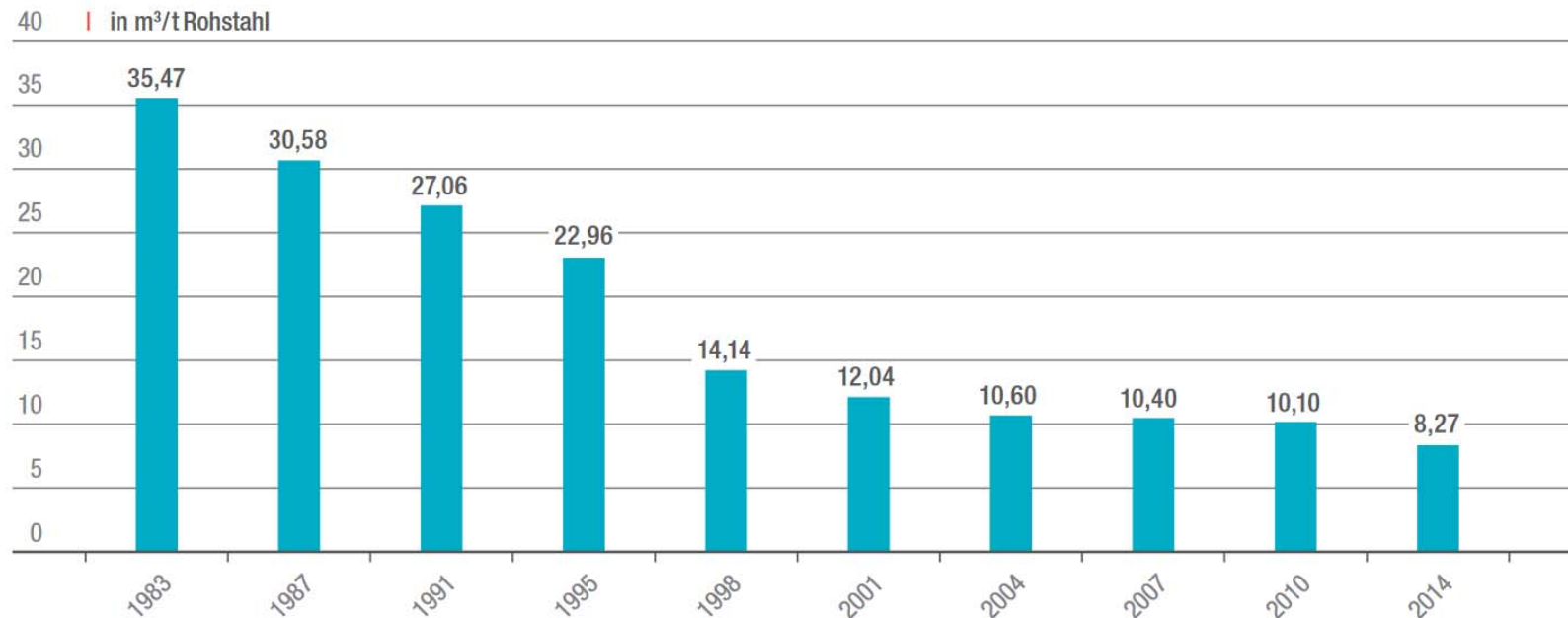
Ausgangssituation: Wasser in der Stahlindustrie



VDEh-Betriebsforschungsinstitut
GmbH

- › Der Anteil des im Kreislauf gefahrenen Wassers beträgt 94,5 %, d.h. die Wasserkreisläufe sind zum großen Teil geschlossen
- › Der Wasserverbrauch beträgt trotzdem noch ca. 8,3 m³/t Rohstahl (2014), bei einer Jahresproduktion von 43 Mio. t/a entspricht das ca. 350 Mio. m³/a

