

## **Herstellung von VE-Wasser – Vergleich von ausgewählten Verfahren zur Wasseraufbereitung**

Die Entfernung von Wasserinhaltsstoffen kann zur Vermeidung von Prozeßstörungen erforderlich sein. Für die Herstellung von VE-Wasser können verschiedene Wasseraufbereitungstechnologien genutzt werden. In Abhängigkeit der notwendigen Qualität des aufbereiteten Wassers können unterschiedliche Verfahren und/oder Verfahrenskombinationen erforderlich sein. Dadurch lassen sich auch Einsparungen bei den Betriebskosten erreichen.

### **Verfahren zur Wasseraufbereitung**

Die Investitionskosten für die Umsetzung der Prozeß- und Anlagentechnik der Wasseraufbereitung sind stark vom anlagentechnischen Aufwand abhängig. Einfache Anlagen zur Wasseraufbereitung verursachen einen geringen Investitionsaufwand, haben in der Regel jedoch höhere (spezifische) Betriebskosten. Ihr Einsatz ist vor allem bei kleinem VE-Wasserbedarf wirtschaftlich sinnvoll. Ein höherer Bedarf an VE-Wasser kann eine aufwendigere Prozeßtechnik zur Wasseraufbereitung wirtschaftlich sinnvoll erscheinen lassen, da durch diese Einsparpotentiale genutzt werden können.

### **Umkehrosmose**

Die Umkehrosmose selbst arbeitet als Membranverfahren ohne Chemikalieneinsatz. Jedoch müssen zur Vermeidung einer Verblockung der Membranen die Härtebildner durch eine vorgeschaltete Enthärtung entfernt oder durch Komplexbildung maskiert werden (Härtestabilisierung). Beim Einsatz der Härtestabilisierung muß das Komplexbildner-haltige Konzentrat der Umkehrosmose separat geführt und abgeleitet werden, um Prozeßstörungen bei der abwassertechnischen Behandlung der schwermetallhaltigen Teilstrome zu vermeiden.

Der recht hohe Abwasseranfall bei einer Umkehrosmose kann durch eine mehrstufige Anlagentechnik vermindert werden, wodurch sich jedoch der erforderliche Investitionsaufwand deutlich erhöht.

Zur Erzielung besserer VE-Wasser Qualitäten erfolgt bei der Umkehrosmose häufig eine Nachreinigung des Permeates durch Ionenaustauschverfahren. Die Verminderung der Permeat-Ausbeute zur Verbesserung der Permeat-Qualität wäre technisch möglich, wird aber nicht als zielführend angesehen.

### **Ionenaustauschverfahren**

Beim Einsatz von Ionenaustauscherharzen ist der Einsatz starksaurer Kationenaustauscherharze (SAC) mit nachgeschalteten starkbasischen Anionenaustauscherharzen (SBA) die anlagentechnisch einfachste Lösung. Diese Ionenaustauscherharze sind in der Lage, die

Abkürzungen für Ionenaustauscherharze:

**SAC** starksaurer **Kationenaustauscher**

**WAC** schwachsaurer **Kationenaustauscher** (Carbonsäureharz)

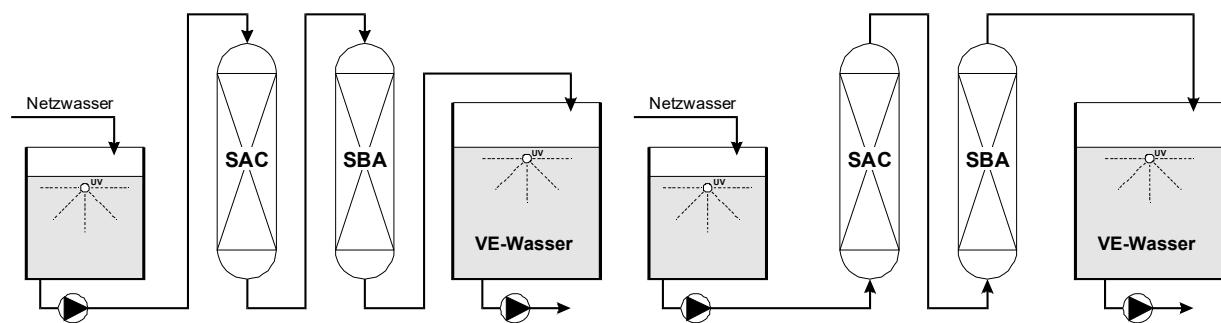
**SBA** starkbasischer **Anionenaustauscher**

