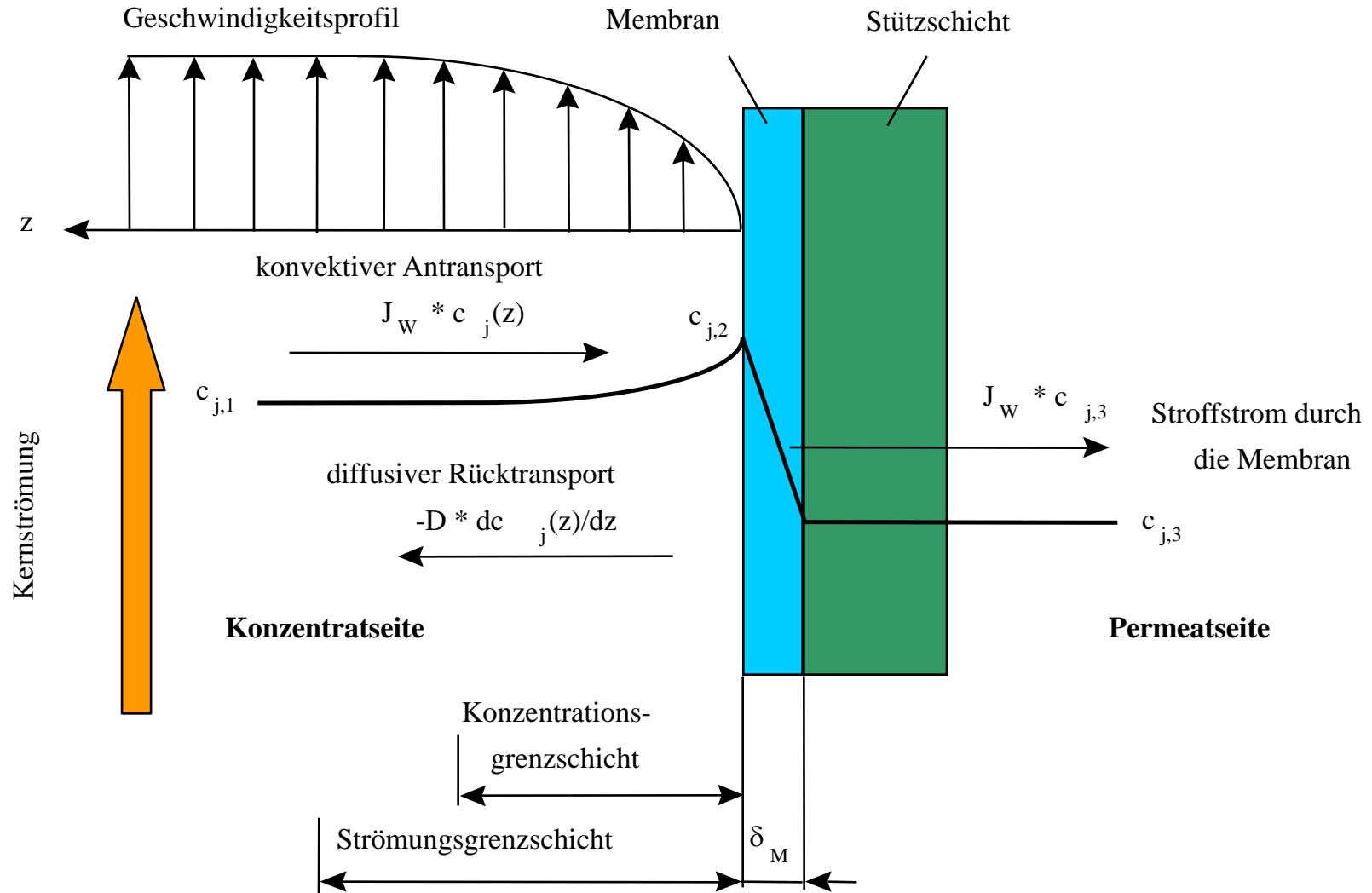


Konzentrationsprofile, -polarisation und Druckverluste in der porösen Stützschrift sind gegenüber der konzentratseitigen Polarisation zu vernachlässigen.

Konzentrationspolarisation entsteht durch

- ⇒ konvektiven und diffusiven Transport zur Membran
- ⇒ selektive Rückhaltung durch die Membran
- ⇒ diffusiven Rücktransport der zurückgehaltenen Komponenten aufgrund der laminaren Grenzschicht
- ⇒ Konzentrationsüberhöhung der zurückgehaltenen Komponente an der Membran und Konzentrationsverringerung der permeierenden Komponente, da $\sum w_i = 1$
- ⇒ Flußverringern und Verschlechterung der Permeatqualität; bei Überschreitung der Sättigungskonzentration entstehen Ausfällungen (Kristallisation, Scaling) oder kolloidales Fouling an der Membranoberfläche
- ⇒ Die zurückgehaltene Komponente bildet eine Deckschicht auf der Membranoberfläche



Konzentrationspolarisation tritt verstärkt bei Membranen mit hohen Permeatraten (MF, UF) auf.