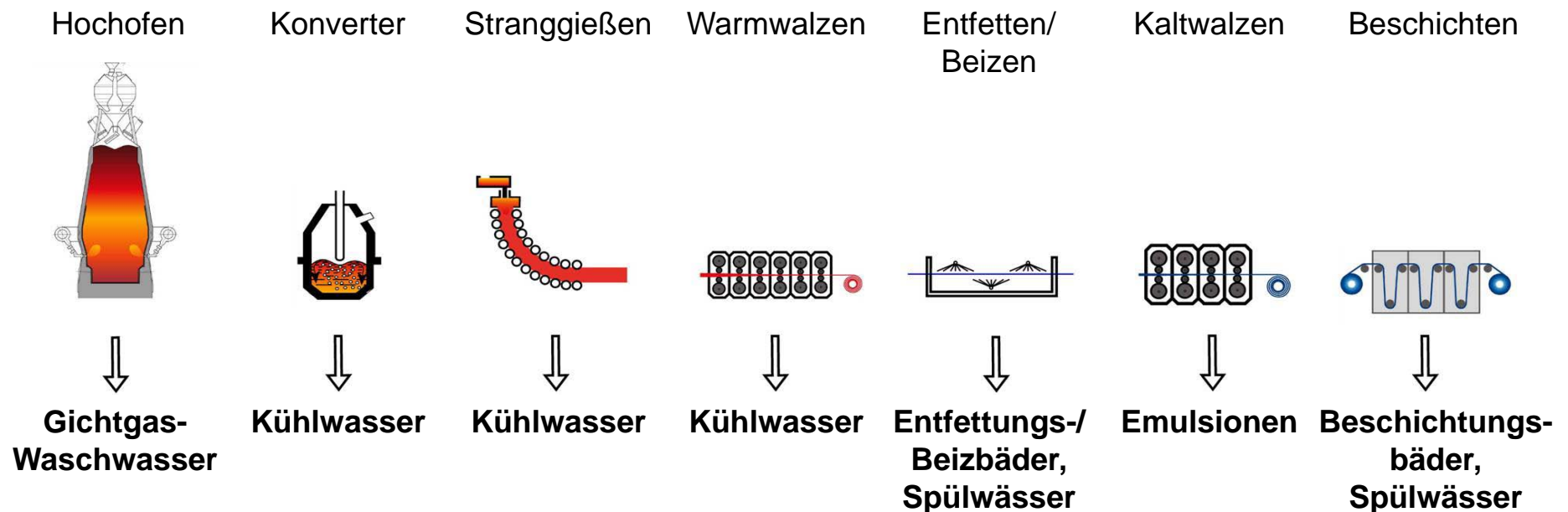
Spezifischer Wassereinsatz bei der Stahlerzeugung in Deutschland



Quelle: Stahlinstitut VDEh, Stahl und Nachhaltigkeit, November 2015

Ausgangssituation: Wasser in der Stahlindustrie

- › Wasser wird in der Stahlindustrie in verschiedenen Prozessen eingesetzt:
 - als Kühlwasser, Spülwasser und Gaswaschwasser
 - in Walzemulsionen, Beizbädern und Beschichtungsbädern
- › Kühlwasserkreisläufe sind die größten Wasserkreisläufe, ausgetauschter Volumenstrom (Absatzung) bis zu 200 m³/h in der Stahlindustrie



Zusammensetzung von Kühlwässern in der Stahlindustrie

Komplexe Zusammensetzung:

- › Oxidierende/nicht oxidierende Biozide,
- › Korrosionsschutzmittel (z.B. Phosphonate),
- › Flockungshilfsmittel (Polymere, Elektrolyte)
- › Härtestabilisatoren
- › Feststoffe
(produktionsbedingt bei direkter Kühlung)
- › Öl/Fett (aus Leckagen)
- › Mikroorganismen
- › Organik
- › Kalkverbindungen

Konzentrationsschwankungen:

- › Ionen (Sulfat, Chlorid), pH-Wert, Leitfähigkeit, Härte
- › teilweise im Minutenbereich,
z.B. Feststoffgehalt 10 mg/L – 10.000 mg/L



