

Membran-Enthärtung*

Gipshaltiges Quellwasser in Zermatt

Joachim Klahre



Adoucissement par voie membranaire

Eau de source chargée en sulfates à Zermatt

Une collectivité à forte activité touristique doit dimensionner toutes ses infrastructures selon les besoins de la haute saison. Pendant les périodes de pointe, l'alimentation en eau potable peut être complétée par des sources d'appoint. C'est le cas de la commune de Zermatt. Durant la saison d'hiver, une osmose inverse à basse pression permet désormais de produire une eau potable à partir d'une eau de source toujours limpide mais très dure et chargée en sulfates.

Membrane Softening

High-Sulfate Spring Water in Zermatt

Like the infrastructure of other tourist resorts, the infrastructure of Zermatt is aligned with the seasonal demand fluctuation. During peak season, additional sources have to be tapped for drinking water. A low-pressure reverse osmosis plant to produce drinking water from springs with a high natural content in hardness and gypsum shows that central softening with membranes can be of economic interest, additionally, it helps to prevent damage to the environment.

Wie andere Gemeinden, die ihre Infrastruktur nach touristisch bedingten, grossen Bedarfsschwankungen ausrichten müssen, ist die Einwohnergemeinde Zermatt darauf angewiesen, bei Spitzenbelastungen Wasser «zweiter Wahl» nutzen zu können. Die realisierte Aufbereitung eines stark sulfathaltigen Quellwassers mit Niederdruck-Umkehrosiose zeigt, dass eine solche zentrale Enthärtung mit Membranen bei geeigneten Rahmenbedingungen eine wirtschaftliche und ökologisch sinnvolle Alternative darstellt.

1. Einleitung

Membranverfahren werden immer mehr zur Aufbereitung von Trinkwasser genutzt. Im Vordergrund stand bisher die *Ultrafiltration* (UF), mit der trübe und hygienisch bedenkliche Quell- und Oberflächenwässer in einem Schritt mechanisch geklärt und entkeimt werden können [1,2]. In der Schweiz weniger bekannt sind die Membranverfahren *Umkehrosiose* (RO) und *Nanofiltration* (NF), da sie bisher vor allem in der Industrie und in grossen Anlagen zur Entsalzung von Meerwasser eingesetzt wurden. Sie bieten in der Aufbereitung von Süsswasser interessante Möglichkeiten, um die Härtebildner Calcium und Magnesium, aber auch unerwünschte organische Verunreinigungen und insbesondere gelöstes Sulfat abzutrennen [3]. Geht es nur um die Enthärtung, stehen die Membranverfahren in Konkurrenz zu den Verfahren mit Ionentauscher-Harzen oder chemischer Entcarbonisierung mit Kalkmilch oder

* Innovationspreis Aqua Pro 2006.
Prix de l'innovation Aqua Pro 2006.
(Voir aussi le rapport à la page XX)

Natronlauge [4]. Sollen jedoch im gleichen Schritt weitere Problemstoffe eliminiert werden, bietet die Membrantechnik interessante Möglichkeiten. In Zermatt waren nun erstmals in der Schweiz die Bedingungen gegeben, um mit einer Niederdruck-Umkehrosmose eine ergiebige, aber bezüglich Härte und Sulfatgehalt ungenügende Quelle als Trinkwasser zu nutzen.

2. Wasserversorgung Zermatt

Wie andere stark touristisch orientierte Gemeinden muss auch das Matterhorn Dorf eine Infrastruktur unterhalten, die auf die Spitzenbelastungen während der Hochsaison ausgerichtet ist (Tab. 1). Deshalb braucht die Wasserversor-

gung mehrere Standbeine, die im Bedarfsfall zur Verfügung stehen. Neben Quellwasser aus 85 Fassungen und dem Stollenwasser aus den Anlagen der Grande Dixence stand bisher zu Spitzenzeiten Triftbachwasser aus der 1947 erstellten Filteranlage zur Verfügung. Nicht nur war diese Filteranlage am Ende ihrer Lebensdauer angelangt, sondern das Bachwasser fällt seit dem Neubau des Kraftwerks Mutt als «Nebenprodukt» der Energiegewinnung auch nicht mehr am gleichen Ort an. Auf der Suche nach weiteren Möglichkeiten gerieten die ergiebigen, 1971 auf 2280 m Höhe gefassten *Gand-Quellen* wieder ins Blickfeld. Bis heute wurden sie mangels wirtschaftlicher Aufbereitungsverfahren nur im äussersten Notfall als Trink-

