

# Nanofiltration – Schlüsseltechnologie zur Verwertung von Nebenprodukten

*In der Schweizer Milchwirtschaft sind für die wirtschaftlich und ökologisch sinnvolle Verwertung von Nebenprodukten wie Molke und Ultrafiltrations-Permeat (UF-Permeat) neue Lösungen gefragt. Eine mögliche Schlüsseltechnologie zur Verbesserung der aktuellen Situation stellt dabei die Nanofiltration dar. Die aus diesem Prozess entstehenden Produkte finden in der Lebensmittelbranche ein breites Anwendungsfeld, was in der Verwertung der Nebenprodukte neue Perspektiven eröffnet. Für industrielle und gewerbliche Betriebe wurden von der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Milchwirtschaft (FAM) und der Schweizerischen Hochschule für Landwirtschaft (SHL) die wirtschaftlichen Aspekte dieser Technologie untersucht.*

\* Eidgenössische Forschungsanstalt für Milchwirtschaft (FAM), Liebefeld, CH-3003 Bern,

\*\* Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (SHL), Abteilung Milchwirtschaft, CH-3052 Zollikofen  
Das Literaturverzeichnis kann direkt bei den Autoren angefordert werden  
Auskunft: Andreas Thomet, E-Mail: andreas.thomet@fam.admin.ch, Fax +41 (0)31 322 86 16, Tel. +41 (0)31 323 26 52

Bei der Verarbeitung von Milch fallen jährlich beträchtliche Mengen an Nebenprodukten an. Dazu gehören Molke aus der Käseherstellung und Permeat aus der Proteingewinnung mittels Mikrofiltration (MF) oder Ultrafiltration (UF).

Nebenprodukte sind reich an physiologisch und technologisch funktionellen Inhaltsstoffen, ihnen sollte daher aus wirtschaftlichen Gründen besondere Beachtung geschenkt werden. Aktuell gelangen 80 bis 90 Prozent der schweizerischen Molkenmenge in flüssiger oder in konzentrierter Form in die Tierfütterung. Die restlichen zehn bis 20 Prozent Molke werden industriell zu diversen Molken- oder Permeatpulvern aufbereitet (Abbildung 1). Bei der Herstellung von Permeatpulver und -konzentrat werden zunächst die wertvollen Molkenproteine mittels Ultrafiltration abgetrennt. Die Molkenproteine werden für unterschiedliche Anwendungen zu spezifischen Molkenproteinpulvern veredelt. Die Gewinnung der Molkenproteine

aus Molke stellt gegenüber dem Einsatz von Molke in der Tierfütterung eine Steigerung der Wertschöpfung dar. Aufgrund des hohen Mineralstoffgehaltes sind zudem Molke und Permeat sowie ihre Konzentrate in der Tierfütterung nur in beschränkten Mengen einsetzbar. Der Erlös aus dem beim Ultrafiltrationsprozess anfallenden Nebenprodukt, UF-Permeat, ist am Markt gering. Die Nanofiltration ermöglicht nun eine selektive Auftrennung von Molke oder Permeat in ihre einzelnen Bestandteile bei einer gleichzeitigen teilweisen Entmineralisierung des Konzentrates. Bei der Aufkonzentrierung von UF-Permeat könnte die Nanofiltration künftig eine interessante Möglichkeit darstellen, ein im Mineralstoffgehalt reduziertes

## Miss Milchmädchen.



- **Qualität.** Für Sie so selbstverständlich wie für uns.
- **Innovation aus Tradition.** Unser Credo für alle unsere Produkte und Dienstleistungen.
- **Sorgfalt.** Unser oberstes Prinzip von der Auswahl der Rohwaren bis zum Endprodukt.
- **Partnerschaft.** Die erfolgreiche Basis für die Entwicklung innovativer und erfolgreicher Produktkonzepte.