**WBA** schwachbasischer **Anionenaustauscher**

relevanten Wasserinhaltsstoffe zu entfernen, haben jedoch wegen ihres Wirkmechanismus (über Gleichgewichte) einen hohen Regeneriermittelbedarf. Durch den Übergang von Gleichstrom- auf Gegenstromtechnik kann eine Verminderung des Chemikalieneinsatzes bei der Regeneration erreicht werden, wobei jedoch beim Aufstrombetrieb zum Erhalt der Beladungsstruktur eine ständige Durchströmung des Harzbettes erforderlich ist.

Schwachbasische Anionenaustauscher (WBA) und schwachsaure Kationenaustauscher (WAC) können nur einen Teil der Wasserinhaltsstoffe entfernen, haben aber einen deutlich geringeren Regeneriermittelbedarf, da bei der Regeneration dieser Harze im wesentlichen Säure-/Base-Reaktionen wirken. Durch einen kombinierten Einsatz dieser Ionenaustauschverfahren bei der Kationenaustauscher- und/oder Anionenaustauscherstufe erhöht sich zwar der anlagentechnische Aufwand, es lassen sich aber über eine Verbundregeneration Einsparpotentiale bei den Einsatzstoffen realisieren, denn schwachsaure Kationenaustauscherharze können den Überschuß der Regeneriersäure des SAC nutzen. Analoges gilt für die Anionenaustauscherharze.

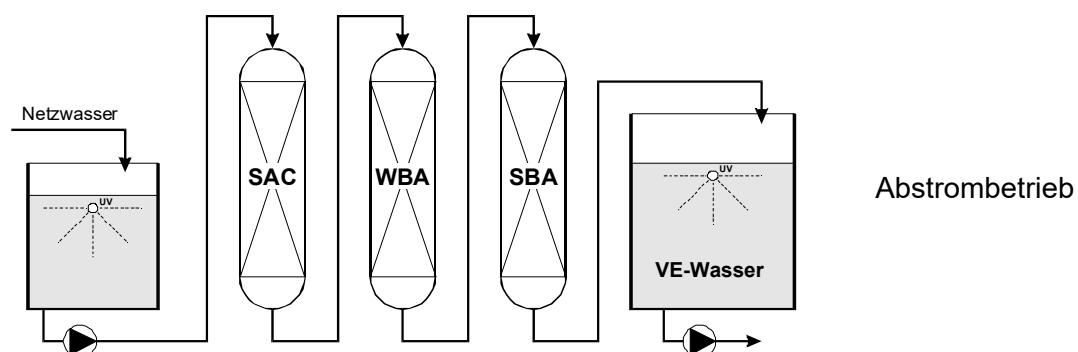
Nachfolgend sind einige Varianten der Anlagentechnik schematisch dargestellt, wobei aus Gründen der Übersichtlichkeit auf die Darstellung der Regeneration und einer Reihen-/Wechselschaltung verzichtet wurde.

