



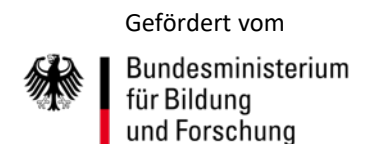
Null-Emission Rohwasserproduktion in der Automobilindustrie

01.02.2021 – 31.10.2024 (www.projekt-nera.de)

Abschlussveranstaltung BMBF-Fördermaßnahme WavE II – Frankfurt 09.10.2024

Eine Initiative des Bundesministeriums
für Bildung und Forschung
WavE
Wassertechnologien: Wiederverwendung

FONA
Forschung für Nachhaltigkeit



Überblick

Stand der Technik -> Projektziel

Entwicklungsschwerpunkte

Ergebnisse

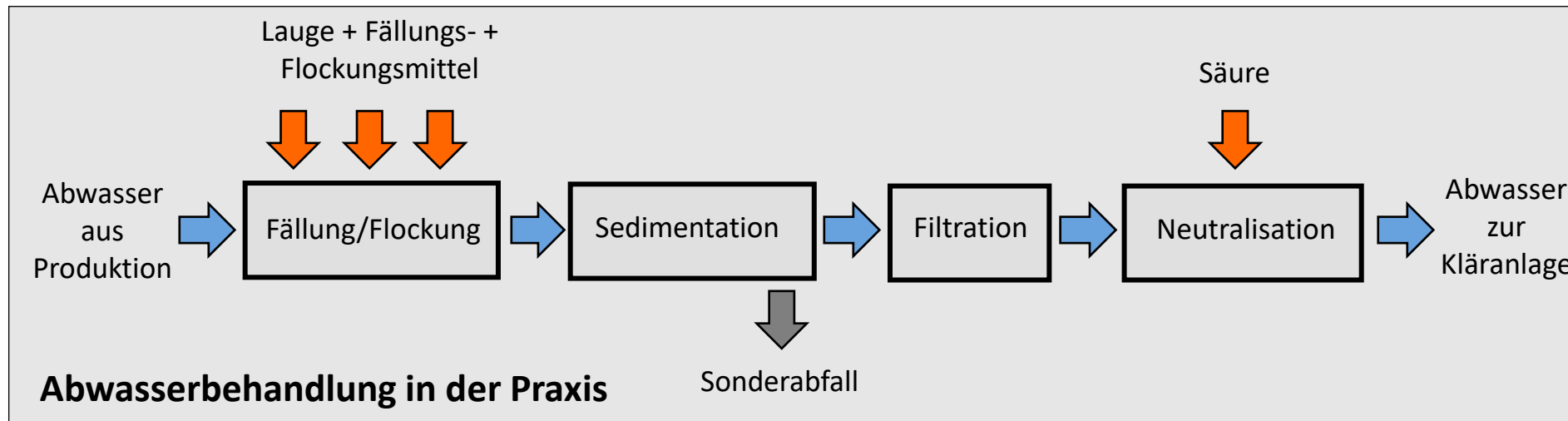
Zusammenfassung / Ausblick

Eine Initiative des Bundesministeriums
für Bildung und Forschung
WavE
Wassertechnologien: Wiederverwendung

FONA
Forschung für Nachhaltigkeit

Gefördert vom
 Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

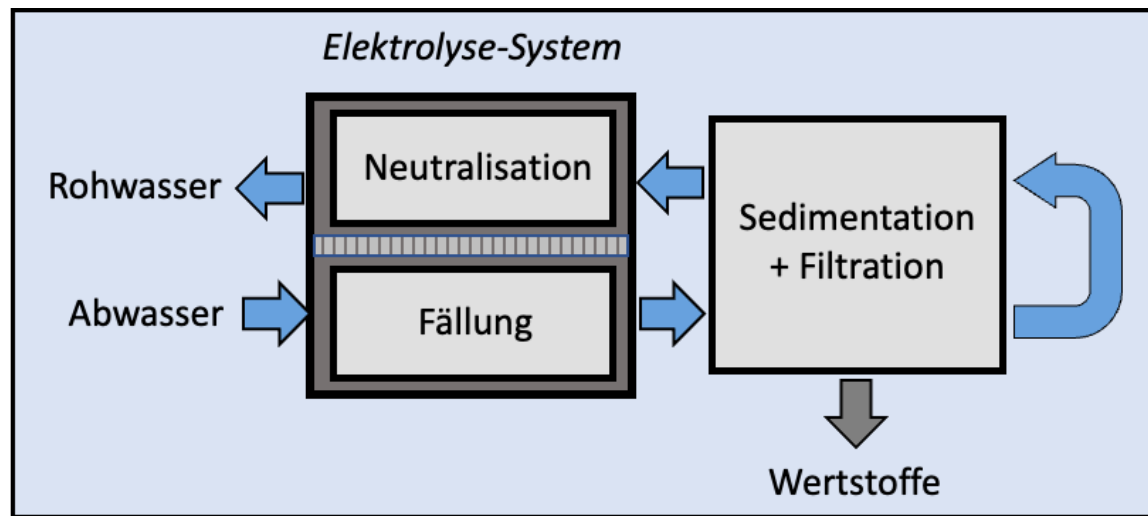
Stand der Technik (Beispielstandorte Volkswagen AG)