wasser oder zur Beschneidung der Skipisten genutzt. Obwohl hygienisch einwandfrei und auch sonst nicht gesundheitsgefährdend, ist das Wasser mit 70 Grad französische Härte (°fH) und 600 mg/l Sulfat aufgrund seines Geschmacks und seiner chemischen Eigenschaften nicht als Trinkwasser nutzbar. Da das Wasser am Ort der Aufbereitung unter Druck anfällt und über mehrere Monate keine Trübungswerte gemessen wurden, die für eine Umkehrosmose kritisch wären, konnte auf eine weitergehende Vorbehandlung (Ultrafiltration oder Mehrschichtfilter) verzichtet werden. Damit richtete sich das Augenmerk auf die Membranfiltration des Gandwassers als wirtschaftlich interessanteste Möglichkeit. Als Alternativen kamen ein neues Grundwasserpumpwerk oder eine Weiternutzung des Triftbachs in Betracht.

3. Ziel der Aufbereitung

Die Konzeption der Anlage (Abb. 1) basierte auf der *Wasserqualität*, die gemäss den Vorgaben des Walliser Kantonalen Labors erreicht werden sollte:

- Härte: 12 ± 1 °f
- Sulfatgehalt: 100 ± 20 mg/l
- Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht
- Ausbeute: ca. 84 % (81 % durch RO und 3 % durch Mischen)
- stabile Werte während sechs Monaten

Wasser mit einer Härte von 12°, wie man es auch in anderen Quellen der Wasserversorgung Zermatt findet, wird noch als weich eingestuft. Den folgenden Punkten wurde besondere Aufmerksamkeit geschenkt:

- möglichst hohe Ausbeute der Anlage, um die Bedarfsspitzen der Einwohnergemeinde Zermatt bestmöglich abzudecken,
- vollautomatischer Betrieb,
- minimale Betriebskosten,
- intelligente Regulierung der Anlagenleistung, die nicht nur auf eine variierende Quellschüttung, sondern auch auf Bedarfsschwankungen Rücksicht nimmt und so Chemikalien spart und lange Standzeiten bei den Modulen ermöglicht.

Die Umkehrosmose nach einer Vorfiltration erschien als das am besten geeignete Verfahren, um alle Anforderungen an eine wirtschaftliche Aufbereitung eines solchen Rohwassers zu erfüllen. In der Tat kann die Umkehrosmose nicht nur Carbonate, sondern vor allem Sulfate

Spitzenverbrauch	8000 m ³ /Tag
Anzahl Quellen	60, in 85 Fassungen
Schüttung Quellen Total	78 (Winter) bis 126 l/Sek. (Sommer)
Reservoirs	9
Speichervolumen gesamt	5410 m ³
Jahresbudget (Investitionen)	CHF 1200 000.-
Leitungsnetz	42 km
Mitarbeiter	6

Tab. 1 Daten zur Wasserversorgung Zermatt.

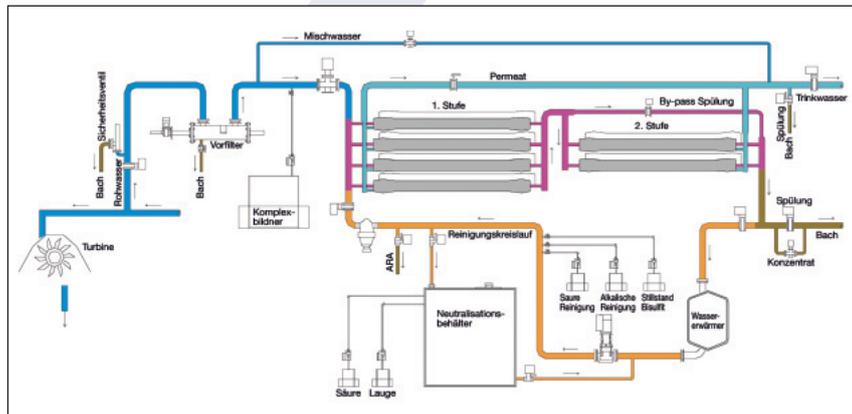


Abb. 1 Schema der Umkehrosmose-Anlage.

sehr wirksam abtrennen, sodass ein Trinkwasser mit einer Härte von 11 bis 13 °f für die Einspeisung ins Netz zur Verfügung steht. Dabei kann für die Filtration der vorhandene hydrostatische Vordruck eingesetzt werden, somit müssen dafür keine Pumpen betrieben werden.

