

# Stand der Membrantechnik in der Trinkwasseraufbereitung in Deutschland

Membranfiltrationsverfahren gewinnen in der öffentlichen Trinkwasserversorgung zunehmend an Bedeutung. Dabei werden Mikro- und Ultrafiltrationsanlagen zur Entfernung von Partikeln sowie Nanofiltrations- und Umkehrosmoseanlagen zur Entfernung gelöster Inhaltsstoffe eingesetzt. In welche Richtung wird sich die Membrantechnik, ausgehend vom Stand der Technik heute, entwickeln?

**M**embranfiltrationsverfahren sind physikalisch wirkende Trennverfahren zur Entfernung von partikulären und gelösten Wasserinhaltsstoffen aus dem Rohwasser. Die Trennschärfe der Verfahren ist abhängig von den Trenneigenschaften der eingesetzten Membranen. Es wird unterschieden zwischen Mikro-, Ultra- und Nanofiltration (MF, UF, NF) sowie Umkehrosmose (UO). In der öffentlichen Wasserversorgung werden die MF und UF seit 1998 zunehmend vor allem bei der Oberflächen- und Quellwasseraufbereitung eingesetzt [1]. Wesentlicher Vorteil dieser Verfahren ist das Erzielen eines stets trübstofffreien Filtrates unabhängig von Schwankungen im Trübstoffgehalt des Rohwassers. Daneben finden die NF zur Teilenthärtung und die UO zur Entsalzung in einzelnen Fällen und zum Teil bereits seit vielen Jahren Anwendung.

## Grundlagen

Die treibende Kraft für den Transport von Wasser durch die Membran ist bei den genannten vier Verfahren die angelegte

Druckdifferenz. Sie ist umso größer, je kleiner die Poren der Membranen sind. In **Abbildung 1** ist der Größenbereich der durch die MF/UF abscheidbaren Partikel gegenüber der konventionellen Flockenfiltration und der NF bzw. UO schematisch dargestellt. Bei der MF/UF werden Partikel und Wasserinhaltsstoffe, die größer sind als die Porenweite der Membran, zurückgehalten, während das Wasser die Membran durchdringt. Bei MF-Membranen sind die Poren größer als ca. 0,1 µm, bei der UF um den Faktor 10 kleiner. In Bezug auf den Rückhalt von Bakterien sowie Trübstoffen sind MF und UF als vergleichbar anzusehen. Kleinere Partikel im Größenbereich von Viren können aufgrund ihrer geringen Größe von MF-Membranen nur eingeschränkt zurückgehalten werden. Bei NF-/UO-Membranen handelt es sich nicht um poröse Membranen mit definierter Porenweite, sondern um homogene Polymerschichten, die aufgrund ihrer Struktur einen Rückhalt gegenüber verschiedenen ge-

lösten Wasserinhaltsstoffen bewirken. Neben Siebmechanismen spielen hier zusätzlich Wechselwirkungen zwischen Wasserinhaltsstoffen und dem Membranmaterial eine Rolle, die durch Oberflächenladungen verursacht werden. Aufgrund der dichten Membranschichten sind für einen Durchtritt von Wasser durch die Membranen entsprechend höhere Drücke aufzuwenden. Da durch NF/UO-Membranen gelöste Wasserinhaltsstoffe weitgehend entfernt werden, eignen sich diese Verfahren zur Enthärtung bzw. Vollentsalzung und zur Entfernung gelöster organischer Stoffe.

## MF/UF-Systeme

Für den Einsatz der MF und UF steht eine Reihe verschiedener Membransysteme zur Verfügung, die sich hinsichtlich der eingesetzten Membrantypen (Struktur, Material und Modulbauart), der angelegten Druckdifferenz (Überdruck, Unterdruck), des Betriebsmodus (Dead-End, Cross-Flow) sowie der Anströmung der Membranen (IN-OUT, OUT-IN) unterscheiden [3]. In **Tabelle 1** sind technische Details der in Deutschland in der Trinkwasseraufbereitung eingesetzten Membrantypen aufgeführt.