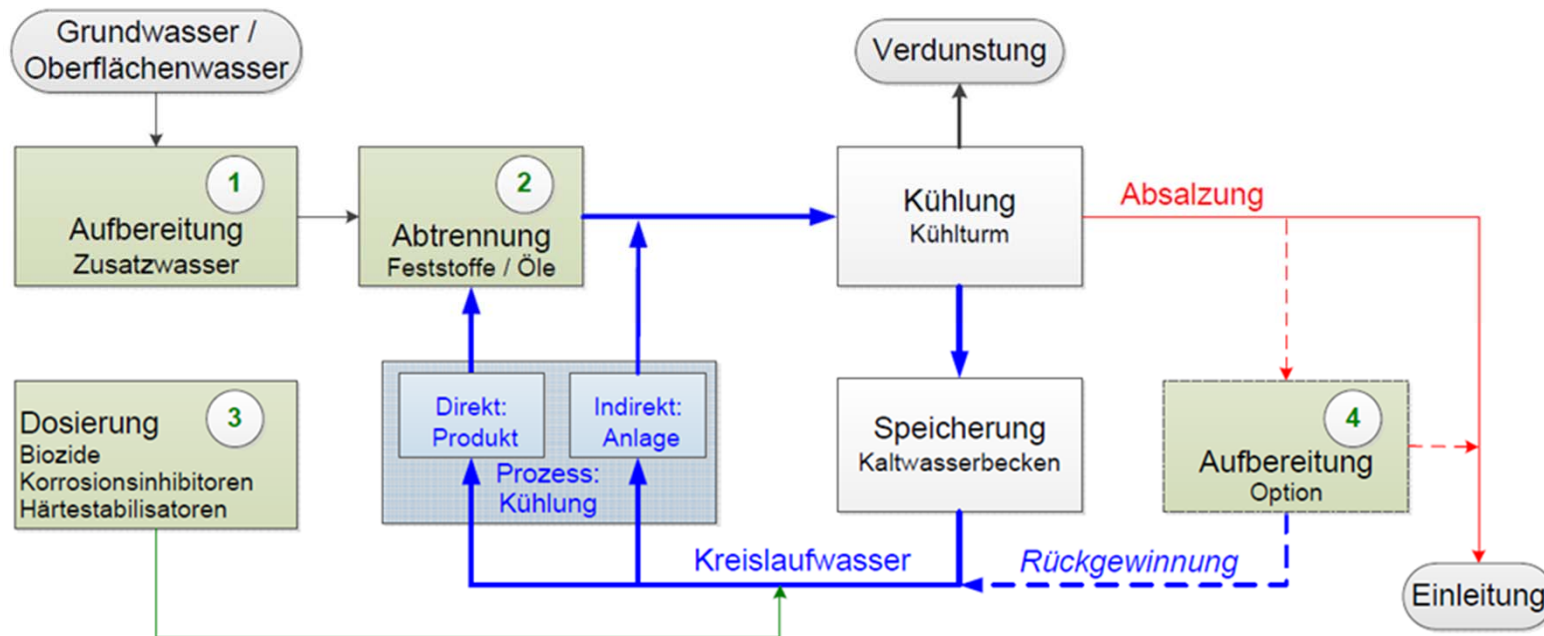
Kühlwasser (direkte Kühlung) - vor und nach der Feststoffabtrennung

Inhalt

- › Ausgangssituation
- › **Projektziele**
- › Innovative Ansätze
- › Arbeitspakete