Membrankontrollierter Stoffaustausch

Lösungs-Diffusions-Membranen mit geringen Permeatflüssen

Deckschichtkontrollierter Stoffaustausch

Membran und Deckschicht sind für die Leistung bestimmend.

Bei der Mikrofiltration kann in den meisten Anwendungen der Membranwiderstand gegenüber dem Deckschichtwiderstand vernachlässigt werden.

Die Leistung der Membran kann durch die Strömungsverhältnisse entlang der Membran beeinflußt werden!

Durch eine Erhöhung der Turbulenz wird die Dicke der Grenzschicht verringert, aber auch der Energiebedarf erhöht.

Biofouling = Ablagerung und Wachstum von Mikroorganismen auf der Membran



- Verstärkung der Konzentrationspolarisation
- Erhöhung des Reibungswiderstands
- mögliche irreversible Membranschädigung

Verhinderung/Verminderung von Biofouling durch

- Sterilisation
- richtige Auswahl der Membranwerkstoffe, z.B. Membranen mit Oberflächenladungen
- Beschichtung der Membran mit bakterizid wirkenden Substanzen, z.B. Silber
- hohe Fließgeschwindigkeiten

Aufgrund der laminaren Strömungsgrenzschicht lagern sich Partikel auf der Membran ab.

Druckerhöhung nicht wirksam, da

- Deckschicht kompressibel und
- Transport von Teilchen zur Membran erhöht

Verringerung der Deckschicht durch

- Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit
- Begasung des strömenden Mediums

1. Überströmgeschwindigkeit

$$v_{\text{ÜS}} = \frac{Q_F}{F}$$

mit Überströmgeschwindigkeit $v_{\text{ÜS}}$, Feedvolumenstrom Q_F , freier Querschnittsfläche F unter Vernachlässigung des Permeatvolumenstroms

2. Permeatfluß (Flux)

$$J = \frac{Q_P}{A}$$

mit Permeatvolumenstrom Q_P , Membranoberfläche A

Reinwasserfluß J_W zur Vergleichbarkeit von Membranen und zur Überprüfung des Membranzustands.
Bestimmung mit Reinstwasser bei 25 °C, Transmembrandruck 10^5 Pa

3. Transmembrandruck

mittlerer Differenzdruck zwischen Retentat- und Permeatseite

$$p_T = \frac{p_{F,\text{ein}} + p_{R,\text{aus}}}{2} - p_P$$

$p_{F,\text{ein}}$ Druck des Feedstromes am Eintritt in das Modul,

$p_{R,\text{aus}}$ Druck des Retentatstromes am Austritt aus dem Modul

p_P permeatseitiger Druck

4. Druckverlust im Modul

Differenzdruck des Feedstroms am Eintritt in das Modul und des Retentatstrom am Austritt aus dem Modul

$$\Delta p_M = p_{F,\text{ein}} - p_{R,\text{aus}}$$

f (Modulkonstruktion, Strömungsgeschwindigkeit, Membranabmessungen, Viskosität).

Bei der Überschreitung eines kritischen Druckverlustes

bei Wickelmodulen → irreversible Schädigung (Teleskopung).

5. Aufkonzentrierungsverhältnis

Ist die Aufkonzentrierung eines vorgelegten Volumens im Batchbetrieb und ist zeitabhängig

$$\alpha_v = \frac{V_F}{V_K(t)} = \frac{V_K(t) + V_P(t)}{V_K(t)}$$

Im kontinuierlichen Betrieb wird die Permeatausbeute ϕ verwendet, die aus dem Verhältnis Permeat- zu Feedvolumenstrom gebildet wird.

$$\phi = \frac{\dot{m}_P}{\dot{m}_F}$$

6. Rückhaltung

Rückhaltevermögen einer Membran für eine Komponente i. Unter Vernachlässigung der Konzentrationsänderung auf der Retentatseite der Membran über die Länge ist