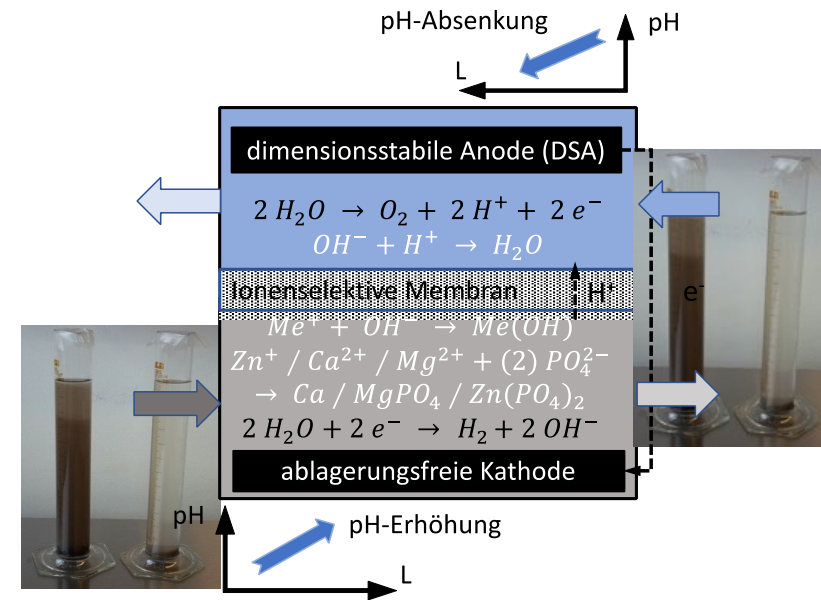
	Mengen - Mg/Jahr	Inhaltstoffe	Konz. - mg/l
Abwasser	30.000 - 150.000	Schwermetalle (Mn, Ni, Zn, Cr)	15 - 55
Lauge	4 - 20	Phosphat-P	40 - 60
Fällungs-/Flockungsmittel	10 - 50	CSB	150 - 250
Säure	10 - 50	Sulfat	200 - 800
Schlammanfall	30 - 150		

Projektziel und -ansatz

Kein Bedarf an Lauge, Säure, Fällungs- und Flockungsmittel, kein Sonderabfall, hohes Wasserrückgewinnungspotenzial



Verfahrenskonzept



2-Kammer Elektrolyseur

Entwicklungs- / Untersuchungsschwerpunkte

Entwicklungsschwerpunkte	Herausforderungen
1. Kathodenmaterial	Anhaftungsproblematik
2. Reaktorkonzept	Betriebssicherheit, scale-up
3. Verfahrenstechnik, Betrieb	Kopplungseffekte in Elektrolyse
4. Prototyp Elektrolyseur	Konstruktion/Montage
Untersuchungsschwerpunkte	Ansatz
5. Reinigungsziel	Elektrolytische Fällung
6. Wasserrückgewinnungspotenzial	Membranverfahren
7. Wertstoffrückgewinnung (P, SM)	2-stufige Elektrolyse
8. Ressourcenverbrauch im Betrieb	Proof-of-Concept Prozesskette