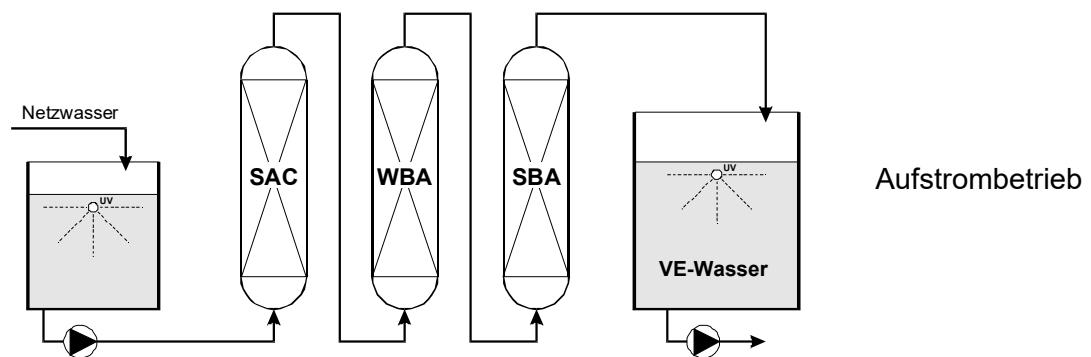


**Variante B: SAC → SBA (Abstrombetrieb)**

**Variante B: SAC → SBA (Aufstrombetrieb)**

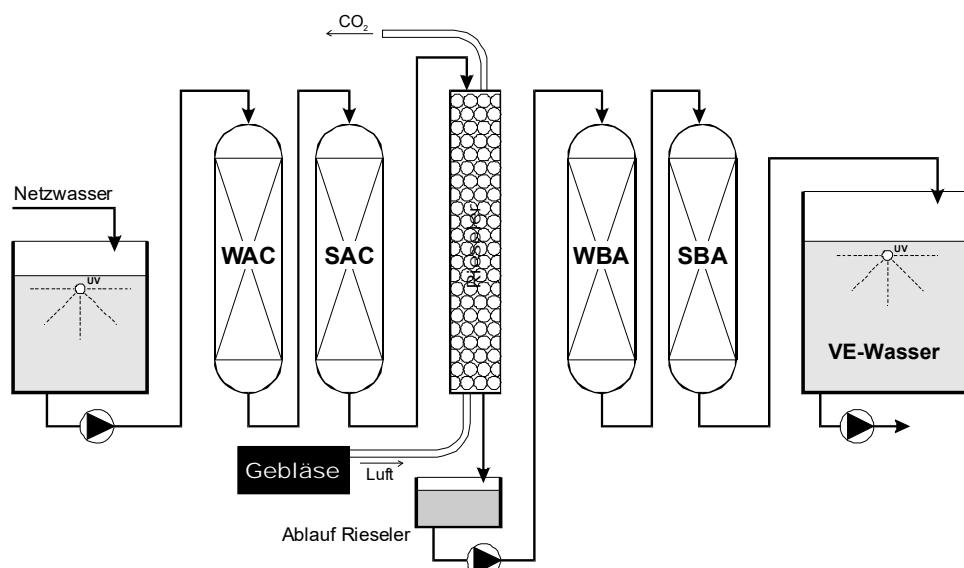
Bei den folgenden Varianten ist jeweils nur die VE-Wasserherstellung schematisch dargestellt. Die Regeneration SAC und WAC und/oder SBA und WBA erfolgt im Verbund und ist in der schematischen Darstellung aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt. Bei der Verbundregeneration erfolgt die Regeneriermittel- und Waschwasseraufgabe auf den SBA resp. SAC. Der WBA wird bei der Regeneration dem SBA nachgeschaltet. Analog wird bei einer Verbundregeneration der Kationenaustauscher verfahren. Dort wird bei der Regeneration der WAC dem SAC nachgeschaltet.





**Variante C** (SAC → WBA → SBA); Verbundregeneration von WBA und SBA (nicht dargestellt)

Bei der Entfernung von Erdalkali-Ionen durch WAC und SAC in der H-Form wird Hydrogen-carbonat protoniert und in CO<sub>2</sub> umgesetzt. Durch die Integration eines Rieselturm-Entgasers (Rieseler) kann dieses CO<sub>2</sub> durch Luft (Chemikalien-frei) mit hohem Wirkungsgrad aus dem Aufgabemedium entfernt werden. Vorteilhaft wirkt dabei der Umstand, daß der WAC den Regeneriermittelüberschuß des SAC nutzen kann. Dadurch erfolgt durch die Entfernung der Carbonathärte eine Teilentsalzung mit geringem Chemieeinsatz.