## MF/UF-Spülung, -Reinigung und -Überwachung

Zur Entfernung von Ablagerungen, die sich während des Filtrationsvorganges auf den Membranoberflächen bilden, werden die Membranen regelmäßig mit Filtrat entgegen der Filtrationsrichtung gespült. Einige Systeme setzen hierzu zeitweise Chemikalien ein, andere unterstützen den Spülprozess durch Zufuhr von Luft auf der Rohwasserseite, um so mechanisch eine Verbesserung des Reinigungseffektes zu erwirken. Als Spül- und Reinigungschemikalien werden Säuren und Laugen sowie Mittel auf Chlorbasis verwendet. Die Spül- und Reinigungshäufigkeit sowie der erforderliche Chemika-

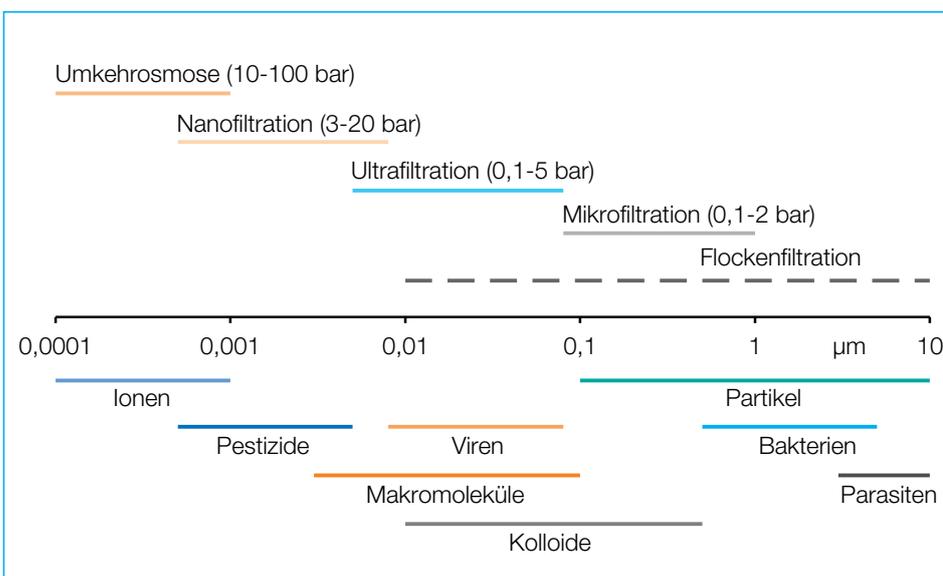


Abb. 1: Größenbereiche

Quelle: [1]

lieneinsatz werden dabei im Wesentlichen durch die Rohwasserinhaltsstoffe bestimmt. Die Ausbeuten einer einstufigen Anlage liegen je nach Rohwasserbeschaffenheit in der Größenordnung von 85 bis 98 Prozent.

Das im Juni 2005 herausgegebene DVGW-Arbeitsblatt W 213-5 definiert Begriffe und Anforderungen zur MF/UF und gibt Hinweise zu Planung und zum Bau von MF/UF-Anlagen [2]. Aufgrund der inzwischen vorliegenden Erfahrungen im Betrieb von UF-Anlagen wird in Kürze vom DVGW-Projektkreis Membranfiltration ein Leitfaden zur Spülung und Reinigung von Membranen veröffentlicht. Ein Leitfaden zur Überwachung von Membrananlagen ist ebenfalls derzeit in Bearbeitung. Zur Überwachung der Integrität von Membrananlagen werden in der Praxis üblicherweise Druckhaltetests oder Partikelmessungen durchgeführt.

