

# Neue Beschichtungsmethoden zur Herstellung maßgeschneiderter säurebeständiger Umkehrosmose-Rohrmodulmembranmodule für die Aufbereitung partikelhaltiger Prozesswässer

Dr. Ralf Wolters

Ressourcentechnologie Flüssige Medien  
VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH

**RWTH**AACHEN  
UNIVERSITY

**AT**

**CUT**

**Bfi**  
Angewandte  
Spitzenforschung

VDEh-Betriebsforschungsinstitut  
GmbH

DEUTSCHE EDELSTAHLWERKE  
Providing special steel solutions



**atech**  
**innovations**  
gmbh

**DWI** Leibniz-Institut  
für Interaktive Materialien

**Bfi**  
Angewandte  
Spitzenforschung

VDEh-Betriebsforschungsinstitut  
GmbH

**Stahl**

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**PTJ**  
Projektträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich

- › **VDEh-Betriebsforschungsinstitut (BFI)**  
angewandte Forschung und Entwicklung –  
Verbundkoordinator, Membrancharakterisierung, Verfahrenskonzept
- › **CUT Membrane Technologies (CUT)**  
Entwicklung und Herstellung polymerer UO-Rohrmembranen
- › **DWI Leibniz-Institut für Interaktive Materialien (DWI)**  
Generative Nanofabrikation zur Beschichtung (anorganischer)  
Rohrmembranen
- › **Aachener Verfahrenstechnik der RWTH Aachen (AVT)**  
Chemische Verfahrenstechnik – Modellierung des Stofftransports
- › **atech innovations gmbh (Atech)**  
Entwicklung und Herstellung anorganischer UO-Rohrmembranen / Module
- › **Deutsche Edelstahlwerke GmbH (DEW) –**  
Drahtproduzent – Industrielle Erprobung des Betriebskonzepts zur  
Wasserkreislaufführung

- › Ausgangssituation
- › Projektziel
- › Innovativer Verfahrensansatz
- › Arbeitspakete

- › **Partikelhaltige Abwässer** fallen in vielen Prozessschritten der Oberflächenbehandlung bzw. bei der Herstellung von chemischen Produkten an (Kühl- und Prozesswässer).
- › Innovative Technologien zur **Wasserkreislaufführung** können eine deutliche Verringerung des Frischwasserbedarfs bewirken.
- › Entwicklung einer neuartigen **UO-Beschichtung** auf einer porösen Rohrmembran sowie die säurestabile Herstellung des Moduls ermöglichen die Aufbereitung kleiner und mittlerer Volumenströme, die bislang unbehandelt entsorgt wurden.

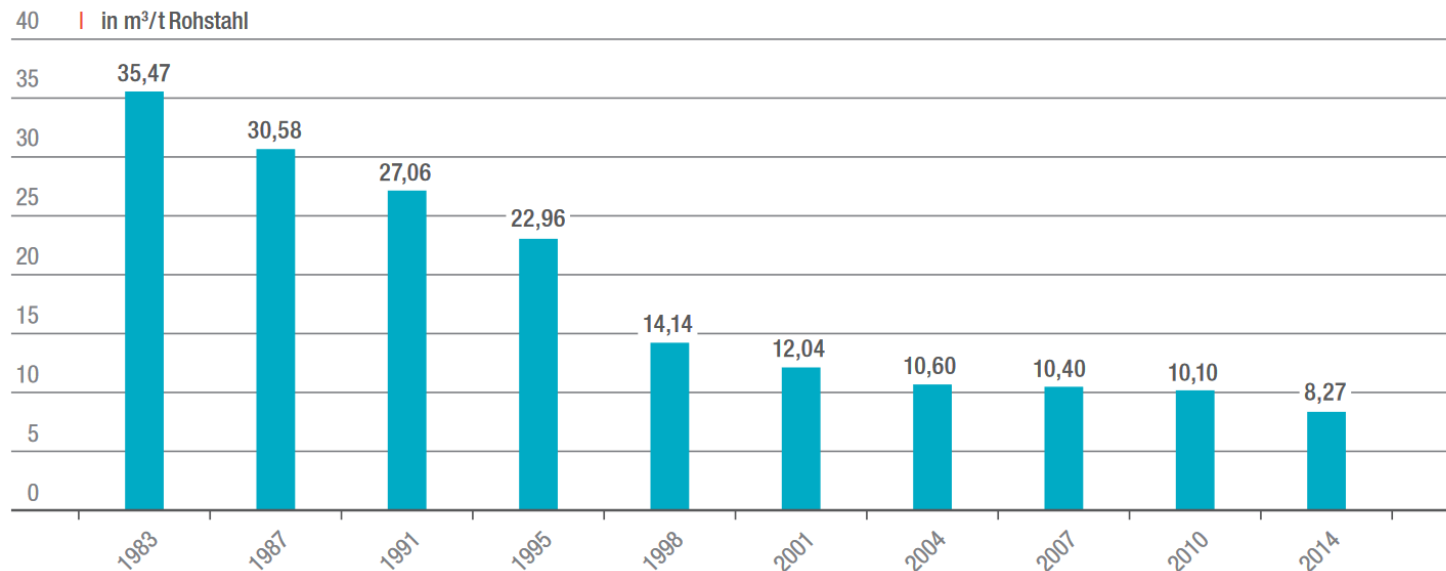
Beispiel für den **Partikeleintrag** bei der Drahtcoil-Vorbehandlung in einer **Hochdruck-Spüle**