**Variante D** (WAC → SAC → WBA → SBA) mit einem Rieseler zur CO<sub>2</sub>-Abtrennung, Verbundregeneration von WBA und SBA sowie WAC und SAC (nicht dargestellt)

### Abschätzung von Aufwendungen für die Entsalzung

Die Zusammensetzung von Grundwasser ist stark abhängig von den geologischen Gegebenheiten im Förderbereich, weshalb bei der Wasserzusammensetzung starke regionale Schwankungen resultieren können. Die Abschätzung von Einsparpotentialen bei der Wasseraufbereitung muß stets auf Grundlage der Analyse der Wasserinhaltsstoffe separat durchgeführt werden und ist recht aufwendig, da auch anlagenspezifische Parameter berücksichtigt werden müssen.

Durch eine Kombination von Verfahrensschritten kann bei Ionenaustauschverfahren der Bedarf an Regenerierchemikalien sowie der Eigenwasserbedarf vermindert werden. Die Ein-

sparpotentiale lassen sich über Stoffstrombetrachtungen ermitteln, wobei für die Abschätzung der Stoffströme Herstellerangaben und/oder Betriebserfahrungen genutzt werden müssen. Die weitgehende Nutzung der nutzbaren Volumenkapazität (NVK) von Ionenaustauscherharzen kann schaltungstechnische Maßnahmen (z.B. Reihen-/ Wechselschaltung) erforderlich machen.

Am Beispiel des Trinkwassers von Regensburg, einem salzreichen Rohwasser mit hohem Anteil an Carbonathärte (siehe Analyse der Regensburger Stadtwerke), sollen für einen angesetzten Volumenstrom von 10.000 m<sup>3</sup>/a für verschiedene Aufbereitungsverfahren Aufwendungen zur Herstellung von VE-Wasser (Leitwert < 10 µS/cm) abgeschätzt werden<sup>1</sup>. Auf Basis dieser Verbrauchswerte lassen sich Einsparmöglichkeiten ermitteln, die sich mit unterschiedlichen Wasseraufbereitungstechnologien erschließen lassen.

Wasseranalyse Rohwasser (Quelle: Stadtwerke Regensburg)							
Kationen				Anionen			
K <sup>+</sup>	2,4 mg/l	0,06 mval/l	Cl <sup>-</sup>	38 mg/l	1,07 mval/l		
Na <sup>+</sup>	14 mg/l	0,61 mval/l	F <sup>-</sup>	0,1 mg/l	0,01 mval/l		
Ca <sup>2+</sup>	92 mg/l	4,59 mval/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	28 mg/l	0,45 mval/l		
Mg <sup>2+</sup>	18 mg/l	1,48 mval/l	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/l	0,00 mval/l		
			SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	34 mg/l	0,71 mval/l		
			HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	275,0 mg/l	4,51 mval/l		
	6,74 mval/l				6,74 mval/l		
Salzgehalt	6,74 mval/l						
Gesamthärte	6,07 mval/l			17,01 °dH			
Carbonathärte	4,51 mval/l			12,62 °dH			
Leitwert Rohwasser	630 µS/cm		pH-Wert:	7,4			

Für folgende Varianten

- A** Umkehrosmose (1-stufig mit IAT-Nachreinigung/ 2-stufig ohne Nachreinigung)
- B** Ionenaustausch SAC > SBA (Gleichstrom/ Gegenstrom)
- C** Ionenaustausch SAC > WBA > SBA (Gleichstrom/ Gegenstrom)
- D** Ionenaustausch WAC > SAC > Rieseler > WBA > SBA (Gleichstrom/ Gegenstrom)

wurden über Stoffstrombilanzen die Aufwendungen abgeschätzt, wofür Firmenangaben und/oder betriebliche Erfahrungswerte genutzt wurden. Der Energiebedarf für Pumpen bei den Ionenaustauschverfahren wurde aus den elektrischen Anschlußwerten abgeschätzt. Die Nutzung einer vereinfachten Prozeß- und Anlagentechnik (z.B. Straßenschaltung anstelle Reihen-/ Wechselschaltung) kann zu einer unvollständigen Ausnutzung der vorhandenen Ionenaustauscher-Kapazitäten und somit zu einem höheren Regeneriermittelbedarf führen.