Kathodenmaterial

Kohlenstoff(Graphit)-Polymer-Compounds


Kathodenmaterial	Oberflächenrauigkeit (μm)	Widerstand ($\text{m}\Omega \text{ cm}$)	Standardabweichung der Widerstandsmessung ($\text{m}\Omega \text{ cm}$)
Lapren IM	27,52	30,93	6,16
Lapren IM sandgestrahlt	48,57	28,67	2,12
Polypropylen CM	21,07	7,86	0,26
Polypropylen CM übergefräst	13,13	5,06	1,80



- ➔
- Keine stoffliche Reaktion an der Elektrodenoberfläche
 - Minimale Ablagerungen, alle leicht abstreifbar
 - Gute Leitfähigkeit

Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
Wave
 Wassertechnologien: Wiederverwendung

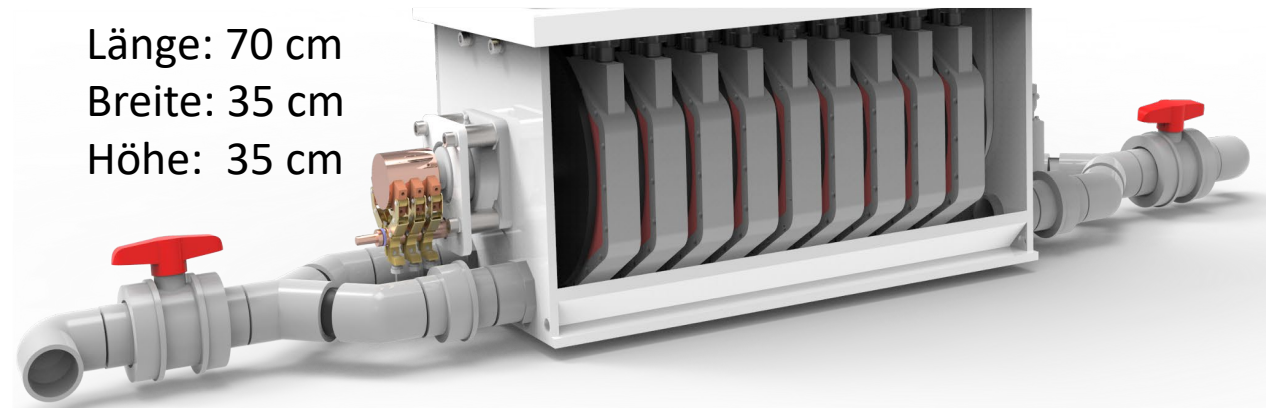
FONA
 Forschung für Nachhaltigkeit

Gefördert vom
 Bundesministerium für Bildung und Forschung

Reaktorkonzept - Prototyp



Proof-of-Concept (PoC)
im technischen Maßstab



Länge: 70 cm
Breite: 35 cm
Höhe: 35 cm

Prototyp
im technischen Maßstab

Eine Initiative des Bundesministeriums
für Bildung und Forschung
Wave
Wassertechnologien: Wiederverwendung

FONA
Forschung für Nachhaltigkeit

Gefördert vom

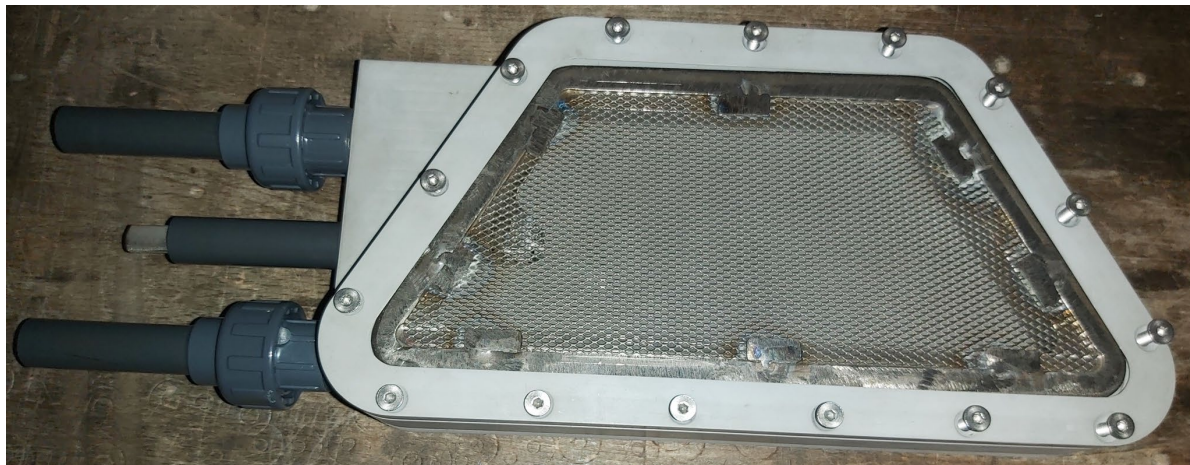
 Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