#### **MF/UF in der öffentlichen Wasserversorgung**

Im Rahmen eines DVGW-Vorhabens wurde eine Bestandsaufnahme über die in Deutschland in der öffentlichen Trinkwasserversorgung in Betrieb befindlichen MF/UF-Anlagen durchgeführt, um die Erfahrungen und Erkenntnisse aus dem Betrieb dieser Anlagen zu erfassen, zu dokumentieren und auszuwerten sowie Zusammenhänge zwischen Rohwasserbeschaffenheit, Anlagenkonfiguration, Spülregime und Betriebsverhalten zu ermitteln. Die Daten für die bis einschließlich Dezember 2006 in Betrieb gegangenen 83 Anlagen sind im Band 33 der Schriftenreihe des Technologiezentrums Wasser (TZW) zusammengefasst [4]. Bis Ende 2007 sind weitere 20 Anlagen in Betrieb gegangen, sodass die gesamte Aufbereitungskapazität nun ca. 15.000 m<sup>3</sup>/h beträgt. Seit 1998 lässt sich eine stetige Zunahme der Anzahl in Betrieb befindlicher Anlagen beobachten (Abb. 2), die auch in den kommenden Jahren anhalten wird.

Wie aus Tabelle 2 hervorgeht, machen die Anlagen im Größenbereich von 10 bis 250 m<sup>3</sup>/h den größten Anteil aus. Während die kleineren Anlagen vorwiegend für die Aufbereitung von Quellwässern eingesetzt werden, ist es bei den größeren Anlagen die Talsperrenwasseraufbereitung. Die UF-Anlagen sind vor allem in den deutschen Mittelgebirgen in Bayern und Baden-Württemberg angesiedelt (Abb. 3), wo Karstgebiete und klüftige Grundwasserleiter vorliegen und die zur Trinkwasserversorgung genutzten ►

# RITZ



DESIGNED FOR  
**SUPERIOR  
PERFORMANCE**

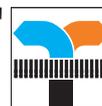
## ASC. Die neuen Kraftpakete von RITZ.

ASC – Axial geteilte Spiralgehäusepumpen – sind die neuen Kraftpakete von RITZ. Entwickelt für die härteste Arbeit der Welt: die Hochleistungsförderung von Wasser, Mineralwasser und Meerwasser im Rahmen der Wassergewinnung, -versorgung und -aufbereitung.

PUMPS | MOTORS | SYSTEMS | SERVICE

- **Exzellente Wirkungsgrade dank computeroptimierter Laufräder**
- **Optimales Saugverhalten mit brillanten NPSH-Werten**
- **Minimaler Axialschub dank zwei-strömigem Laufrad**
- **Extrem lange Lebensdauer dank großzügig dimensionierter und fettgeschmierter Wälzlager**

**IFAT  
2008**



**RITZ auf der IFAT in München  
vom 5. – 9. Mai 08  
Halle A5 | Stand 322**

**RITZ Pumpenfabrik GmbH & Co. KG**

Postfach 17 80 | 73507 Schwäbisch Gmünd | info@ritz.de | www.ritz.de  
Telefon +49 (0) 71 71 / 60 90 | Telefax +49 (0) 71 71 / 60 92 87

**Tabelle 1: Technische Details zu den gängigen Membrantypen [4]**

Hersteller	Modultyp (MWC0 100 kD)	Material der Membranen	Anordnung der Module	Betriebsweise	Treibende Kraft
Inge	Dizzer 5000	PES	vertikal	in/out	Druck
Pall/Asahi	Microza WTR-6203	PVDF	vertikal	out/in	Druck
X-Flow	S-225 FSFC	PES	horizontal/vertikal	in/out	Druck
GE/Zenon	ZeeWeed 1000	PVDF	horizontal	out/in	Unterdruck
GE/Zenon	ZeeWeed 500	PVDF	vertikal	out/in	Unterdruck

PES = Polyethersulfon; PVDF = Polyvinylidenfluorid

Quelle: [4]