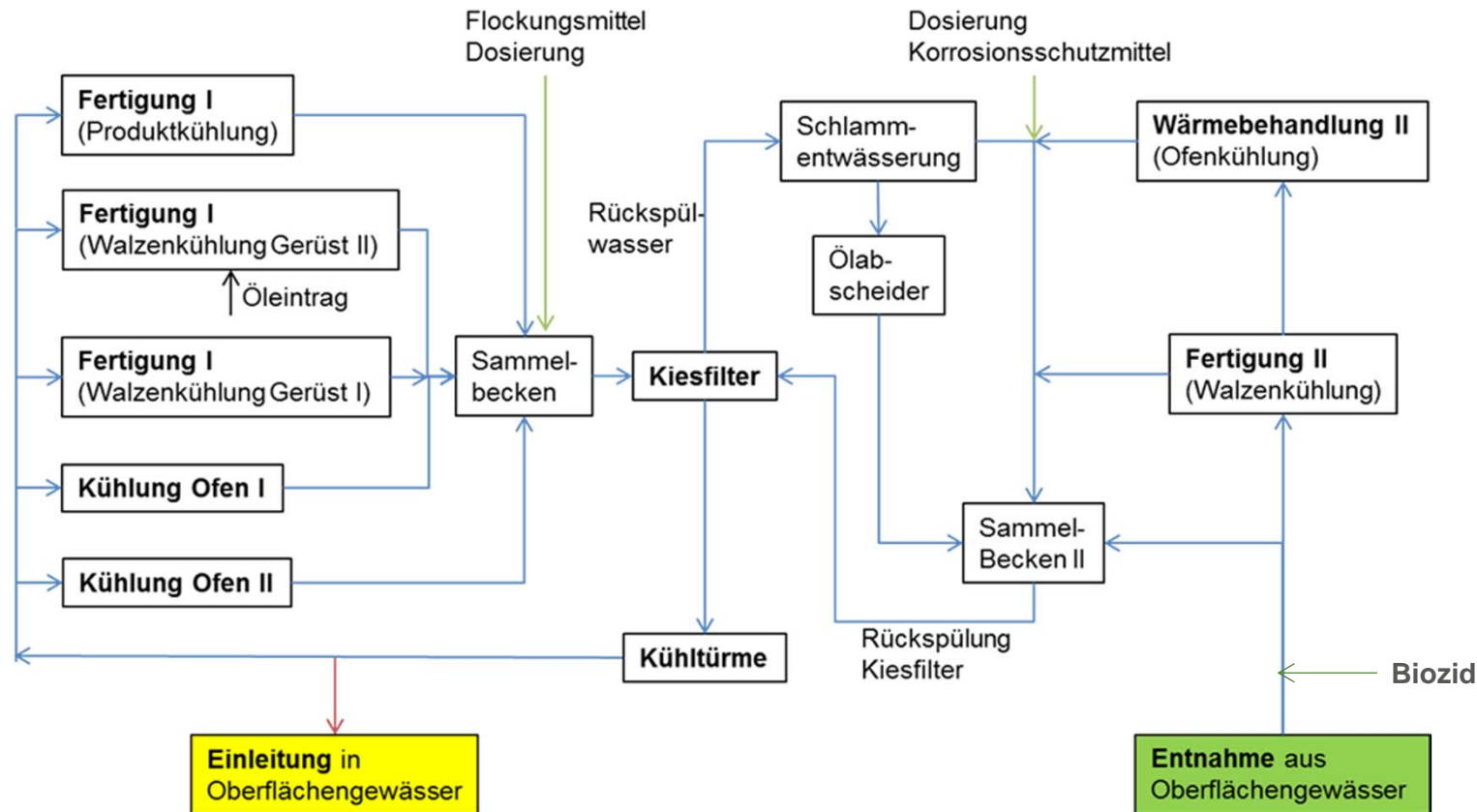
- › Halbierung der Absalzwassermenge durch
 - Entfernung von Salzen und Feststoffen aus Zusatzwasser/Absalzwasser
 - Bedarfsgerechte Chemikaliendosierung durch Messung der biologischen Aktivität und des Feststoffgehaltes
 - › Hebung des Einsparpotentials: durchschnittlicher Stahlstandort
-> Wassereinsparung von bis zu 800.000 m³/a
 - › Entwicklung innovativer Verfahren zur Kühlwasseraufbereitung
 - Kapazitive Deionisation (CDI)
 - Umkehrosmose-Membranen mit Antifouling-Beschichtungen
 - Evaporation mit Polymerfilm-Wärmetauschern
 - Kühlwassermodellierung (Scaling und Korrosion)
zur Ermittlung geeigneter Verfahrenskombinationen/Dosiermengen
- Hauptrisiko: Fouling/Scaling**
- › Anwendungsgebiete:
 - Wassereinsparung in ariden Gebieten (Zero liquid discharge)
 - Chemikalieneinsparung in Regionen ohne Wassermangel

Schema einer idealen Kühlwasserbehandlung mit F&E Ansatzpunkten des Projektes



- (1) Aufbereitung des Zusatzwassers (z.B. CDI, beschichtete UO-Membranen)
- (2) Effektive Abtrennung von Feststoffen (Magnetabscheidung) und Öl
- (3) Bedarfsgerechte Chemikaliendosierung (Messung biol. Aktivität, Feststoffe)
- (4) Aufbereitung der Absalzung (CDI, beschichtete UO-Membranen, Evaporation)