4. Membranfilter-Anlage

4.1 Rohwasser-Versorgung

Die Anlage behandelt maximal 25 l/s des aus der Quelle anfallenden Rohwassers (Abb. 2, Tab. 2). Das Rohwasser aus der Quelle wird über ein Druckreduzierventil der Filteranlage zugeführt. Die Produktionsleistung der Anlage wird über ein Regulierventil im Zulauf gemäss dem Füllstand im Reservoir (Bedarfsregulierung) und dem Füllstand in der Brunnenstube (Angebotsregulierung) im Bereich von 9 bis 21 l/s angepasst. Dadurch kann stets alles verfügbare Rohwasser verarbeitet werden, bis die vom Betreiber konfigurierte oder die maximale Anlagenleistung, bzw. der Höchststand im Reservoir erreicht ist. Überschüssiges Wasser wird zur *Energiegewinnung* turbinieren. Das Quellwasser steht nach der Druckregulierung für die Aufbereitung mit einem Druck von 16 bar zur Verfügung.



Abb. 2 Umkehrosmose-Anlage im alten Reservoir Wichje.

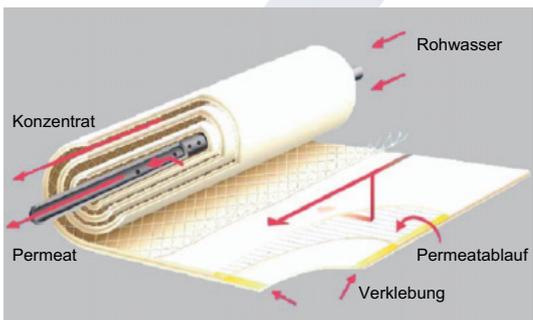


Abb. 3 Aufbau der Umkehrosmose-Membrane.

Verfahren	2-stufige Umkehrosmose
Nennleistung	72 m ³ /h
Anzahl Module	48 (1. Stufe) plus 24 (2. Stufe)
Gesamte Membranfläche	2674 m ²
Anstehender Vordruck	26 bar
Eingangsdruck Umkehrosmose	16 bar
Druckverlust der Umkehrosmose	5-12 bar
Ausbeute	84 %, wovon 3 % als Rohwasser-Bypass
Raumbedarf der Filterbatterie	6,6 x 1,3 x 1,75 m (l x B x H)
Vorfiltration	10 µm, automatisch rückspülbar

Tab. 2 Eckdaten der Aufbereitungsanlage.

Da für eine Umkehrosmose eine bestimmte *Fliessgeschwindigkeit* über der Membran die Voraussetzung für eine optimale Abtrennungsleistung ist, kann der Durchsatz durch die gesamte Anlage nicht beliebig verkleinert werden. Damit dennoch bei geringerem Wasserbedarf die Anlagenleistung angepasst werden kann, wird mit Hilfe eines weiteren Regulierventils die Trennleistung über den Durchfluss im Konzentrat-Abfluss eingestellt. Somit kann eine Rohwassermenge im Bereich von 11 l/s bis 25 l/s aufbereitet werden.

4.2 Vorfiltration

Als Sicherheit wird die Quelle mit einer Sonde auf Trübung überwacht, um bei Umkehrosmose-Betrieb das Wasser bei einer Trübung von über 1 NTU (nephelometrische Trübungseinheit) auf die Turbine abzuleiten. Als weitere Sicherheit werden die Umkehrosmose-Membranen mit einem Vorfilter geschützt.

Die Vorfiltration erfolgt mit einem industriellen Vorfilter von 10 µm Maschenweite mit automatischer Rückspülung. Die Hauptaufgabe dieses Vorfilters ist der Schutz der Filtermodule vor Partikeln, die sich zwischen den Blättern der Membran

festsetzen oder die Membran beschädigen können. Der Vorfilter ist im Rohwasser-Zulauf vor den Membranmodulen eingebaut.

Da Umkehrosmose-Membranen, die praktisch nur in *Spiralwickel-Konfiguration* (Abb. 3) hergestellt werden, besonders anfällig auf Verschmutzung durch Partikel aller Art sind, bietet diese relativ aufwändige Art der Vorfiltration den maximal möglichen Schutz. Erste Betriebserfahrungen haben gezeigt, dass im Rohwasser besonders in der Zeit der Schneeschmelze durchaus Trübungswerte über 1 NTU auftreten können.