$$R_i = \frac{w_{i,F} - w_{i,P}}{w_{i,F}} \cdot 100\%$$

Massenkonzentration der Schlüsselkomponente

- im Feed $w_{j,F}$ (oder im Konzentrat $w_{j,K}$)
- im Permeat $w_{j,P}$

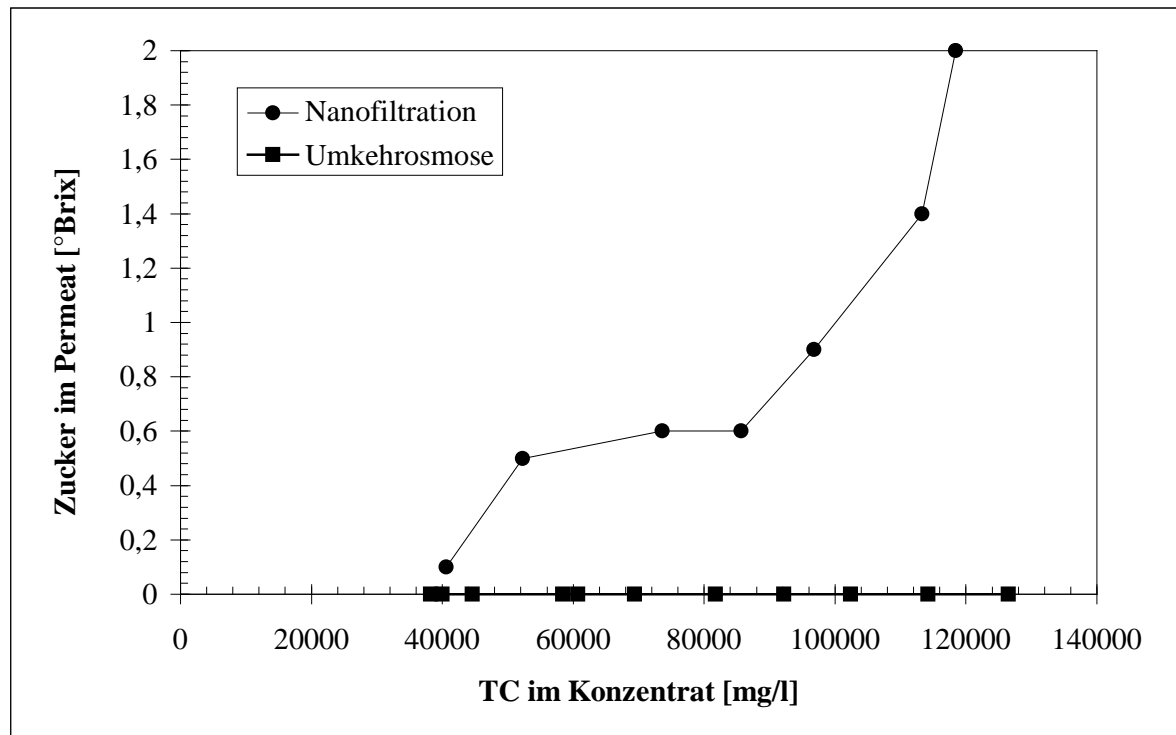
7. Selektivität

Fähigkeit einer Membran hinsichtlich ihres Rückhaltevermögens zwischen verschiedenen Komponenten einer Mischung zu unterscheiden. Sie ist allgemein definiert als Verhältnis der Konzentration der Komponenten i und j in Permeat und Feed

$$S_{ij} = \frac{w_{iP} / w_{jP}}{w_{iF} / w_{jF}}$$

Eine hohe Selektivität bezüglich einer Komponente bedeutet, dass diese Komponente bevorzugt permeiert.