Beispiel eines betrieblichen Kühlwasserkreislaufs der Stahlindustrie



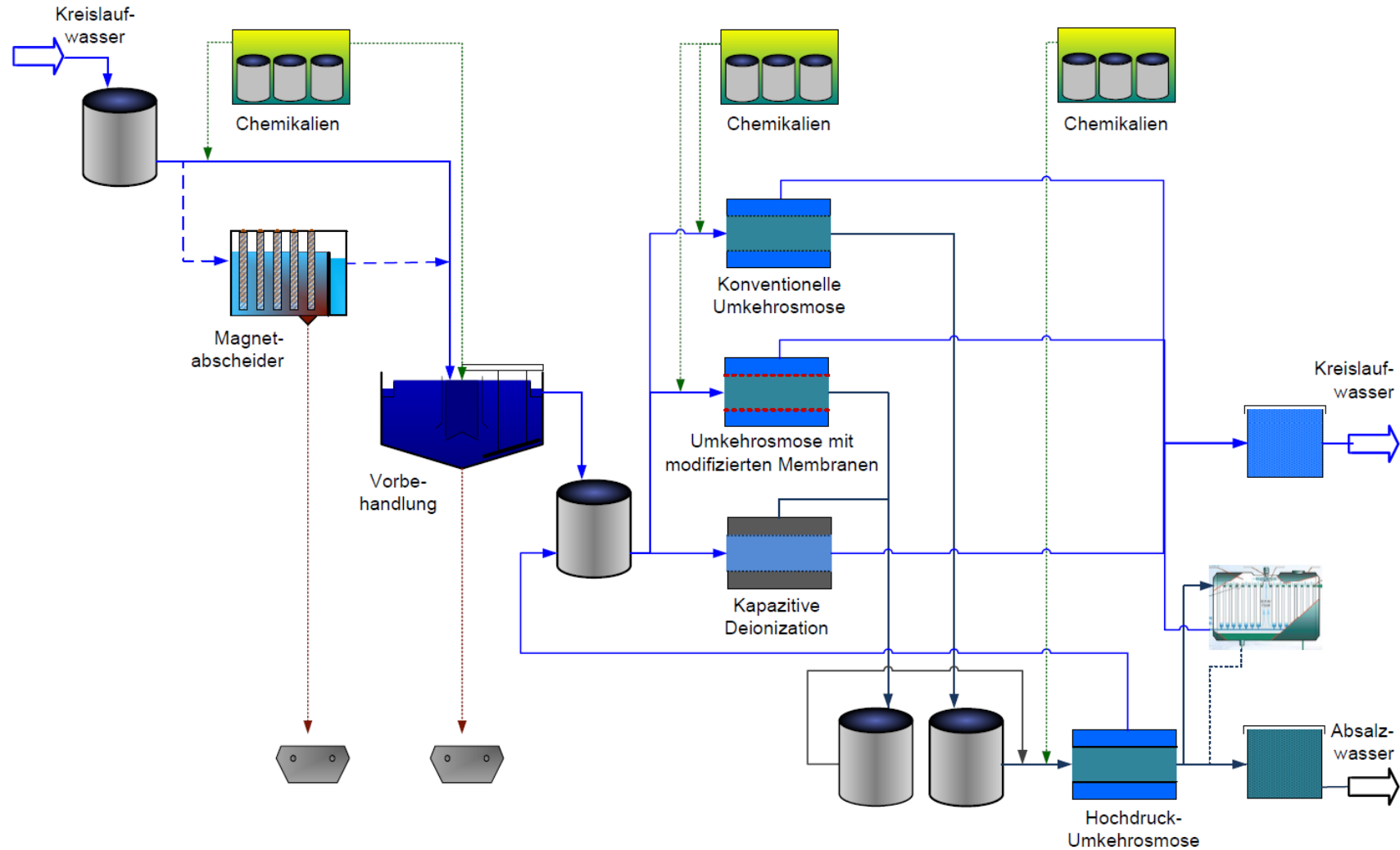
- › Komplexe Struktur der Kühlkreisläufe in gewachsenen Werken
- › Komplexe Wasserzusammensetzung bedingt durch Biozide, Korrosionsschutz, Flockungshilfsmittel, Härtestabilisatoren und Eintrag von Öl/Feststoffen

Inhalt

- › Ausgangssituation
- › Projektziele
- › **Innovative Ansätze**
- › Arbeitspakete