Der Vorfilter eliminiert zuerst Partikel mit über einem Millimeter Durchmesser, bevor auf einer Fläche von 4500 cm² aus rostfreiem Stahl Partikel über 10 µm abgetrennt werden. Das *Rückspülsystem* für den Vorfilter kann über einen Timer, bei Überschreitung einer vorprogrammierten Druckdifferenz oder über ein externes Signal ausgelöst werden. Dabei saugt ein Karussell von Düsen in geringem Abstand von der Oberfläche des Filters alle abgelagerten Verunreinigungen ab, ohne in irgendeiner Weise den Betrieb der Filteranlage zu unterbrechen oder

zu stören. Der Wasserbedarf für diese Reinigung beträgt nur 82 Liter. Dieses Wasser wird direkt in den Vorfluter eingeleitet.

4.3 Umkehrosmose

Die Umkehrosmose sichert eine weitgehende Elimination aller Härtebildner aus einem Rohwasser mittels einer rein mechanischen Abtrennung. Die Porengrösse der RO-Membranen liegt bei deutlich unter 1 Nanometer (1 Nanometer = 10⁻⁹ Meter) und ist somit wesentlich kleiner als die zweiwertigen Ionen, die zur Wasserhärte beitragen.

Durch den Betrieb der Anlage unter dem Druck des vorhandenen Gefälles kann anstelle der Versorgungspumpe mit einem Regulierventil gearbeitet werden. Mit dem derart eingestellten Durchfluss werden die Membranen mit vorfiltriertem Rohwasser beschickt, die Härte-Ionen bleiben auf der Membran zurück und es wird enthärtetes Trinkwasser produziert. Jedes Druckrohr, das sechs in Serie geschaltete Module enthält, produziert zirka 50 % enthärtetes und 50 % konzentriertes Wasser. Durch eine zweistufige so genannte «Tannenbaum»-Schaltung kann die Ausbeute erhöht werden, in dem das Konzentrat der ersten Stufe in einer weiteren Stufe behandelt wird. Die Ausbeute der Anlage bei Nennleistung liegt bei der gewählten zweistufigen Ausführung bei rund 84 %.

4.4 Anpassung an den Trinkwasserbedarf

Bei maximalem Trinkwasserbedarf arbeitet die Anlage mit der maximalen Ausbeute von 84 %. In diesem Fall wird die Dosierung geringerer Mengen von komplexbildenden Hilfsmitteln erforderlich, um Ausfällungen im Konzentrat der zweiten Stufe zu vermeiden. Bei Teillast-Betrieb zu Zeiten geringeren Wasserbedarfs verringert sich die Ausbeute auf bis zu 50 %, da in den Filtermodulen das Salz weniger stark aufkonzentriert werden muss. Dadurch sinkt auch der Bedarf an komplexbildenden Chemikalien. Die Regulierung erfolgt sehr einfach und stufenlos über das Regulierventil am Konzentrat-Abgang der Filteranlage.

4.5 Anpassung der Wasserhärte

Um immer ein gleichbleibend hartes Wasser mit 12 °f ans Reservoir abgeben zu können, wird über einen Bypass mit einem weiteren Regulierventil und gesteuert durch die Leitfähigkeits-Messung eine geringe Menge (ca. 4 % des erzeugten Trinkwassers) Rohwasser dem enthärteten Reinwasser zugemischt. Diese Konfiguration wird ebenfalls die Standzeit der Membranen erhöhen und die Rohwasser-Ausbeute verbessern. Dieser Verschnitt ist möglich, weil das Rohwasser mit den Ausnahmen der Härte und des Sulfatgehalts in allen Parametern den Trinkwassernormen entspricht (Tab. 3).