**Tabelle 2: Technische Details zu den gängigen Membrantypen [4]**

Kapazität m³/h	Anzahl Anlagen	Summe Kapazität m³/h	Anteile bezogen auf Kapazität, %				
			Talsperre	Quelle	Brunnen	Quelle & Brunnen	Uferfiltrat
1-10	15	123	–	84	16	–	–
>10-50	44	1.051	–	74	16	10	–
>50-250	39	5.422	18	36	23	13	10
>250-1.000	6	2.320	32	28	26	–	13
>1.000	1	6.000	100	–	–	–	–
<b>Summe</b>	<b>105</b>	<b>14.916</b>	<b>52</b>	<b>23</b>	<b>14</b>	<b>5</b>	<b>6</b>

Quelle: TZW

Wässer insbesondere nach Niederschlagsereignissen Belastungsspitzen im Hinblick auf Trübung und Mikroorganismen aufweisen. Mehrere Anlagen zur Aufbereitung von Talsperrenwasser werden in Nordrhein-Westfalen und Thüringen betrieben.

### Nanofiltration und Umkehrosmose in der öffentlichen Wasserversorgung

In der öffentlichen Wasserversorgung werden NF und UO entweder zur Teilenthärtung oder zur Entfernung von Chlorid, Sulfat und/oder Nitrat eingesetzt. Seit 1982 in Duderstadt die erste UO-Anlage zur Teilenthärtung und Sulfatentfernung aus einem Quellwasser in Betrieb ging, sind bis heute lediglich fünf UO- und zehn NF-Anlagen mit einer Gesamtaufbereitungskapazität von 1.200 m³/h hinzugekommen. Weitere Anlagen befinden sich jedoch in der großtechnischen Realisierung. Bei der Mehrzahl der NF-Anlagen handelt es sich um Anlagen mit vergleichsweise geringer Nennleistung von < 70 m³/h. Die Anlagenstandorte befinden sich in Regionen, in denen Rohwasser mit hoher Härte für die Trinkwasserversorgung herangezogen wird. Zunehmend stellt sich die Frage einer zentralen Enthärtung, da dadurch, wie eine Studie ergeben hat [6], die Umwelt deutlich entlastet werden kann. Für die Verbraucher bedeutet eine Verringerung der Trinkwasserhärte, dass für das gleiche Reini-

gungsergebnis weniger Wasch- und Spülmittel eingesetzt werden müssen. Der Betrieb von dezentralen Enthärtungsanlagen im Haushaltsbereich wird damit überflüssig bzw. bei bestehenden, weiterbetriebenen Anlagen verlängert sich der Zeitraum zwischen den Regenerationen und die Menge an Regeneriersalz wird reduziert.

Der Betrieb von NF/UO-Anlagen erfordert die Zugabe von Aufbereitungsstoffen zur Vermeidung von Ablagerungen durch schwer lösliche Salze (Antiscalantmittel). Ein Ausfall von Karbonaten kann durch Absenkung des pH-Wertes mittels Mineralsäuren oder Kohlensäure vermieden werden.

Enthält ein Wasser neben den Härtebildnern Barium und Strontium erhöhte Gehalte an Sulfat und Silikat, ist für einen problemlosen Betrieb einer NF-Anlage die Zugabe eines Antiscalantmittels erforderlich. Gemäß TrinkwV sind Natriumtripolyphosphat und Phosphonsäuren zugelassen, Polycarbonsäuren werden derzeit geprüft. Die Zugabemengen liegen dabei in der Größenordnung von ca. 2-9 g/m³.