# Ausgangssituation

- › Der Anteil des im Kreislauf gefahrenen Wassers bei der Stahlherstellung beträgt 94,5 %, d.h. die Wasserkreisläufe sind zum großen Teil geschlossen.
- › Der Wasserverbrauch beträgt noch ca. 8,3 m<sup>3</sup>/t Rohstahl (2014), bei einer Jahresproduktion von 43 Mio. t/a entspricht dies ca. 350 Mio. m<sup>3</sup>/a. Davon enthalten viele Volumenströme prozessbedingt **Feststoffpartikel**.

## Spezifischer Wassereinsatz bei der Stahlerzeugung in Deutschland



Quelle: **Stahlinstitut VDEh**, Stahl und Nachhaltigkeit, November 2015

- › Ausgangssituation
- › **Projektziel**
- › Innovativer Verfahrensansatz
- › Arbeitspakete

# Projektziel

- › Herstellung **säurebeständiger Umkehrosmose-Rohrmembranen** für die Aufbereitung partikelhaltiger Prozesswässer
- › Einsatz **neuartiger Beschichtungs- und Herstellungsverfahren** für polymere und keramische Rohrmembranen
- › Neuartige Membranen ermöglichen in einem Verfahrensschritt die Erzeugung eines **salz- und partikelfreien Wasserfiltrats**
- › **Betriebliche Erprobung** an einer Produktionslinie der Stahlindustrie



Beispiel MS-Linie bei  
DEW Specialty Steel (Hagen)

Quelle:

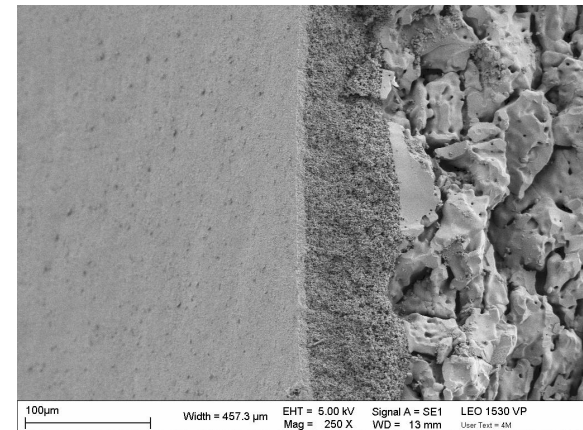
**DEUTSCHE EDELSTAHLWERKE**  
Providing special steel solutions





# Projektziel

- › Keramische und polymere Rohrmembranen werden mittels **generativer Nanofabrikation** bzw. **Grenzflächenpolymerisation** beschichtet.
- › Beschichtungsverfahren an keramischen und polymeren Trägermembranen zur Erzeugung **neuer Funktionalitäten** u.a. zur Ionenselektivität, Säurebeständigkeit und Foulingreduktion.