4.6 Chemische Reinigung

Die chemische Reinigung wird je nach Bedarf in den sechs Betriebsmonaten pro Jahr insgesamt ein bis zwei Mal durchgeführt werden müssen – bevorzugt zu einem Zeitpunkt geringen Wasserbedarfs. Die dabei verwendeten Reiniger vermögen die meisten Verunreinigungen abzulösen, die die Membranen verblocken könnten. Die *Permeabilität* als Mass für die Sauberkeit der Membran wird kontinuierlich erfasst über die Permeatleistung und den transmembranären Druckverlust. Wenn die Permeabilität einen gewissen Schwellenwert unterschreitet, kann automatisch oder durch den Betreiber eine chemische Reinigung eingeleitet werden. Dabei wird der Rezirkulationskreislauf mit einer auf 40 °C erwärmten Lösung während einer bis zwei Stunden gespült. Die Lösung ist entweder alkalisch (0,5 % Lauge) oder sauer (0,25 % Säure). Die Abwässer aus der chemischen Reinigung und den nachfolgenden Spülungen werden vor der Abgabe an die Kläranlage in einer Neutralisationsanlage gefasst und behandelt. Die gesamte chemische Reinigung dauert zirka vier bis sechs Stunden. Der Betreiber kann selbst eine Reinigungslösung ansetzen oder die Dosierung einer vorbereiteten Lösung startet, worauf alles Weitere automatisch abläuft. Dauer und Temperatur der Reinigung können programmiert werden.

5. Energetischer Nutzung

Da das Quellwasser aus den Gebieten Gand und Findeln nur bei starker touristischer Belegung für die Trinkwasserversorgung genutzt wird, drängte sich angesichts des verfügbaren Drucks und der Schüttung der Quellen die Einrichtung einer energetischen Nutzung auf. Die einstrahlige Pelton-Turbine mit 48,5 kW Klemmenleistung wurde über die übergeordnete Steuerung derart ins System integriert, dass sie nicht nur alternativ zur Aufbereitung, sondern auch parallel dazu unter Teillast betrieben werden kann. Wird bei einer ausreichenden Quellschüttung von über 11 l/s und einer Trübung von unter 1 NTU über das Leitsystem Trinkwasser ab der Aufbereitungsanlage angefordert, so wird dafür aus dem Zufluss zur Turbine die erforderliche Rohwassermenge abgezweigt, bis der geforderte Füllstand im Reservoir erreicht ist. Die Aufbereitungsanlage geht sodann automatisch auf Stand-by, womit wieder alles Wasser für die Turbine zur Verfügung steht. Die gleiche Prozedur wird bei geringem

Parameter	Rohwasser	Filtrat RO	Trinkwasser
pH	7,3	-	7,1
Leitfähigkeit (20 °C) µS/cm	1000	5	170
Gesamthärte °f	70	0,2	10-12
Carbonathärte °f	7	-	2
Sulfat mg/ l	600	2	70
Gesamtkeimzahl KBE/m l	<10	-	<10

Tab. 3 Aufbereitungserfolg.

Trinkwasserbedarf einmal wöchentlich ausgelöst, um durch einen kurzen Zwangslauf Stillstandsschäden an der Aufbereitungsanlage zu vermeiden.

6. Ausblick

Bisher ist es meistens Sache der Verbraucher, ihr hartes Trinkwasser dezentral aufzubereiten, um einen höheren Energieverbrauch bei der Erzeugung von Warmwasser, einen höheren Waschmittelverbrauch oder sogar Korrosion an den Trinkwasserinstallationen zu vermeiden. Ein hoher Sulfatgehalt kann die Qualität eines Trinkwassers auch in geschmacklicher Hinsicht stark beeinträchtigen.

Untersuchungen haben gezeigt, dass mit einer zentralen Enthärtung durch die Wasserwerke ökologische und ökonomische Vorteile gegenüber dezentralen Massnahmen bei den Verbrauchern erreicht werden können. Zudem wünschte die Mehrheit der Bevölkerung eine zentrale Massnahme trotz der damit verbundenen Erhöhung des Wasserpreises [5].

Im Mittelpunkt der Untersuchungen stand die Frage, ob eine zentrale Enthärtung von Trinkwässern mit vergleichsweise hoher Härte sinnvoll ist. Dabei ergab eine Bewertung aus ökologischer Sicht, dass durch eine zentrale Enthärtung unter den untersuchten Randbedingungen deutliche Vorteile durch Verminderung ökotoxikologisch relevanter Emissionen resul-

tieren. Eine zentrale Enthärtung bedingt einen um zirka 15 bis 30 Rappen höheren Aufwand bei der Wasseraufbereitung, meist verbunden mit einer entsprechenden Anhebung des Wasserpreises. Demgegenüber ergeben sich aus ökonomischer Sicht deutliche Kosteneinsparungen bei der Verwendung von weicherem Wasser im Haushalt.