- › Entwicklung und Erprobung eines mehrstufigen Behandlungsverfahrens zur **Entsalzung und Vorbehandlung (Feststoffabtrennung)** in Kühlwasserkreisläufen mit komplexen Wassermatrizes
- › Erprobung der **kapazitiven Deionisation** (in Europa bisher nur im Labor- und Technikumsmaßstab im Einsatz)
- › Entwicklung und Erprobung von neuen **Fouling-resistenten beschichteten Umkehrosmose-Membranen** zur Entsalzung (Langzeit Labor- und Vor-Ort-Versuche mit betrieblichem Wasser)
- › Konzeptentwicklung zur **bedarfsgerechten Chemikaliendosierung** basierend auf neuen Messverfahren für biologische Aktivität und Feststoffkonzentration und Kopplung mit Prozesssimulation
- › **Entwicklung** geeigneter **Simulationswerkzeuge** mit Beschreibung neuer Wasserbehandlungsverfahren zur Simulation von Wasser-, Stoff- und Enthalpieströmen
- › **Simulation** komplexer **Kühlkreisläufe zur Ermittlung** der Potentiale zur Effizienzsteigerung und optimalen Verfahrensintegration/-kombination

Mögliche Verfahrenskombination/-anordnung während der betrieblichen Erprobung



Kapazitive Deionisation CDI (BFI)

Ausgangssituation

- › Aufsalzung des Kühlwassers

Funktionsprinzip

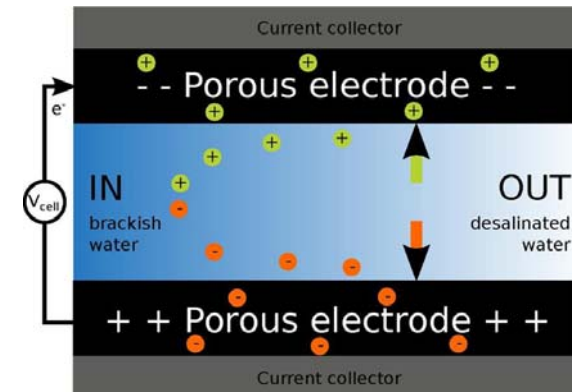
- › Ionenentfernung mittels elektrostatischer Adsorption an Elektroden (1,5 V)
 - anschließende Desorption bei Regeneration

Vorteile CDI

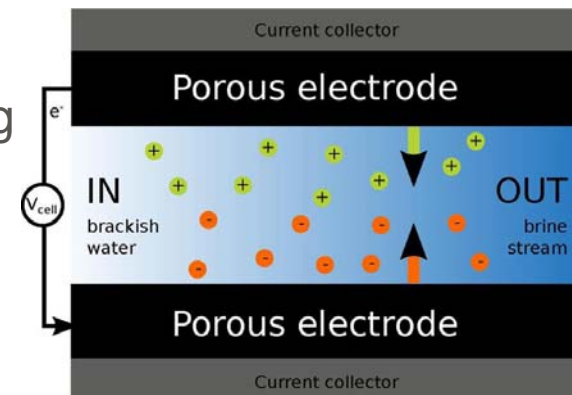
- › Deutlich geringerer Energieeinsatz im Vergleich zu Elektrodeionisation (EDI) bzw. UO
- › Vermeidung Oxidation / Reduktion gelöster Komponenten (Gasbildung) durch Niederspannung

Projektarbeiten

- › Ermittlung Einsatzbereich bezüglich Feststoff-, Organik- und Metall-Gehalten in Kühlwässern
- › Ermittlung einer geeigneten Vorbehandlung
- › Überprüfung in Labor- und Betriebsversuchen



Entsalzung des Wassers



Reinigung der Elektroden

Umkehrosmose-Membranmodifikation durch Antifouling-Beschichtungen (UDE)

Ausgangssituation

- › Herabsetzung der UO-Membran-Filtratleistung durch Fouling und Wechselwirkungen mit Kühlwasserinhaltsstoffen

Ziel

- › Erhöhung der Membranstandzeiten bei gleichbleibender Trennleistung durch Entwicklung geeigneter Membranbeschichtung

Projektarbeiten

- › Ermittlung möglicher Wechselwirkungen von Membranmaterial mit Wasserbehandlungschemikalien
- › Membranmodifikation unter Nutzung von in Entwicklung befindlichen Verfahren zur Membranausrüstung mit regenerierbaren Antifouling-Beschichtungen
- › Salzabtrennung mittels Umkehrosmose mit modifizierten Membranen in Labor und Vor-Ort-Versuchen