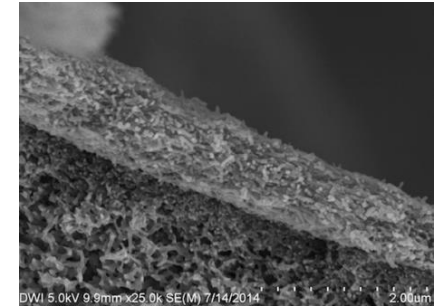
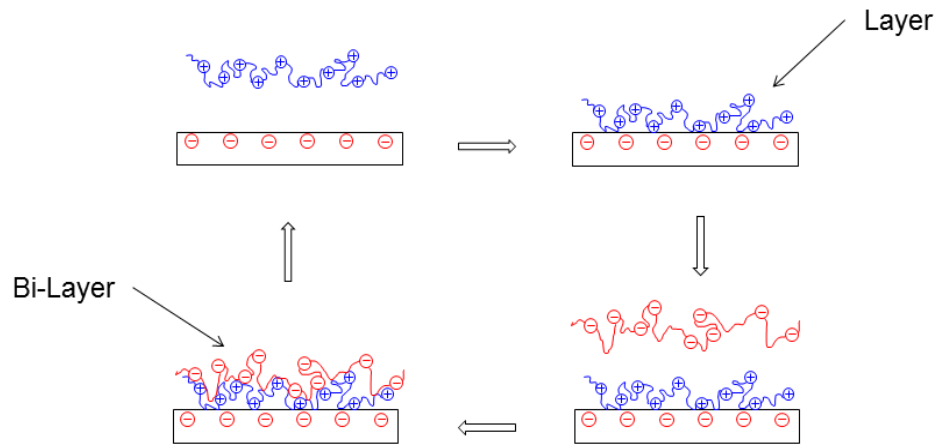
**Keramische Membranen**

Quelle: **atech**  
**innovations**  
gmbh



- › Ausgangssituation
- › Projektziel
- › **Innovativer Verfahrensansatz**
- › Arbeitspakete

## › Generative Nanofabrikation (DWI)



Quelle: **DWI** Leibniz-Institut  
für Interaktive Materialien

Kationische und anionische Polyelektrolyte werden im Permutationsmodus in (Nano-)Schichten aufgetragen:

- Eine negativ geladene Supportmembran wird mit einem positiv geladenen Polyelektrolyt beschichtet.
- Nachfolgend wird ein negativ geladenes Polyelektrolyt aufgetragen und somit ein Bi-Layer erzeugt.
- Vorgang beliebig oft wiederholbar, bis die gewünschten Membraneigenschaften erzielt werden.

## › Generative Nanofabrikation durch DWI und Atech



**Keramische Supportmembranen** als Basis der generativen Beschichtung  
des Verbundpartners

**atech**  
**innovations**  
gmbh

Auswahl von diversen Supportmaterialien ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ )  
mit Variation von Porengröße, Porosität, Rauigkeit

Variation Beschichtung: u.a. Ionenstärke Polyelektrolyt, Anzahl der Bi-Layer

- › **Prinzip der Grenzflächenpolymerisation von Rohrmembranen (CUT)**
  - Im neuartigen Lösungsansatz wird mittels Grenzflächenpolymerisation die aktive UO-Trennschicht im **Lumen einer (polymeren) UF-Rohrmembran** aufgebracht.
  - Wie bei der Flachware dient eine polymere **UF-Membran** als poröse Stützschiicht, welche hierbei zur besseren mechanischen Integrität auf einem Vlies aufgebracht ist.
  - Im Gegensatz zur Flachware wird bei der Herstellung von polymeren Rohrmembranen das Vliesmaterial **spiralförmig** aufgewickelt und mittels Ultraschall verschweißt, so dass die typische Rohrform entsteht.

## › Modultypen und Packungsdichte polymerer Membranen

Packungsdichte [ $\text{m}^2/\text{m}^3$ ]			
Hohl- faser	Kapillar	Wickel	Rohr
< 10.000	< 1.000	< 1.000	< 95

Quelle:



➔ mögliche **Feststoffbelastung** steigt mit **Membran-Durchmesser** an!