- 
- Fällung mit drehbaren Kathoden (Prototyp 9 Kathoden, PoC 1 Kathode)
 - Anodenkammern zwischen Kathoden

Prototyp „Membran-Anode-Einheit“


Anodenmaterial

- Kommerzielle DSA



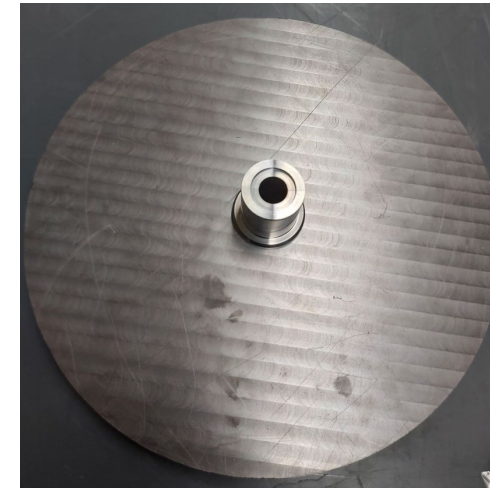
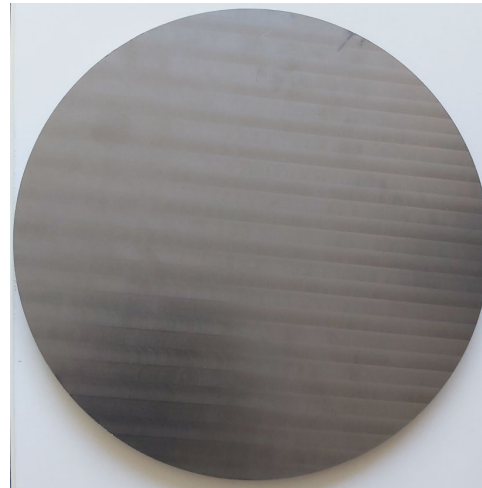
Membranmaterial

- kommerzielle Kationenaustauschermembran z.B. Nafion, Fumatech-Produkt

- 
- Konstruktion Prototypen für Membran-Anoden-Einheit
 - Entwicklung Herstellprozess
 - 22 Einheiten für je 1 Prototypen gefertigt

Prototyp „drehende Kathode“

Kathodenmaterial Kohlenstoff(Graphit)-Polymer-Compound mit Kupfereinleger zur besseren Leitfähigkeit



Durchmesser: 280 mm



- Konstruktion und Entwicklung Herstellprozess
- Je 10 Kathoden für je 1 Prototypen gefertigt

Schwermetallelimination

ca. 500 h Betrieb – kontinuierlich 50 - 100 l/h

Auszug Analyseprotokoll

Beginn				Ende			
Mn	Ni	Zn	P	Mn	Ni	Zn	P
				0,1	0,24	0	5,08
8	2,4	4,2	0,1	0,1	0,23	0,05	1,75
2	1,3	1,4	50,6	0,1	0,69	0,27	38,71
2	1,3	1,4	50,6	1,1	1,48	0,33	94,54
2	2,5	1,3	40	1,1	1,48	0,33	94,54
2	2,5	1,3	40	0,2	0,48	0,02	24,44
8,3	6,8	0,7	54	0,1	0,97	0,05	29,34
8,3	6,8	0,7	54	0	0,55	0,03	23,35
3,1	2,4	0,5	53	0,1	0,78	0,01	58,11
3,1	2,4	0,5	53	0,1	0,71	0	53,28
0,3	0,2	0,11	23,4	0	0,31	0,1	9,03
0,3	0,2	0,11	23,4	0	0,23	0,02	9,6
4	2,4	2,4	27,1	0	0,66	0,07	8,61
4	2,4	2,4	27,1	0	0,6	0,06	8,55
1	0,6	<1	55,9	0,1	0,45	0	41,38
1	0,6	<1	55,9	0,1	0,34	0	49,92
0,9	0,54	0,35	35,2	0,1	0,44	0,03	31,93