Evaporation – Brüdenverdampfer mit dünnwandigem Polymerfilm (SMS)

Ausgangssituation

- › Absalzung von Kühlwasser zur Korrosionsvermeidung (1 – 5 % des Volumens)

Funktionsprinzip

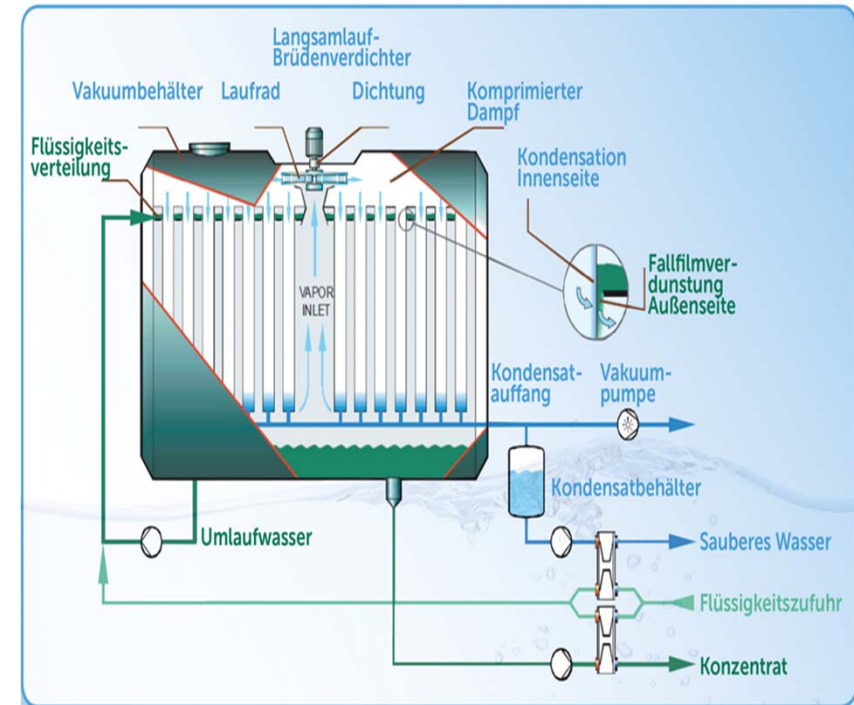
- › Verbesserter Wärmeaustausch durch dünnwandigen korrosionsbeständigen Polymerfilm anstelle von Kupfer/Stahl

Ziel

- › Aufkonzentrierung der Absalzung zur Minimierung des Wasserverlustes

Projektarbeiten

- › Vor-Ort-Versuche zur Ermittlung der Einsatzgrenzen bedingt durch potentielle organische Ablagerungen



ATP-Messung zur bedarfsgerechten Biozid-Dosierung (BFI)

Ausgangssituation

- › 2 – 5 Tage Verzug zwischen Probenahme und Analyseergebnis bei Dip Slide Tests

Funktionsprinzip

- › Messung Adenosintriphosphat (ATP)
= Energiespeicher lebender Mikroorganismen
- › Chemischer Aufschluss der Zellmembran
 - Anregung des ATP zur Biolumineszenz
 - Intensität proportional zum ATP-Gehalt

Vorteile der ATP-Messung zur Dip Slide Messung

- › Zeitnahe, einfache Messung (Messdauer ca. 5 Minuten)
- › Geringe Kosten (Gerätekosten. < 3.000 €, Test: < 2,5 €)

Projektarbeiten

- › Ermittlung von Störstoffen und Adaption
- › Applikationserstellung für zwei ausgewählte Kühlkreisläufe und betriebliche Erprobung



ATP-Messgerät mit Pen



BFI Technikumsanlage zur Kühlwasserbehandlung

BFI-Feststoffsensoren zur bedarfsgerechten Flockungs-/Flockungshilfsmitteldosierung

Ausgangssituation

- › Erschwerte Messung des Feststoffgehaltes durch:
 - › Färbungen/Trübungen, Öl, Kalkablagerungen, Behandlungskemikalien
 - › Änderung der Zusammensetzung, pH-Wert und Leitfähigkeit
 - › Teilweise minütliche Änderung der Feststoff-Konzentrationen:
10 mg/L – 10000 mg/L