## › Industrielle Herstellung von polymeren Rohrmembranen (CUT)



Quelle:  **CUT**

**Animationsfilm** zur Herstellung  
polymerer Rohrmembranen



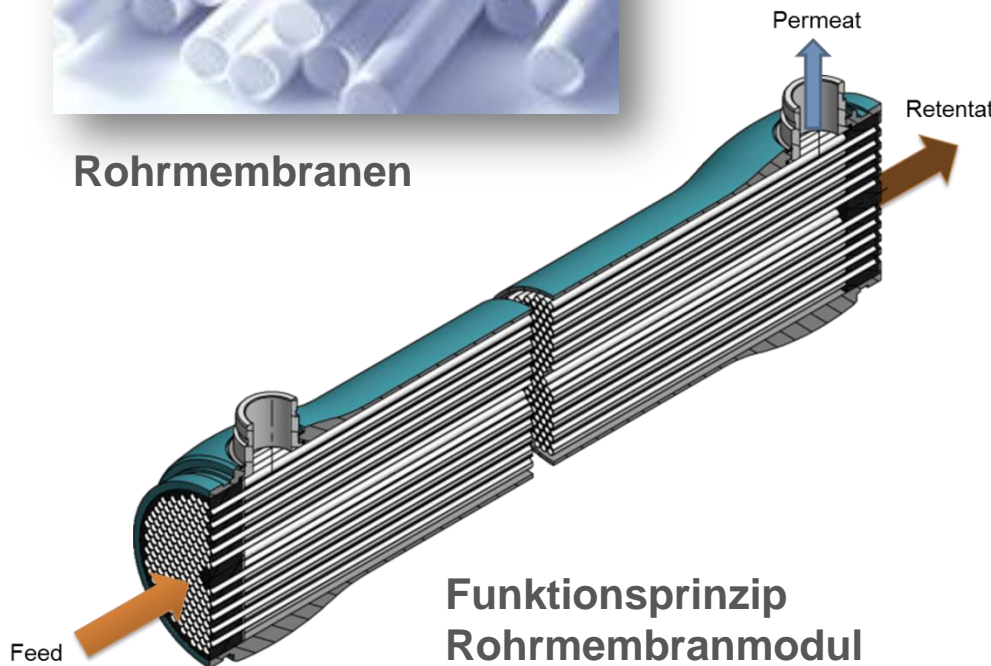
## › Herstellung und Funktion von Rohrmodulen (CUT)



Rohrmembranen



Modulfertigung mit  
polymeren Rohrmembranen



Funktionsprinzip  
Rohrmembranmodul

Quelle:





- › Ausgangssituation
- › Projektziel
- › Innovativer Verfahrensansatz
- › **Arbeitspakete**

- › **Teilvorhaben 1 (BFI)**  
Entwicklung eines neuartigen Verfahrenskonzepts zur Kreislaufführung von industriellen Prozesswässern
- › **Teilvorhaben 2 (CUT)**  
Entwicklung und Herstellung von polymeren UO-Rohrmodulen
- › **Teilvorhaben 3 (DWI)**  
Entwicklung von UO-Rohrmodulen durch generative Nanofabrikation
- › **Teilvorhaben 4 (RWTH Aachen - AVT.CVT)**  
Modellierung des Stofftransports für UO-Rohrmodulen
- › **Teilvorhaben 5 (Atech)**  
Herstellung von keramischen UO-Membranmodulen für betriebliche Anwendungen
- › **Teilvorhaben 6 (DEW)**  
Erprobung eines Betriebskonzepts zur Kreislaufführung von sauren, partikelhaltigen Prozesswässern

- › AP 1: **Situationserfassung** und detaillierte Zieldefinition (BFI)
- › AP 2: Entwicklung der säurebeständigen **UO-Rohrmembranen** (CUT, DWI)
- › AP 3: **Membranscreening** zur Bestimmung geeigneter UO-Rohrmembranen (BFI)
- › AP 4: **Modellierung** des Stoffübergangs (AVT)
- › AP 5: **Industrielle Modulfertigung** (CUT, DWI / Atech)
- › AP 6: **Technikums- und Betriebsversuche** (BFI)
- › AP 7: Entwicklung eines **Betriebskonzepts** für partikelhaltige Prozesswässer (BFI)
- › AP 8: **Koordination**, Dokumentation, Ergebnistransfer (BFI)