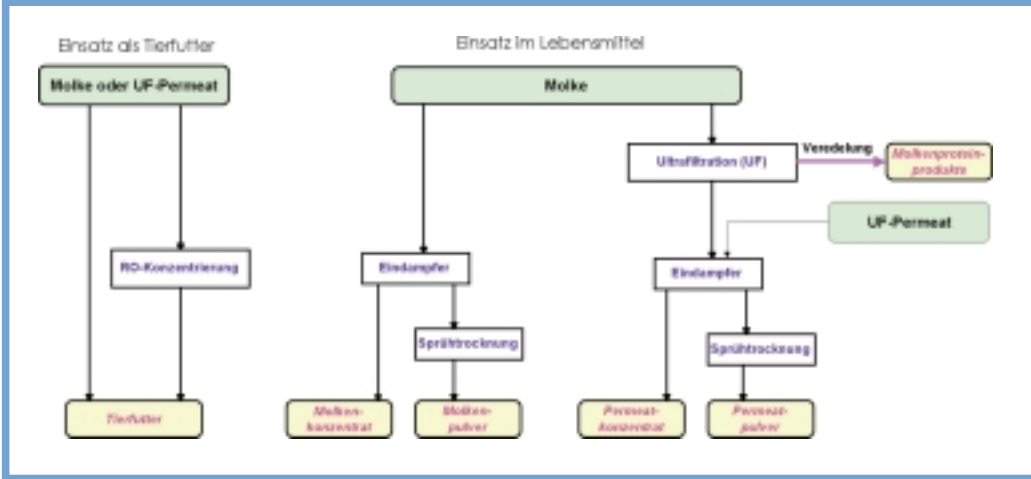
Willkommen bei Zentis!

Franz Zentis GmbH & Co. • Jülicher Straße 177 • D-52070 Aachen • Tel.: 02 41/47 60-0 • Fax: 02 41/47 60-3 69 • www.zentis.de

# ZENTIS

*Einfach traumhaft gut.*

Abbildung 1: Traditionelle Verfahren und Prozesse der Molken- und Permeatverwertung



zentrale Rolle spielen, wird diese Technik erst seit etwa 25 Jahren in der Lebensmittelindustrie für Trenaufgaben angewendet. In der schweizerischen Milchwirtschaft werden Membranverfahren hauptsächlich zur Proteingewinnung, zur Weich- und Frischkäseherstellung sowie zur Molkenkonzentrierung eingesetzt. In Abhängigkeit der Porenweite der Membranen werden Mikrofiltration (MF), Ultrafiltration (UF), Nanofiltration (NF) und Umkehrosmose (RO) unterschieden. Im Schnittbereich der RO und der UF ist die Nanofiltration anzusiedeln (Abbildung 3).

Laktosekonzentrat zu erhalten. Mittels NF gewonnenes und teilsalztes Molkenkonzentrat beispielsweise eröffnet in der Tierfütterung aufgrund seiner Zusammensetzung neue Möglichkeiten, zudem werden durch den Wegfall von Wasser die Transportkosten gesenkt.

Von der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Milchwirtschaft und der Schweizerischen Hochschule für Landwirtschaft wurden wirtschaftliche Kennziffern erarbeitet, welche die Kosten und den Erlös bei der Konzentrierung von UF-Permeat mit Nanofiltration von einer Trockensubstanz (TS) von 5,5 auf 22 Prozent für industrielle und für gewerbliche Betriebe aufzeigen.

Für industrielle Betriebe wurden des Weiteren die Rohstoff- und Betriebskosten der NF den Kosten der Vorkonzentrierung mittels Verdampfung gegenübergestellt (Abbildung 2). Für Milch können ähnliche Überlegungen angestellt werden, die jedoch in dieser Studie nicht berücksichtigt wurden.

**Membrantrennverfahren – theoretische Grundlagen**

Unter Membrantrennverfahren versteht man die Trennung von Stoffen aus flüssigen Systemen in Abhängigkeit der Stoffgröße entsprechend der Porenweite der Membranen.