- Schwermetallelimination bis unterhalb 0,5 mg/L einstellbar
- pH-Wert maßgeblich

Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung



WavE
Wassertechnologien: Wiederverwendung



FONA
Forschung für Nachhaltigkeit

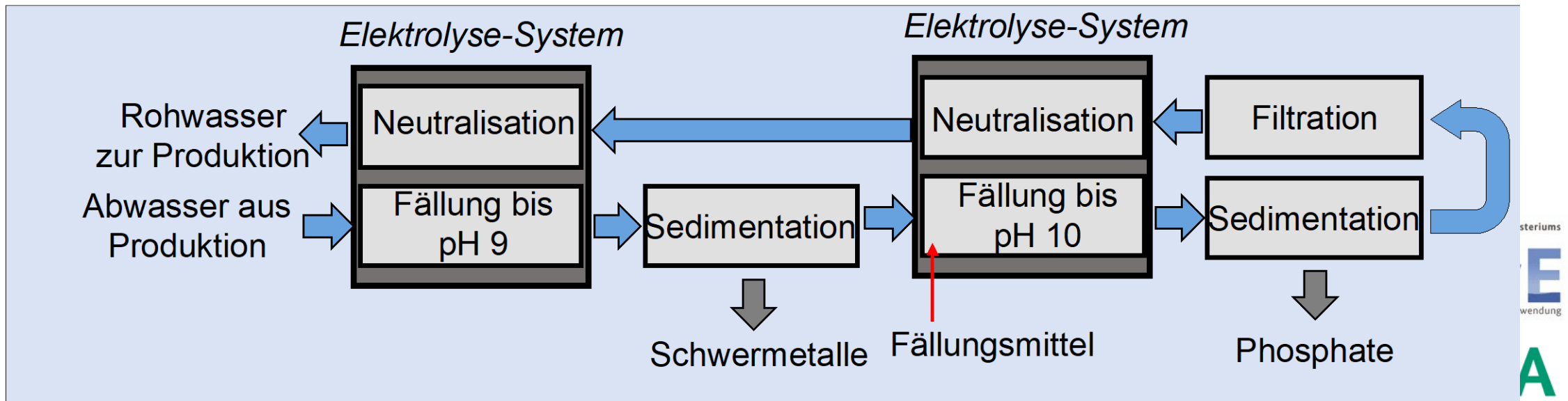
Gefördert vom



Bundesministerium für Bildung und Forschung

Rückgewinnung von Schwermetallen einerseits und Phosphor andererseits

Entwicklungsansatz: Zweistufige Elektrolyse



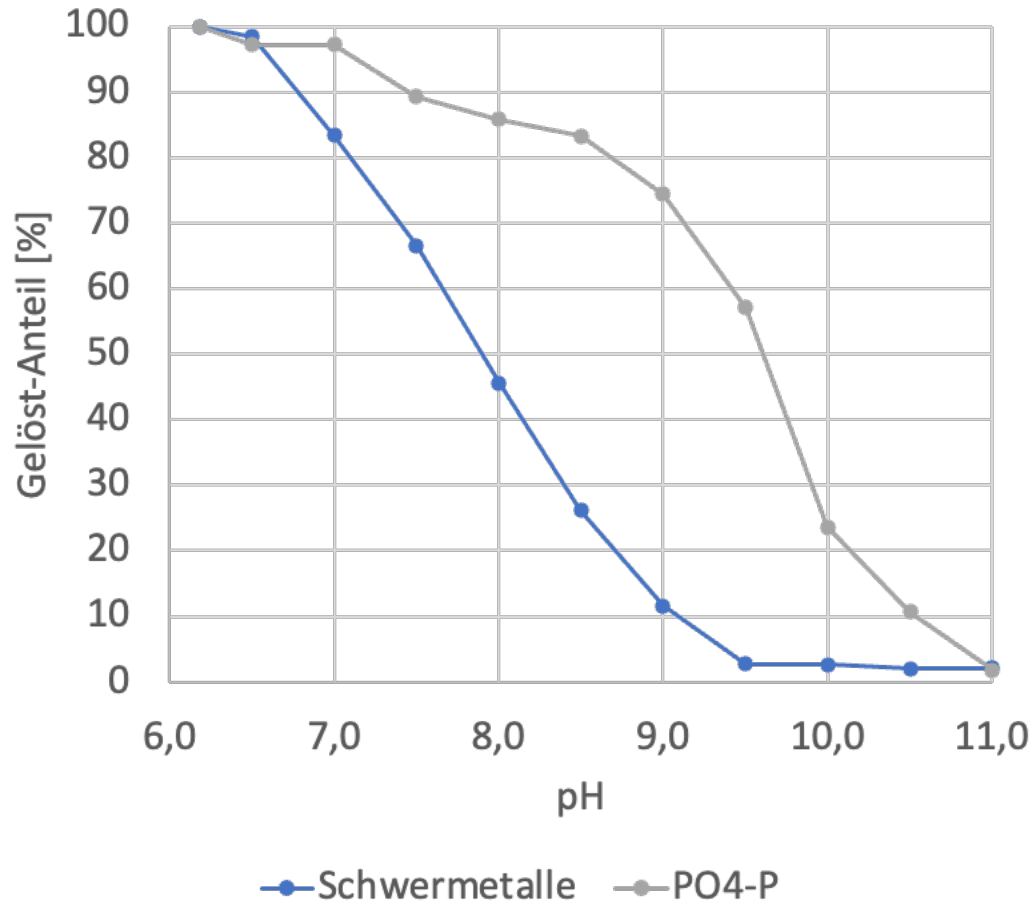
Einflussgrößen: pH-Wert, Stromdichte, Spaltabstand zwischen Elektroden, Strömungsgeschwindigkeit, Anolytzusammensetzung