Als zusätzlicher Vorteil einer zentralen Enthärtung mit Membranen fällt neben der kompakten Bauweise, dem hohen Automatisierungsgrad und dem vergleichsweise geringen Chemikalienbedarf ins Gewicht, dass mit den Carbonat-Härtebildnern auch Sulfat und unerwünschte, gelöste organische Stoffe abgetrennt werden können. Ein DOC-Rückhalt von über 95 % mit Nanofiltrations-Membranen ermöglicht so eine zusätzliche und weitgehende Vermeidung von Desinfektions-Nebenprodukten (AOX, THM) und eine biologische Stabilisierung des Trinkwassers im Verteilnetz [6, 7, 8].

Dank

Der Autor bedankt sich bei Herrn Reinhard Perren, Leiter der Wasserversorgung Zermatt, und Herrn Michel Piller, Projektleiter beim Ingenieurbüro Ryser AG in Bern, für die Anregungen und die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Literaturverzeichnis

- [1] Boller, M.; Pianta, R. (2000): Trinkwasser aus Karstquellen – ein Fall für die Membrantechnik, Eawag News 48: 29–31.
- [2] Klahre, J.; Robert, M. (2002): Ultrafiltration zur Gewinnung von Trinkwasser, gwa 82 (1): 61–68.
- [3] Van der Bruggen, B.; Vandecasteele, C. (2003): Removal of pollutants from surface water and groundwater by nanofiltration: overview of possible applications in the drinking water industry, Environmental Pollution 122 (3): 435–445.
- [4] Ruhland, A.; Jekel, M. (2004): Aspekte bei der Wahl von Verfahren der zentralen Trinkwasserenthärtung. Teil 1: Voraussetzungen und Zielgrößen, gwf Wasser Abwasser 145(2): 98–111.
- [5] Hesse, S.; Baldauf, G.; Böhm, E.; Hillenbrand, T. (2004): Ökologische und ökonomische Aspekte einer zentralen Enthärtung von Trinkwasser. Energie Wasser-Praxis 5: 46–49.
- [6] Gorenflo, A.; Velázquez-Padrón, D.; Frimmel, F. H. (2003): Nanofiltration of a German groundwater of high hardness and NOM content: performance and costs. Desalination 151 (3): 253–265.
- [7] Escobar, I. C.; Randall, A. A. (1999): Influence of NF on distribution system biostability. Journal Awwa 91(6): 76–89.
- [8] Laurent, P.; Servais, P. et al. (1999): Microbiological quality before and after nanofiltration. Journal Awwa 91(10): 62–72.

Keywords

Enthärtung – Sulfat – Membranfiltration – Umkehrosmose

Adresse des Autors

Joachim Klahre, Dr.
Membratec AG
Technopôle 3
CH-3960 Sierre
Tel. +41 (0)27 456 86 30
Fax +41 (0)27 456 86 34
joachim.klahre@membratec.ch

Innovationspreis / Prix de l'innovation Aqua Pro 2006

Aus einer Reihe von acht eingereichten Projekten entschied sich die von Henri Burnier, Präsident des SVGW, geleitete Jury für die Membran-Enthärtungsanlage, die Membratec der Wasserversorgung Zermatt liefern konnte. Damit kann ein hartes (70 °f) und stark sulfathaltiges (600 mg/l) Quellwasser zentral mit Niederdruck-Umkehrosmose derart aufbereitet werden, dass weitere Massnahmen zur Vermeidung der bekannten Schäden durch Kalk- und Gipsablagerungen beim Verbraucher hinfällig werden.

Parmi les huit projets rendus, le jury d'Aqua Pro, dirigé par Monsieur Burnier, président de la SSIGE, a choisi d'honorer Membratec en lui offrant le prix de l'innovation pour sa 1^{ère} installation d'adoucissement par voie membranaire en Suisse. Cette installation d'osmose inverse à basse pression, exploitée par la commune de Zermatt, permet désormais de produire une eau potable à partir d'une eau très dure (70 °F) et très chargée en sulfates (600 mg/l). Sans un autre traitement auprès des consommateurs, cette filtration centralisée évite les dégâts habituels dus aux incrustations de calcaire ou à l'agressivité du sulfate.



Emmanuel Bonvin, Direktor Membratec, erhält von Henri Burnier, Präsident SVGW, den Innovationspreis 2006. / Emmanuel Bonvin, directeur de Membratec, reçoit de M. Henri Burnier, Président SSIGE, le trophée du Prix de l'Innovation 2006.