Obwohl Membranprozesse beim Stoffaustausch in der Natur eine

Abbildung 2: Schema der beiden Prozesse

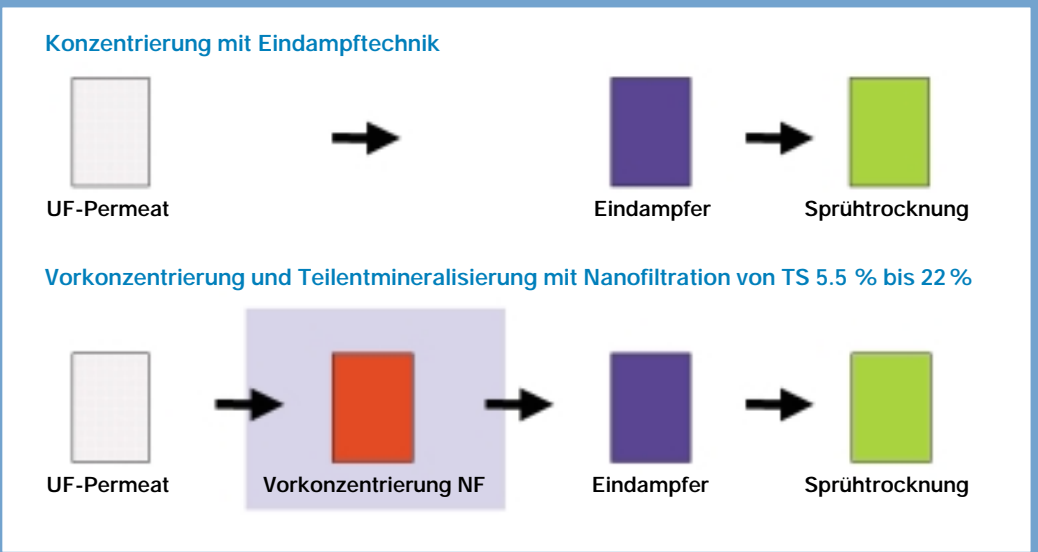


Abbildung 3: Einsatzbereich der Membrantrennverfahren

	Elektronisches Mikroskop		Optisches Mikroskop		von Auge erkennbar
	Ionenbereich	Molekularbereich	Makromolekularbereich	Mikropartikelbereich	Makropartikelbereich
Mikrometer (log-Skala)	0.001	0.01	0.1	1.0	10
Molekulargewicht (Da)	200	20.000	200.000	2.000.000	
Relative Größe der typischen Bestandteile	Ionen	β-Lactoglobulin	Immunoglobuline	Fettkügelchen	Hefen, Schimmelpilze
	Salze	Laktose	α-Lactalbumin	Kaseinzellen	Bakterien
Trennverfahren	Umkehrosmose	Nanofiltration	Ultrafiltration	Mikrofiltration	Herkönnliche Filtration

**Einsatzbereich der Nanofiltration**

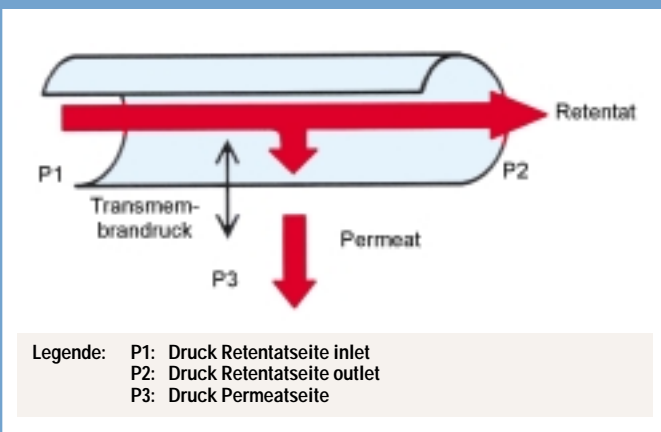
Die Umkehrosmose dient der Aufkonzentrierung der Inhaltsstoffe von Flüssigkeiten. Durch die äußerst engporige Membran können im Idealfall nur Wassermoleküle diffundieren, alle gelösten und suspendierten Stoffe werden zurückgehalten. Der Übergang von der Umkehrosmose zur Nanofiltration ist fließend. Die Nanofiltrationsmembran ist als eine spezielle RO-Membran anzusehen. Einfach geladene Ionen können dabei die Membran passieren, während mehrfach geladene Ionen und größere Moleküle von der Membran zurückgehalten werden. Die NF eignet sich also zur teilweisen Entmineralisierung von Lösungen bei einer gleichzeitigen Entwässerung. Die Anwendungsgebiete der Nanofiltration sind in der Lebensmittelindustrie sehr vielfältig, wie:

- Gewinnung von Laktoselösungen aus UF-Permeat
- Teilentsalzung bei gleichzeitiger Aufkonzentrierung von Molke oder UF-Permeat
- Gewinnung von Laktosederivaten in Kombination mit Fermentationsprozessen
- Gewinnung bioaktiver Peptide
- Vorbehandlung von Molke zur Herstellung von entmineralisierten (90 Prozent und mehr) Molkenprodukten mittels Ionenaustauschern
- Gewinnung von Quark-ähnlichem Frischkäse aus dem NF-Retentat von Milch

**Querstromfiltration (Cross-flow Filtration)**

Bei Membrantrennprozessen in der Lebensmittelindustrie wird im Gegensatz zu konventionellen Filtrationsverfahren die so-

Abbildung 4: Prinzip der Querstromfiltration (Cross-flow Filtration)



nannte Querstromtechnik eingesetzt (Abbildung 4). Das zu filtrierende Medium wird mit hoher Geschwindigkeit tangential zur Membranoberfläche bewegt. Der

Volumenstrom des Permeates verläuft dabei senkrecht zur Flussrichtung des Mediums. Die treibende Kraft des Prozesses ist der Transmembrandruck (TMP). Mit zuneh-

nicht linear mit dem TMP an, er sinkt sogar ab. Deckschichtbildung beeinflusst die Leistungsfähigkeit von Membrananlagen und die Trenneigenschaften der Prozesse.

**Der Erfolg einer neuen Technologie hängt von der Wirtschaftlichkeit ab**

Für die Erfassung und Berechnung der wirtschaftlichen Faktoren und Kennziffern, welche die Rentabilität von Filtrationsprozessen beeinflussen, sind im Wesentlichen die Rohstoffkosten, die Investitionskosten, die Betriebskosten und die daraus resultierenden Kapitalkosten zu beachten. Den Kosten stehen die erzielten Erträge aus den fabrizierten Produkten gegenüber.

Tabelle 1: Vergleich der Rohstoff- und Betriebskosten von NF, TBV- und MBV-Verdampfung pro Tonne UF-Permeat in industriellen Betrieben (TS von 5,5 auf 22%): Preise in €, Annahme der Anlagenleistungen: Jahresmenge 50 400 Tonnen UF-Permeat

		Geschätzte Rohstoff- und Betriebskosten [€/1 000 kg UF-Permeat]		
		Nanofiltration industrieller Betrieb	Verdampfung Fallstromverdampfer TBV mehrstufig	Verdampfung Fallstromverdampfer MBV einstufig
Rohstoff:	UF-Permeat	0	0	0
	Reinigungswasser:	0,05 – 0,09	0,03 – 0,04	0,02 – 0,03
	Membranersatz/Ersatzteile:	0,23 – 0,33	0,08 – 0,27	0,05 – 0,18
Energieverbrauch:	elektrische Energie	0,11 – 0,21	0,10 – 0,19	<b>0,60 – 1,20</b>
	Dampf	0,03 – 0,04	<b>2,54 – 2,86</b>	0,37 – 0,42
	Reinigungsmittel:	0,01 – 0,03	ca. 0,05	0,03 – 0,04
	Arbeit (Bedienung und Reinigung):	0,33 – 0,66	0,30 – 0,40	0,21 – 0,27
	Wartungsarbeit:	ca. 0,05	ca. 0,03	ca. 0,02
	Abwassergebühren:	<b>0,55 – 1,17</b>	0,12 – 0,17	0,09 – 0,11
	Platzbedarf:	0,03 – 0,17	<b>0,24 – 0,85</b>	<b>0,24 – 0,85</b>
<b>Total Rohstoff- und Betriebskosten:</b>		<b>1,40 – 2,75</b>	<b>3,47 – 4,86</b>	<b>1,63 – 3,13</b>