<sup>1</sup> Zur Erreichung eines Leitwertes < 10 µS/cm muß bei einer 1-stufigen Umkehrosmose eine Nachreinigung mittels Ionenaustausch erfolgen.

Abgeschätzter Stoff- und Energiebedarf zur Aufbereitung von 10.000 m<sup>3</sup>/a VE-Wasser mittels **Umkehrosmose**

	<b>A1</b> (1-stufig) mit Nachreinigung	<b>A2</b> (2-stufig) mit Nachreinigung
HCl	193 kg/a	-
NaOH	460 kg/a	-
Antiscalant	110 kg/a	110 kg/a
Abwasser (direkte Ableitung)	3.500 m <sup>3</sup> /a	3.500 m <sup>3</sup> /a
Abwasser (mit Behandlung)	84 m <sup>3</sup> /a	-
Energie	15.000 kWh/a	26.000 kWh/a

Das Konzentrat der Umkehrosmose kann ohne abwassertechnische Behandlung direkt abgeleitet werden, während der Teilstrom, der die Regenerate der Permeat-Nachreinigung (über Ionenaustauscher) umfaßt, einer abwassertechnischen Behandlung (in der Regel nur Neutralisation/ pH-Einstellung) bedarf. Eine 2-stufige Umkehrosmose erreicht lt. Herstellerangabe einen Leitwert von ca. 11 µS/cm, so daß auf eine Abschätzung der Aufwendungen für die Nachreinigung verzichtet wurde.

Abgeschätzter Stoff- und Energiebedarf zur Aufbereitung von 10.000 m<sup>3</sup>/a VE-Wasser mittels **Ionenaustauschverfahren**<sup>2</sup>

	<b>B</b> (SAC > SBA)		<b>C</b> (SAC > WBA >SBA)		<b>D</b> (WAC > SAC > Rieseler > WBA >SBA)	
	Gleichstrom	Gegenstrom	Gleichstrom	Gegenstrom	Gleichstrom	Gegenstrom
HCl	6.715 kg/a	3.381 kg/a	6.518 kg/a	3.334 kg/a	2.579 kg/a	2.473 kg/a
NaOH	13.480 kg/a	5.392 kg/a	9.014 kg/a	3.606 kg/a	2.165 kg/a	1.128 kg/a
Abwasser	2.559 m <sup>3</sup> /a	1.307 m <sup>3</sup> /a	2.191 m <sup>3</sup> /a	1.151 m <sup>3</sup> /a	741 m <sup>3</sup> /a	431 m <sup>3</sup> /a
Energie	3.500 kWh/a	4.900 kWh/a	3.500 kWh/a	4.900 kWh/a	7.000 kWh/a	9.800 kWh/a

Durch die Kombination von Verfahrensschritten und/oder die Nutzung der Gegenstromtechnik kann bei Ionenaustauschverfahren der Bedarf an Regenerierchemikalien sowie der Eigenwasserbedarf deutlich vermindert werden. Besonders durch die Integration einer Entcarbonisierungsstufe unter Nutzung eines Rieselturm-Entgasers kann eine kostengünstige Entfernung der Carbonathärte erreicht werden. Der zusätzliche anlagentechnische Aufwand bei der Herstellung von VE-Wasser kann durch eine deutliche Senkung der Betriebskosten kompensiert werden, so daß die Herstellung von VE-Wasser mittels einer optimierten Ionenaustauschtechnik niedrigere Betriebskosten verursacht als die Herstellung von VE-Wasser mittels Umkehrosmose. Es ist jedoch eine individuelle Betrachtung für jeden Anwendungsfall erforderlich. Dabei muß geprüft werden, ob die vorhandenen Einsparpotentiale im erforderlichen Umfang genutzt werden können.

<sup>2</sup> Die Aufwendungen zur abwassertechnischen Behandlung des Regenerates sind in den nachfolgenden Angaben nicht enthalten.