- › AP 1: **Situationserfassung** und detaillierte Zieldefinition
- › AP 2: Entwicklung der säurebeständigen **UO-Rohrmembranen**



- › AP 6: **Industrielle Modulfertigung**



- › AP 8: **Koordination, Dokumentation, Ergebnistransfer**

## Entwicklung eines Prozessmodelles

- › Entwicklung Prozessmodell für neuartige UO-Beschichtung (LbL) zur Beschreibung des Stoffübergangs. Implementierung des Modells in einer Prozesssimulationssoftware.

## Strömungssimulation des Umkehrosmoseprozesses

- › Untersuchungen zum Strömungsverhalten in der Rohrmembran: Hydrodynamik mit Einfluss auf potentielle Belagbildung, die zu Membranverblockungen führen kann (Fouling), auf die Konzentrationspolarisation und auf das Scaling. Entwicklung einer CFD Simulation zur Bestimmung geeigneter Betriebsparametern für den Betrieb der Module.

## Optimierung des Umkehrosmoseprozesses

- › Technische und wirtschaftliche Prozessoptimierung unter Berücksichtigung von Prozessparametern und Membraneigenschaften für industriell einsetzbare Prozessmodule.

## › Umkehrosmose-Membrananlagen für Labor und Technikum (BFI)



Technikumsanlage

Membrancharakterisierung  
mit HD-Laboranlage

- 4 Module, 2 Stränge
- Max. 62 bar, 60 °C, pH > 1
- Druckrohre aktuell für Wickelmodule geeignet
- Umbau der Anlage für Rohrmodule vorgesehen (aktuell Wickelmodule)
- Vollautomatisierte Membrananlage mit Siemens-Steuerung sowie Messperipherie (p, T, Volumenströme, pH)

# Betriebliche Erprobung des Verfahrens (AP 7 / AP 8)

- › **Industrielle Anwendung an einer Beizlinie (DEW)**
  - Saure Spülwässer u.a. beim Beizprozess von Stählen mit Säuren.
  - Behandlung verzunderter Stahldrähte in einer mit Frischwasser betriebenen **Hochdruckspüle**.
  - Eintrag von Feinzunder – Spülwasser nimmt dabei Partikel und Restsäure aus der vorangegangenen chemischen Beizstufe auf. **Partikelfracht** liegt nach dem Spülvorgang zwischen 100 und 500 mg/l, pH-Wert > 2.
  - Partikelhaltiges (Spül-)abwasser kann nicht erneut in der Hochdruckspüle verwendet werden, weil die eingetragenen Partikel Düsen verstopfen.
  - **Kreislaufführung** durch Abtrennung der Partikel und Entwicklung eines Betriebskonzepts.





## › Innovation des Verbundvorhabens

- Entwicklung neuartiger UO-Beschichtungsverfahren für Rohrmembranen: **Grenzflächenpolymerisation** und **generative Nanofabrikation**
- Geeignet für saure Spülwässer, die u.a. beim Beizprozess von Stählen mit Säuren oder auch in der chemischen Industrie anfallen.  
**Fokus: Volumenströme < 10 m<sup>3</sup>/h**
- **Neuartiges Verfahrenskonzept** zur Kreislaufführung von industriellen Prozess- und Spülwässern durch Einsatz von Rohrmembranen mit einer UO-Trennschicht.  
**Ziel:** Abtrennung der Partikel und Erzeugung eines ionenfreien Permeats.
- **Betriebliche Erprobung** erfolgt beispielhaft an einer Produktionslinie der Stahlindustrie.

## Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Dr. Ralf Wolters  
-> [ralf.wolters@bfi.de](mailto:ralf.wolters@bfi.de)

Dr. Sven Behnke

M. Sc. Laura Keller

Prof. Dr. Matthias Wessling

Dr. Peter Mund

Hr. Frederik Kolinke



VDEh-Betriebsforschungsinstitut  
GmbH



**DWI** Leibniz-Institut  
für Interaktive Materialien



**atech**  
**innovations**  
gmbh

DEUTSCHE EDELSTAHLWERKE  
Providing special steel solutions