Quelle: Daten erhoben aus Praxisbetrieben (CH), Angaben seitens Anlagenlieferanten (CH) und Literatur.  
Legende: TBV: thermische Brüdenverdichtung  
MBV: mechanische Brüdenverdichtung

**Ersatzteile**  
Für alle gängigen Abfüll- und Verpackungsmaschinen in Originalqualität  
[www.schupack.com](http://www.schupack.com)  
**SCHUPACK** Schupack GmbH  
Johann-Pölach-Str. 5  
D-36088 Hunfeld  
Telefon (05652) 60660  
Telefax (05652) 60697  
sales@schupack.com

memdem Transmembrandruck steigt auch der Permeatvolumenstrom, der in der Fachsprache als Flux bezeichnet wird. An der Membran kann es zu einer Deckschichtbildung, einem sogenannten Fouling, kommen. Mit zunehmendem Druck nimmt die Deckschicht zu, der Flux steigt deshalb

Zur Ermittlung der wirtschaftlichen Faktoren muss der Prozess klar definiert und abgegrenzt werden. Zunächst werden dabei die einzelnen Verarbeitungsschritte festgelegt und eine möglichst praxisnahe Annahme der erforderlichen Anlagenleistung ge-

troffen. Zur Auslegung einer Nanofiltrationsanlage ist die gewünschte Retentat- bzw. Permeatleistung zu berechnen. Des Weiteren gilt es, Membransystem, Membrantyp und Anlagen-design zu bestimmen und den Flux, die erforderliche Membranfläche sowie die Anzahl Modulelemente und Druckrohre zu berechnen.

### Erfassung und Berechnung der Kosten

In dieser Studie setzen sich die Investitionskosten aus Membranen, Anlage, Stapeltanks und CIP-Anlage zusammen. Die Betriebskosten wurden aus Membranersatz, Energieverbrauch, Reinigungsmittel, Arbeit, Wartungsarbeit und Platzbedarf sowie den Abwassergebühren (Kosten pro m<sup>3</sup>) berechnet. Die Kapitalkosten setzen sich aus Amortisation und Kapitalzinsen (in dieser Studie ohne Zinsanspruch des Eigenkapitals) zusammen. Da das UF-Permeat als Abfallprodukt aus vorausgegan-

nen Prozessen betrachtet wird und somit keinen eigentlichen Wert mehr besitzt, werden die Rohstoffkosten mit 0,- € angenommen. Die Kalkulation der Erlöse ist von der Menge des Produktes, dem späteren Verwendungszweck, dem momentanen Marktpreis des Produktes und der Ausbeute abhängig. Potentielle Absatz-

möglichkeiten von NF-Retentat aus UF-Permeat sind der Verkauf an die Getränkeindustrie zur Herstellung von milchserumhaltigen Getränken sowie die Weiterverarbeitung zu Laktosepulver oder zu weiteren Produkten. Die Höhe des Gewinnes ist stark von den erschlossenen Absatzkanälen und vom resultierenden Erlös am Markt abhängig.