Forschung für Nachhaltigkeit



Gefördert vom
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Optimaler pH-Wert - Stufe 1

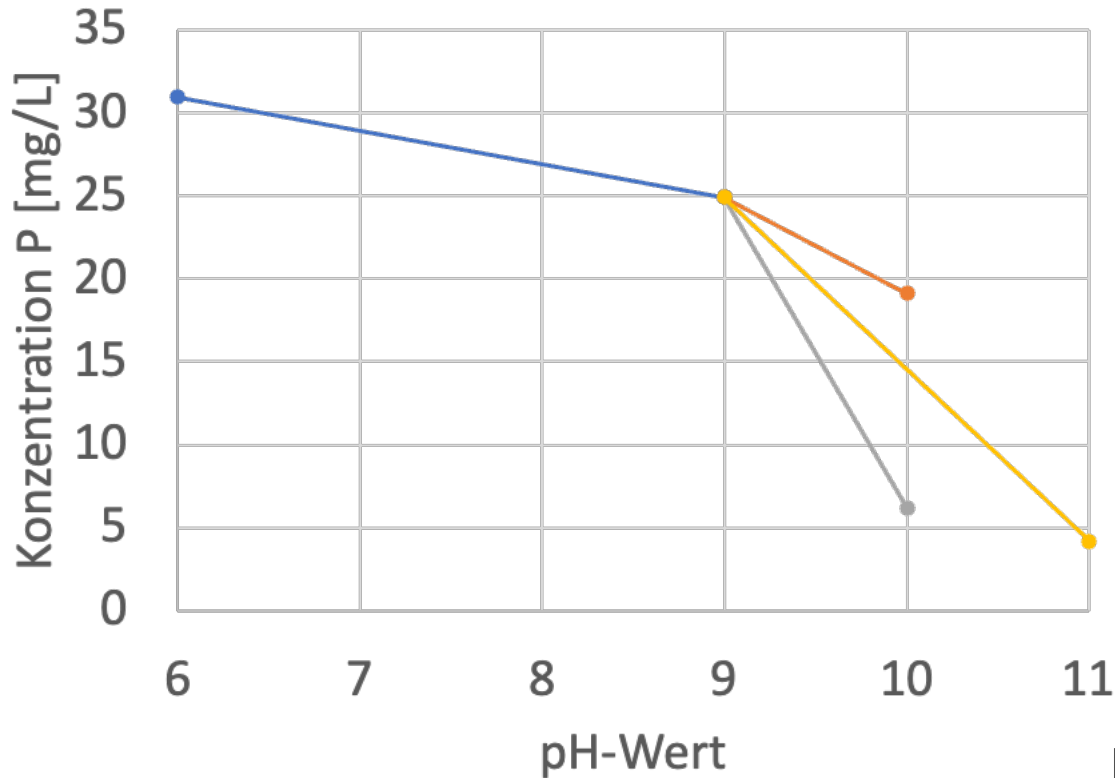


$$\text{Gelöst-Anteil } G_i [\%] = 100 - \left(\frac{m_{i,\text{ausgefällt}}}{m_{i,o \text{ gelöst}}} \right)$$