Bei Ausbeuten zwischen 75 und 85 Prozent reichern sich die Aufbereitungsstoffe wie alle von den NF-Membranen zurückgehaltenen Wasserinhaltsstoffe im Konzentrat um den Faktor 4 bis 8 an. Bei der Entsorgung der anfallenden Konzentrate

sind daher stets die Salzgehalte wie beispielsweise Phosphate oder Nitrate zu beachten. Dies schränkt unter Umständen die Akzeptanz von Nanofiltration bzw. Umkehrosmose in der öffentlichen Trinkwasserversorgung ein und ist als einer der Gründe dafür anzusehen, weshalb in Deutschland bislang nur wenige Anlagen dieser Art im Einsatz sind.

Der Wirkungsgrad der Membranen beim Spurenstoffrückhalt ist abhängig vom eingesetzten Membrantyp und den Eigenschaften der Spurenstoffe. Allerdings wird für viele organische Spurenstoffe mit entsprechenden NF/UO-Membranen ein weitgehender Rückhalt erreicht. NF/UO-Membranen entfernen jedoch nicht selektiv Einzelstoffe, sondern prinzipiell alle gelösten Stoffe. Die Entfernung von Spurenstoffen aus Rohwässern für die Trinkwasserversorgung mittels NF/UO ist daher immer mit einer Enthärtung und Entsalzung verbunden.

Das dabei entstehende Permeat ist praktisch frei von Mineralstoffen und muss zur Einhaltung der Anforderungen gemäß Trinkwasserverordnung stets nachbehandelt werden. Dies erfolgt durch Verschnitt mit einem unbehandelten und unbelasteten Rohwasser bzw. durch mechanische oder chemische Entsäuerung. Inwieweit eine Vorbehandlung des der Anlage zulaufenden Rohwassers durch weitere aufbereitungstechnische Maß-

nahmen erforderlich ist, hängt von dessen Rohwasserbeschaffenheit ab. Zur Entfernung von organischen Spurenstoffen werden die Verfahren NF/UF zunehmend in Betracht gezogen, insbesondere wenn gleichzeitig eine Enthärtung oder Entsalzung des Wassers vorgenommen werden soll.

### Kostenaspekte

Hinsichtlich der Investitionskosten resultiert auch bei MF/UF-Anlagen eine Kostendegression mit steigender Anlagengröße. Dies geht aus Abbildung 4 hervor, in der die auf die Anlagenkapazität bezogenen spezifischen Investitionskosten aus der Bestandsaufnahme dargestellt sind. Die Schwankungsbreite ist durch den unterschiedlichen Ausrüstungsstandard der Anlagen bedingt. Für NF/UF-Anlagen liegen die Investitionskosten für vergleichbare Durchsatzmengen höher (Dreiecksymbole in Abb. 4) als für MF/UF-Anlagen.

Die spezifischen Betriebskosten setzen sich zusammen aus Kosten für Abschreibung der Anlagentechnik, Membranersatz, Energiebedarf, Personalaufwand für Betrieb, Wartung, Instandhaltung und Überwachung sowie Chemikalienbedarf und gegebenenfalls Abwasserentsorgung. Insbesondere Letztere stellt je nach Standort einen erheblichen Kostenfaktor dar.

Für MF/UF-Anlagen ergeben sich insgesamt spezifische Betriebskosten in der Größenordnung von 0,1-0,2 €/m<sup>3</sup> (Tab. 3). Für den Betrieb von NF- und UF-Anlagen sind entsprechend der höheren Investitionskosten und des größeren Energiebedarfs spezifische Betriebskosten bis 0,50 €/m<sup>3</sup> anzusetzen, wobei die Angaben jeweils keine Kosten für die Abwas-