Terminologie der Membrantechnik	
<b>Membran:</b>	Nach Definition ist eine Membran eine Struktur, die eine Barrierefunktion bei aktivem oder passivem Stofftransport ausübt. Es existieren sowohl dünne (Flächenfilter) als auch dicke (Tiefenfilter) Membranen, wobei in der Lebensmittelindustrie vorwiegend Flächenfilter zur Anwendung gelangen.
<b>Retentat:</b>	Die von der Membran zurückgehaltene Phase, wird auch als Konzentrat bezeichnet.
<b>Permeat:</b>	Die Membran passierende Phase, wird auch als Filtrat bezeichnet.
<b>Flux:</b>	Die Leistungsfähigkeit der Membran, wird in Liter Permeat pro m <sup>2</sup> Membran pro Stunde angegeben.
<b>Fouling (Deckschicht):</b>	Eine dynamische Ansammlung von Teilchen auf der Membran, die den Flux reduziert.
<b>Transmembrandruck:</b>	Der Transmembrandruck ist der mittlere Druckunterschied der Retentatseite zur Permeatseite.
<b>Dalton (Da):</b>	Einheit des Molekulargewichtes.

### Vergleich der Rohstoff- und Betriebskosten in Industrie und Gewerbe

In dieser Arbeit wurden die Rohstoff- und Betriebskosten der NF für einen Industriebetrieb (Ausgangsleistung 7000 kg/h UF-Permeat) und einen gewerblichen Betrieb (Ausgangsleistung 500 kg/h UF-Permeat) ermittelt. Die Kosten der NF des Industriebetriebes wurden den kalkulierten Kosten zweier verschiedener industrieller Verdampfersysteme mit einer Leistung von 15000 kg Wasserverdampfung pro Stunde (thermische Brüdenverdichtung, mehrstufig) bzw. 22000 kg Wasserverdampfung pro Stunde (mechanische Brüdenverdichtung, einstufig) gegenübergestellt. Da ein Verdampfer in einem Industriebetrieb auch für die Herstellung anderer Produkte eingesetzt wird, wurde seine Leistung im Vergleich zur NF-Anlage deutlich höher gewählt. Momentan findet in der Milchverarbeitenden Industrie zur Konzentrierung von Nebenprodukten vorwiegend der Fallstromverdampfer Anwendung. Die Daten



**Nürnberg, Germany**  
**8. – 10.10.2003**

# FachPack 2003

**Nürnberg packt aus**  
Fachmesse für Verpackungs- und Kennzeichnungstechnik

**Veranstalter**  
NürnbergMesse  
Tel +49 (0) 9 11.86 06-49 79  
besucherinfo@nuernbergmesse.de

**Im Verbund mit**

 **LogIntern 2003**  
 **PrintPack 2003**

[www.fachpack.de](http://www.fachpack.de)

**Bestens verpackt ...**

... finden Sie auf der FachPack 2003 alle Informationen rund um das spannende Thema Verpackung. Als Funktions- oder Designelement entscheidet sie maßgeblich über den Verkauf. Neue Verpackungsideen sind neue Ideen für Ihren Erfolg – sichern Sie sich also Ihren Informationsvorsprung. Auf der FachPack 2003, im starken Messeverbund mit PrintPack und LogIntern.

**NÜRNBERG MESSE**

**Tabelle 2: Nanofiltration: industrieller und gewerblicher Betrieb im Vergleich (TS von 5,5 auf 22 %); Preise in €; Annahme der Anlagenleistungen: NF (Industrie): Jahresmenge 50 400 Tonnen UF-Permeat, NF (Gewerbe): Jahresmenge 3 640 Tonnen UF-Permeat**

		<b>Geschätzte Rohstoff- und Betriebskosten</b> [€/1 000 kg UF-Permeat]	
		<b>Nanofiltration</b> industrieller Betrieb	<b>Nanofiltration</b> gewerblicher Betrieb
Rohstoff:	UF-Permeat	0	0
Reinigungswasser:		0,05 – 0,09	0,08 – 0,13
Membranersatz/Ersatzteile:		0,23 – 0,33	0,26 – 0,39
Energieverbrauch:	elektrische Energie Dampf	0,11 – 0,21 0,03 – 0,04	0,22 – 0,44 0,10 – 0,13
Reinigungsmittel:		0,01 – 0,03	0,02 – 0,04
Arbeit (Bedienung und Reinigung):		0,33 – 0,66	<b>4,58 – 6,05</b>
Wartungsarbeit:		ca. 0,05	ca. 0,15
Abwassergebühren:		0,55 – 1,17	0,66 – 0,88
Platzbedarf:		0,03 – 0,17	0,13 – 0,59
<b>Total Rohstoff- und Betriebskosten:</b>		<b>1,40 – 2,75</b>	<b>6,18 – 8,79</b>
<b>Total Investitionskosten [€]:</b>		<b>193 333 – 232 000</b>	<b>72 667 – 109 333</b>
<b>Total Kapitalkosten [€/1 000 kg UF-Permeat]:</b>		<b>0,92 – 1,11</b>	<b>4,79 – 7,21</b>
<b>Gewinn [€/1 000 kg UF-Permeat]:</b>		<b>4,47 – 56,00</b>	<b>-7,64 – 47,33</b>