Funktionsprinzip

- › Messung der Feststoffabscheidung unter Berücksichtigung eines definierten Zeitraums und Volumens
- › Laufende Patentierung

Ziel

- › Bedarfsgerechte Flockungs-/hilfsmitteldosierung zur Chemikalieneinsparung

Projektarbeiten

- › Applikationserstellung für zwei ausgewählte Kühlkreisläufe bei DEW und betriebliche Erprobung

Ausgangssituation

- › Fehlen von Modulen zur verfahrenstechnischen Beschreibung von komplexen Kühlkreisläufen

Ziel

- › Abbildung Stoff-, Wasser- und Enthalpieströme und Kopplung mit LCA und Integration Salzfrachten/Temperatur

Projektarbeiten

- › Simulation der ausgewählten Kreisläufe mittels SIMBA (Einträge/Senken für Wasserchemikalien/Salze z.B. Chloride und Härtebildner)
- › Modulentwicklung für neuartige Behandlungstechnologien
- › Abbildung von Wasserinhaltsstoffen, chemischen Gleichgewichtsreaktionen und verfahrenstechnischen Funktionen (EPANET-Solver)
- › Untersuchung von Verfahrenskombinationen sowie der Einsparung von Kühlbedarf durch eine Senkung des Wärmeeintrags
- › Ökobilanz

Inhalt

- › Ausgangssituation
- › Projektziele
- › Innovative Ansätze
- › **Arbeitspakete**

- › AP 1: **Situationserfassung** und detaillierte Zieldefinition (BFI)
- › AP 2: **Entwicklung** eines **Mess- und Regelungskonzeptes** zur Kühlwasserüberwachung und bedarfsgerechten Chemikaliendosierung (BFI)
- › AP 3: **Verfahrensentwicklung** zur **Entsalzung** im Labormaßstab (UDE)
- › AP 4: **Simulation** der **Stoffströme** der ausgewählten Kreisläufe (TUB)
- › AP 5: **Betriebliche Erprobung** und Demonstration der entwickelten Verfahren in Vor-Ort-Versuchen an zwei Kreisläufen mit direkter/indirekter Kühlung (SMS)
- › AP 6: Erstellung spezifischer **Verfahrenskonzepte** und Durchführung einer **Wirtschaftlichkeitsbetrachtung** (SMS)
- › AP 7: **Life Cycle Assessment** der Kreislaufwasserbehandlung (TUB)
- › AP 8: **Koordination**, Ergebnistransfer, Capacity Development (SMS)

Arbeits- und Zeitplan

Nr	Leiter AP	2016	2017				2018				2019		
		IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III
AP1	Situationserfassung und detaillierte Zieldefinition BFI	■	■										
AP2	Entwicklung Mess-/Regelungskonzept (Kühlwasserüberwachung/Chemikaliendosierung) BFI	■	■	■	■								
AP3	Verfahrensentwicklung zur Entsalzung im Labormaßstab UDE	■	■	■	■	■							
AP4	Simulation der Stoffströme der ausgewählten Kreisläufe TUB						■	■	■	■	■		
AP5	Betriebliche Erprobung in Vor-Ort-Versuchen an zwei Kreisläufen mit direkter/ indirekter Kühlung SMS							■	■	■	■		
AP6	Erstellung Verfahrenskonzepte /Wirtschaftlichkeitsbetrachtung SMS											■	■
AP7	Life Cycle Assessment Kreislaufwasserbehandlung TUB								■	■	■	■	■
AP8	Koordination, Ergebnistransfer, Capacity Development BFI	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Meilensteine

- M1 Definition von detaillierten Zielgrößen für die Behandlung zweier Kreisläufe
- M2 Mess- und Regelungskonzept für bedarfsgerechte Chemikaliendosierung
- M3 Art / Einbindung der Salzabtrennungsverfahren in Kreisläufe für Vor-Ort-Versuche
- M4 Daten für Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Life Cycle Assessment

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Dipl.-Ing. M. Hubrich	martin.hubrich@bfi.de	tel.: 0211-6707-343
Dr.-Ing. B. Wendler	barbara.wendler@bfi.de	tel.: 0211-6707-982
Dr.-Ing. M. Kozariszczuk	matthias.kozariszczuk@bfi.de	tel.: 0211-6707-494