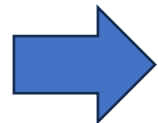
Ergebnisse der Behandlung

	$P_{\text{gelöst}}$ [mg]	$P_{\text{gefällt}}$ [mg]	G_P [%]	$SM_{\text{gelöst}}$ [mg]	$SM_{\text{gefällt}}$ [mg]	G_{SM} [%]
pH 6,2	126,3	0	100	35,22	0	100
pH 8	108,35	17,95	86	16,06	19,16	46
pH 8,5	105,14	21,16	83	9,20	26,02	26
pH 9	93,98	32,32	74	4,085	31,135	12
pH 9,5	72,08	54,22	57	0,966	34,254	3

P-Fällung - Stufe 2



—●— Schwermetallfällung —●— MgCl₂
—●— RO-Konzentrat —●— CaO



Calcium [mg/L]	Magnesium [mg/L]	Silizium [mg/L]
70,8	9,35	8,70

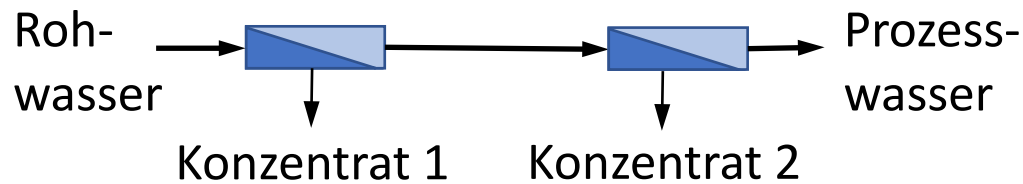
- Mg:P 1,5:1
- Ca:P 2:1
- 588 mL RO-Konzentrat : 912 mL Abwasser ((Ca+Mg):P 1,5:1)

RO-Konzentrat am besten geeignet

- keine Fällungschemikalien
- keine unnötige pH-Wertanhebung
- Restströme aus Werk nutzbar


Wasser-Rückgewinnungspotenzial

2-stufige RO



	Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	CSB [mg/L]
Rohwasser	362	250
Konzentrat 1	1585	374
Konzentrat 2	19	45,3
Prozesswasser	2,7	<20



- 
- Rückgewinnungspotenzial 92 %
 - Qualität vergleichbar mit Permeat aus Talsperrenwasser-Aufbereitung