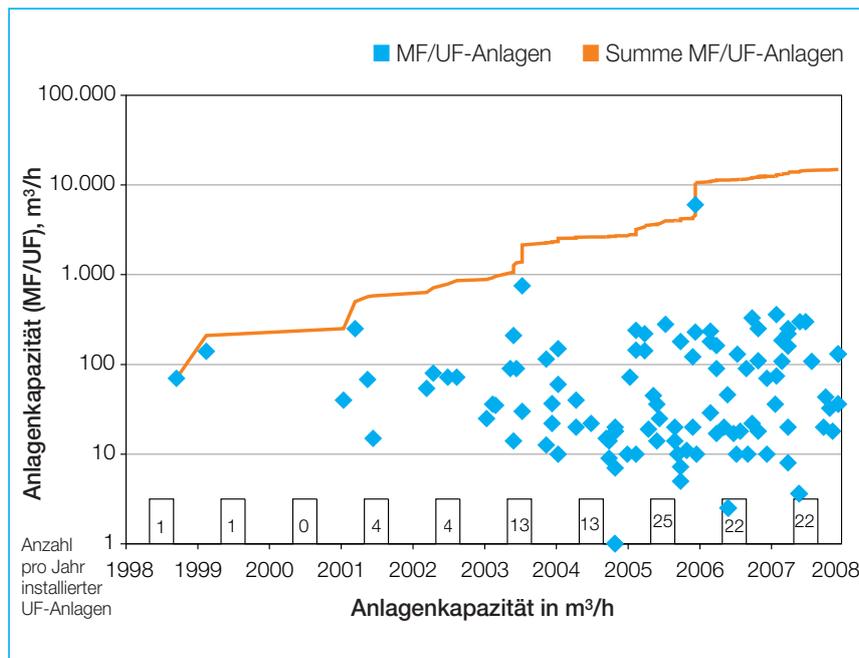


Abb. 2: Zunehmende Aufbereitungskapazitäten der Membranfiltration zur Partikelentfernung mittels Mikro- und Ultrafiltration zur Trinkwasseraufbereitung

Quelle: [4]

serentsorgung enthalten. Nachdem die Membranfiltrationstechnologie aus dem Stadium der Forschung und Entwicklung in den Stand der Technik übergegangen ist, ist in den vergangenen Jahren mit zunehmendem Einsatz der Verfahren eine Abnahme sowohl der Investitions- als auch der spezifischen Betriebskosten zu beobachten.

### Ausblick

Abhängig von der jeweils vorliegenden Rohwasserbeschaffenheit und der Aufgabenstellung ist die geeignete Verfahrenstechnik zu wählen. Entscheidend für die Auswahl sind neben technischen auch wirtschaftliche Gesichtspunkte. Insbesondere bei der Nutzung mikrobiell belasteter und trübstoffhaltiger Rohwässer

werden Mikro- und Ultrafiltrationsanlagen in weiter steigendem Umfang eingesetzt. Die Weiterentwicklung dieser Systeme verläuft hinsichtlich der Membranmaterialien, der Modulkonstruktionen, der Betriebsweise sowie der Vorgehensweise beim Spülen und Reinigen der Membranen. Ziel weiterer F & E-Arbeiten sollte insbesondere aus Kostengründen und im Hinblick auf die Entsorgung der anfallenden schlammhaltigen Wässer die Minimierung des Spülwasser- und Chemikalienverbrauchs sein. Im Zusammenhang mit dem Betrieb von MF/UF-Anlagen gewinnt die Überwachung der Membrantegrität an Bedeutung [5]. Dringend erforderlich ist hierbei die Erarbeitung praktischer Überwachungsmethoden, die bei häufiger Anwendung zu keiner Schä-

**Wasserhaltung  
Brunnenbau  
Umwelttechnik**

[www.hoelscher-wasserbau.de](http://www.hoelscher-wasserbau.de)

Besuchen Sie uns auf der IFAT 2008 in München, Halle B 1 Stand 104

- DIN EN ISO 9001 - SCC - DVGW W 120 - WHG § 19  
- Bauen für den Umweltschutz

Postfach 21 51 • D-49727 Haren  
Tel.: +49 5934 / 7070

**Tabelle 3: Spezifische Betriebskosten**

		MF/UF	NF/UF
<b>spezifische Betriebskosten</b>	<b>€/m<sup>3</sup></b>	<b>0,1-0,2</b>	<b>0,2-0,5</b>
Membranersatz	€/m <sup>2</sup>	25-75	20-30
Membranstandzeiten	a	7-10	3-5
Energiebedarf	kWh/m <sup>3</sup>	0,1-0,3	0,4-0,8