Quelle: Daten erhoben aus Praxisbetrieben (CH), Angaben seitens Anlagenlieferanten (CH) und Literatur.

und Faktoren, welche die Wirtschaftlichkeit dieser Technologien beeinflussen, sind in den Tabellen 1 und 2 dargestellt. Die Bestimmung der Kapitalkosten ist nach verschiedenen Methoden durchführbar. Die in dieser Studie durchgeführten Berechnungen beruhen auf folgenden Annahmen:

- Aufnahme eines Investitionskredites (50 Prozent der Investitionskosten)
- Amortisation des Investitionskredites in fünf Jahren
- Zinssatz des Investitionskredites von fünf Prozent
- lineare Abschreibung der gesamten Anlage in acht Jahren

### **Nanofiltration: Aufkonzentrierung und Teilentmineralisierung von UF-Permeat in einem Arbeitsgang**

Für gewerbliche Betriebe scheint die Nanofiltration ab einer ge-

wissen Anlagengröße und Auslastung zu einer Verbesserung der Ertragslage beizutragen. Kleine Betriebe benötigen zur rentablen Betriebsweise der Anlage eine genügend große Menge an UF-Permeat, die oft nur durch eine überbetriebliche Zusammenarbeit zur Verfügung steht. Die spezifischen Kosten pro Tonne verarbeitetes Ausgangsprodukt sind von der Anlagenleistung und der Auslastung abhängig und können auf diese Weise minimiert werden. Mit zunehmender Leistung der Anlage und hoher Auslastung verringern sich die Kapital- und Investitionskosten pro verarbeitete Tonne UF-Permeat. Bei Kleinanlagen beeinflussen neben den Kapitalkosten insbesondere die Arbeitskosten das Ergebnis negativ (Tabelle 2). Mit der Herstellung von NF-Retentat kann ein zusätzlicher Ertrag erwirtschaftet werden, während gleichzeitig die Absatzfrage von UF-Permeat entfällt. Die Trans-

portkosten können durch eine Volumenreduktion des Konzentrates um 75 Prozent deutlich gesenkt werden.

Das NF-Retentat kann als Rohstoff an die weiterverarbeitende Industrie (z. B. Spezialpulverhersteller) oder die Lebensmittelindustrie (z. B. Getränkeindustrie) verkauft werden.

Für Industriebetriebe stellt die NF-Technologie eine äußerst interessante Ergänzung zur Eindampfanlage dar (Tabelle 1, Tabelle 2). Zur Vorkonzentrierung des Produktes von 5,5 bis 22 % TS scheint die Nanofiltration wirtschaftlicher zu sein (Tabelle 1) und ermöglicht gleichzeitig die gezielte Teilentmineralisierung der Endprodukte. Ein Aufkonzentrieren des Retentates ab einer Trockensubstanz von 22 % ist jedoch aufgrund des zu hohen osmotischen Druckes bei der Nanofiltration mittels Verdampfer durchzuführen.

Ein Industriebetrieb gewinnt durch die Anschaffung einer NF-Anlage an zusätzlicher Verdampferkapazität zur Konzentrierung anderer Produkte. Die Anschaffung einer NF-Anlage stellt damit eine äußerst interessante Alternative zu einer teuren Neuinvestition in eine größere Eindampfanlage dar. □