Eine Initiative des Bundesministeriums
für Bildung und Forschung




WavE
Wassertechnologien: Wiederverwendung



FONA
Forschung für Nachhaltigkeit

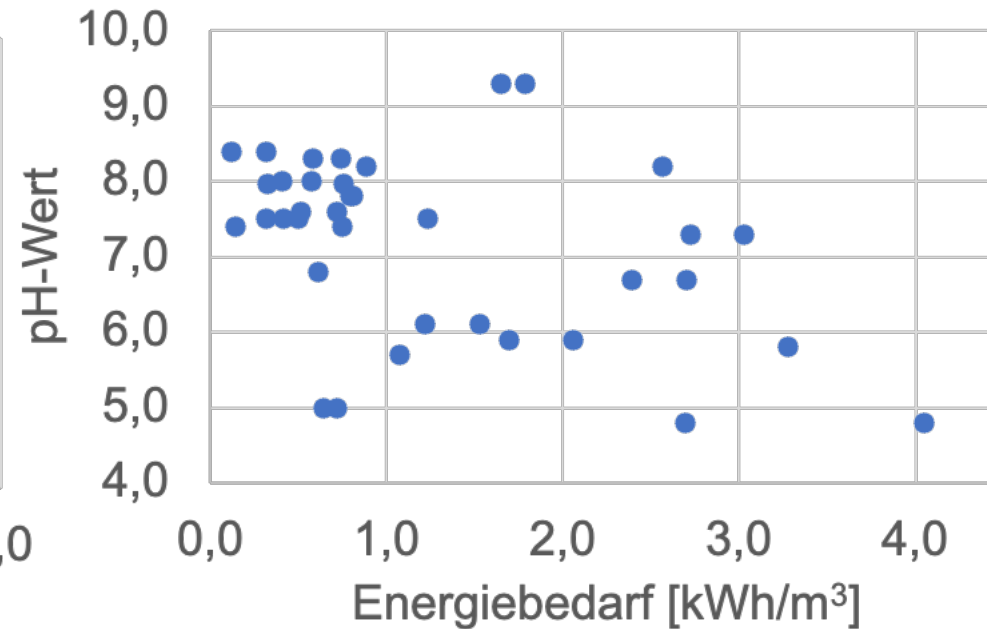
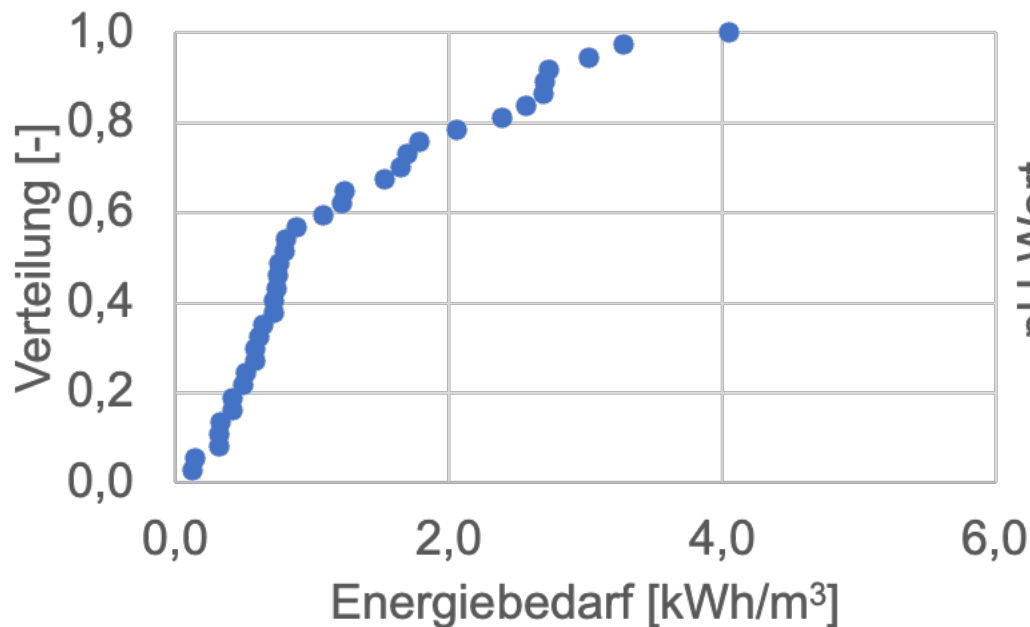
Gefördert vom



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Ressourcenverbrauch


ca. 500 h Betrieb – kontinuierlich 50 - 100 l/h



- Keine Wasseraufbereitungs-Chemikalien genutzt
- Elektrischer Strombedarf von 0,1 bis 4 kWh/m³, im Mittel 1 kWh/m³
- Wirtschaftlich interessantes Potenzial

Eine Initiative des Bundesministeriums
für Bildung und Forschung
WavE
Wassertechnologien: Wiederverwendung

FONA
Forschung für Nachhaltigkeit

Gefördert vom
 Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Zusammenfassung

- Ressourceneffiziente Abwasserbehandlung nachgewiesen (Proof-of-Concept)
- Hohes Wasser-Rückgewinnungspotenzial für aufbereitetes Abwasser (>90 %)
- Materialien und Fertigungsprozesse für Komponenten wurden mitentwickelt
- Bestätigung durch Demo-Anlage steht noch aus (Überraschungen und Verzögerungen bei Qualität bzw. Fertigung/Lieferung von Komponenten)

Ausblick

- Wirtschaftlichkeitspotenzial mit Pilotanlage bestätigen
- Wasserrückgewinnungspotenzial im Pilotbetrieb ermitteln
- Anwendungen erschließen, u.a. auch RO-Konzentratenthärtung

Eine Initiative des Bundesministeriums
für Bildung und Forschung



WavE
Wassertechnologien: Wiederverwendung



FONA
Forschung für Nachhaltigkeit

Gefördert vom



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Vielen Dank