Quelle: [1]

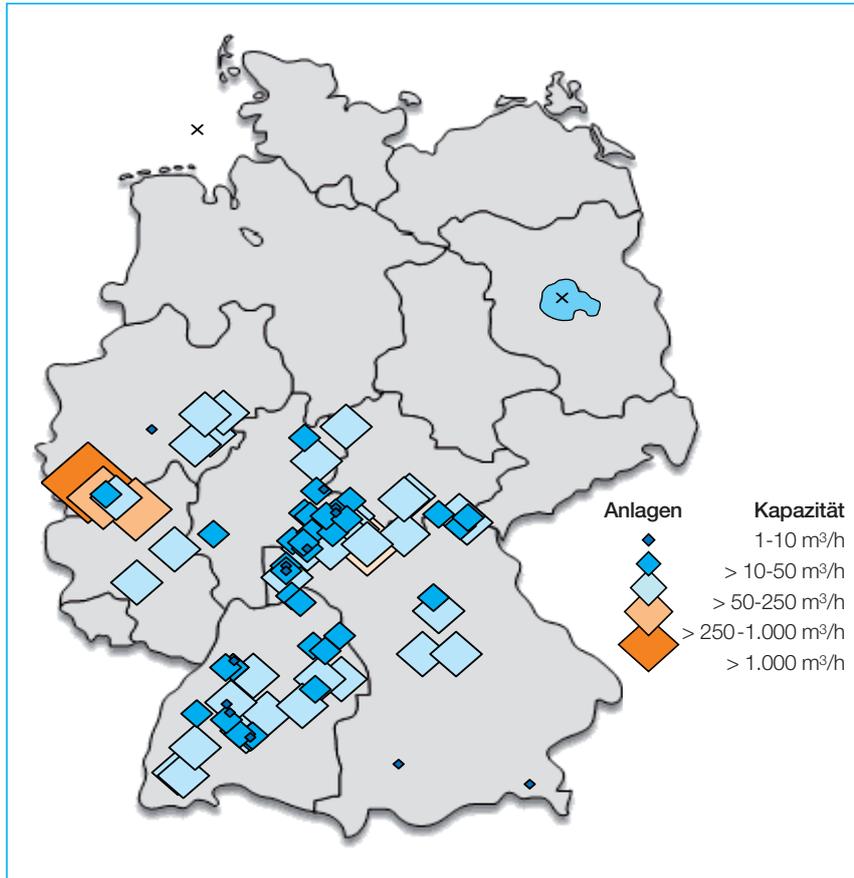


Abb. 3: Verteilung der MF/UF-Anlagen in Deutschland

Quelle: [4]

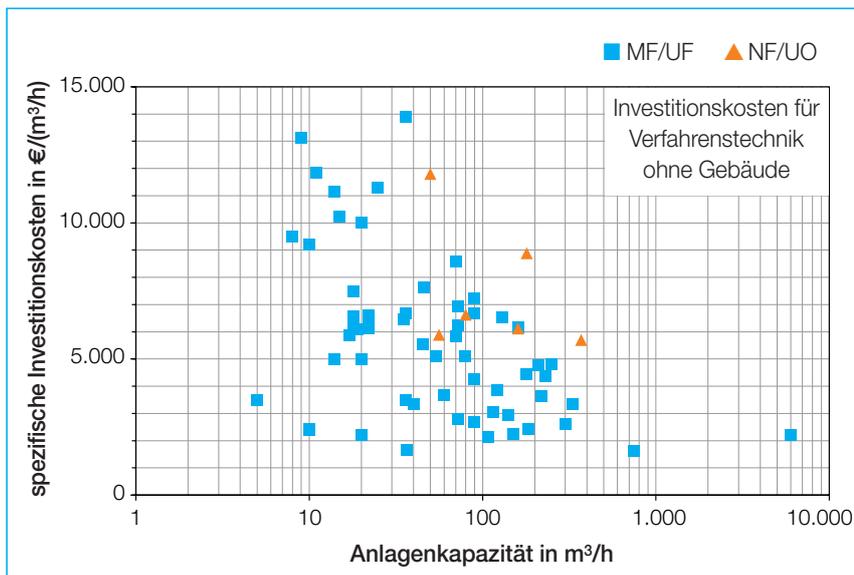


Abb. 4: Spezifische Investitionskosten für MF/UF-Anlagen in Deutschland ergänzt durch Angaben für NF/UF-Anlagen

Quelle: [4]

digung der Membranen führen und dennoch geeignet sind, eine Verminderung des Partikelrückhalts aufgrund defekter Fasern zu detektieren.

Im Gegensatz zu den MF/UF-Verfahren werden NF und UF bisher in deutlich geringerem Umfang zur Trinkwasseraufbereitung, beispielsweise bei der zentralen Teilenthärtung bzw. -entsalzung von Trinkwässern, eingesetzt. Ein Zwang zur Teilentsalzung kann unter Umständen bei der Verteilung von Wässern unterschiedlicher Beschaffenheit bestehen, sofern keine zentrale Mischung möglich ist. Die eingeschränkte Nutzung der NF und UF liegt vor allem darin begründet, dass die Entsorgung der anfallenden Konzentrate nicht immer kostengünstig erfolgen kann. Ziel weiterer F & E-Arbeiten im Zusammenhang mit dem Betrieb von NF/UF-Anlagen sollte daher deren Optimierung vor allem im Hinblick auf die Minimierung der anfallenden Konzentratmengen und die Verminderung der Zugabemengen an Zusatzstoffen sein.

**Literatur:**

- [1] Lipp, P., Baldauf, G. & W. Kühn (2005): Membranfiltrationsverfahren in der Trinkwasseraufbereitung – Leistung und Grenzen. In: gwf Wasser Abwasser 146 (13): S.50-61.
- [2] DVGW-Arbeitsblatt W 213-5 (Ausgabe 06/2005): Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung bei der Wasseraufbereitung, Teil 5 Membranfiltration.
- [3] Lipp, P. (2004): Membrantechnik zur Aufbereitung von mikrobiell belastetem Wasser. 37. Essener Tagung.
- [4] Lipp P.: Bestandsaufnahme zum Betrieb von MF/UF-Anlagen in der öffentlichen Wasserversorgung in Deutschland. Abschlussbericht zum DVGW-Forschungsvorhaben W4/03/05. TZW Schriftenreihe ISSN 1434-5765 Bd. 33 (2007).
- [5] DVGW-Technisches Komitee „Wasseraufbereitungsverfahren“. Hygienische Sicherheit von Ultrafiltrations- und Mikrofiltrationsanlagen zur Trinkwasseraufbereitung. DVGW energie | wasser-praxis 6/2006, S. 34-35.
- [6] Hesse, S., Baldauf, G., Hillenbrand, T. & E. Böhm: Ökologische und ökonomische Aspekte einer zentralen Enthärtung von Trinkwasser. In: DVGW energie | wasser-praxis 5/2004, S. 46-49.

**Autoren:**

Dr.-Ing. Pia Lipp  
 Dr.-Ing. Günther Baldauf  
 DVGW Technologiezentrum Wasser (TZW)  
 Karlsruher Str. 84  
 76139 Karlsruhe  
 Tel.: 0721 9678-127/-120  
 Fax: 0721 9678-109  
 E-Mail: lipp@tzw.de  
 baldauf@tzw.de  
 Internet: www.tzw.de