Membransorption und Konzentrationspolarisation



$\Delta p = 3,6 \text{ MPa}$

20° C

$v = 2 \text{ m s}^{-1}$

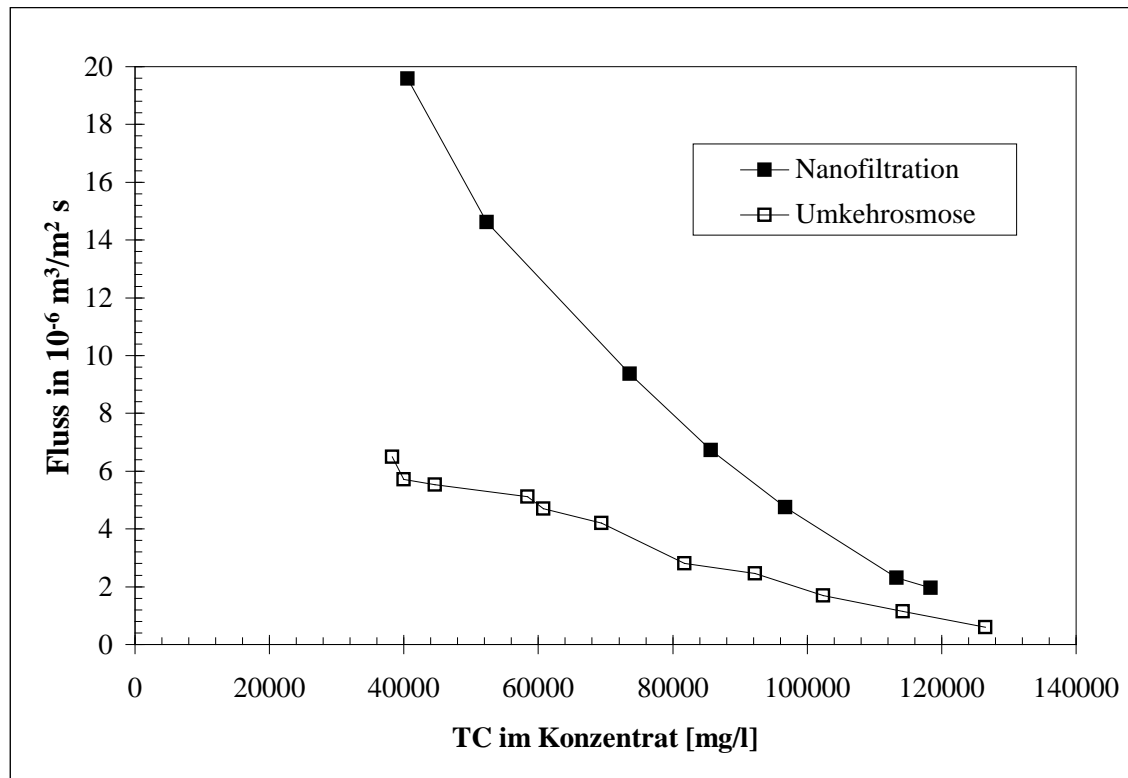
Rohrmembranen

$1^\circ \text{ Brix} = 10 \text{ g}$

Saccharose/kg

Zuckerkonzentration im Permeat in Abhängigkeit von der TC-Konzentration
im Konzentrat, Saccharoselösung (342 g/mol)

Osmotischer Druck und Konzentrationspolarisation



$\Delta p = 3,6 \text{ MPa}$

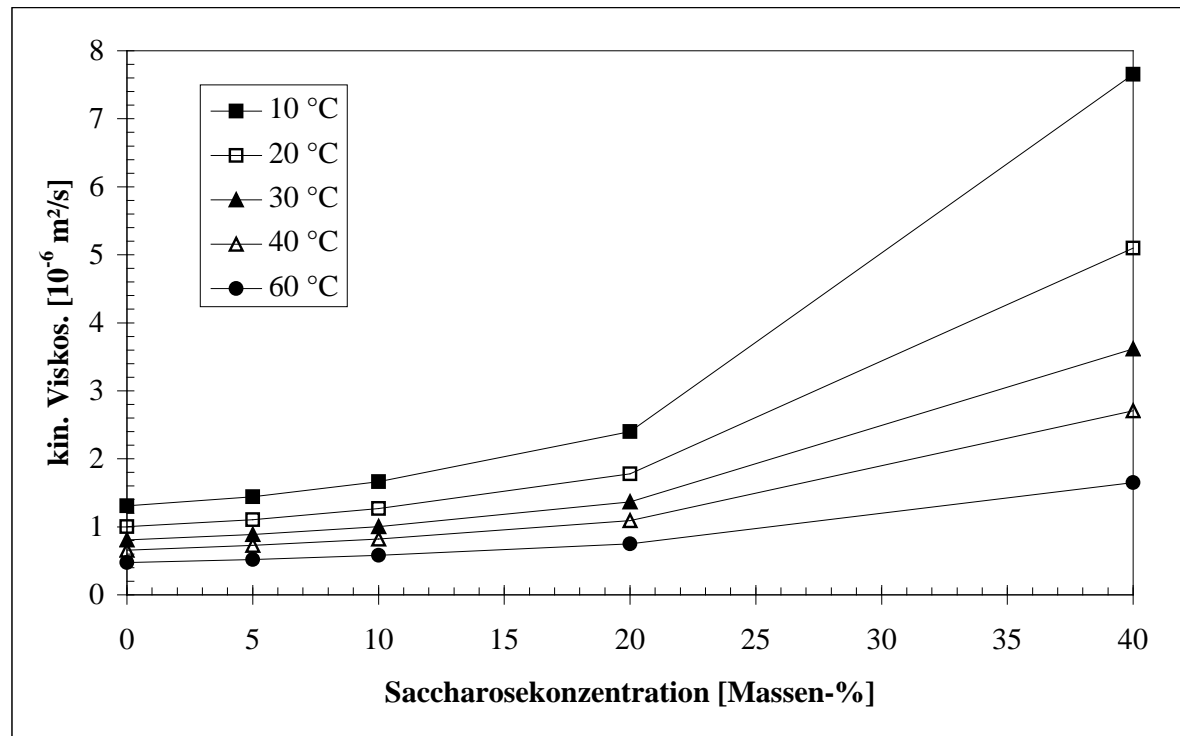
20° C

$v = 2 \text{ m s}^{-1}$

Rohrmembranen

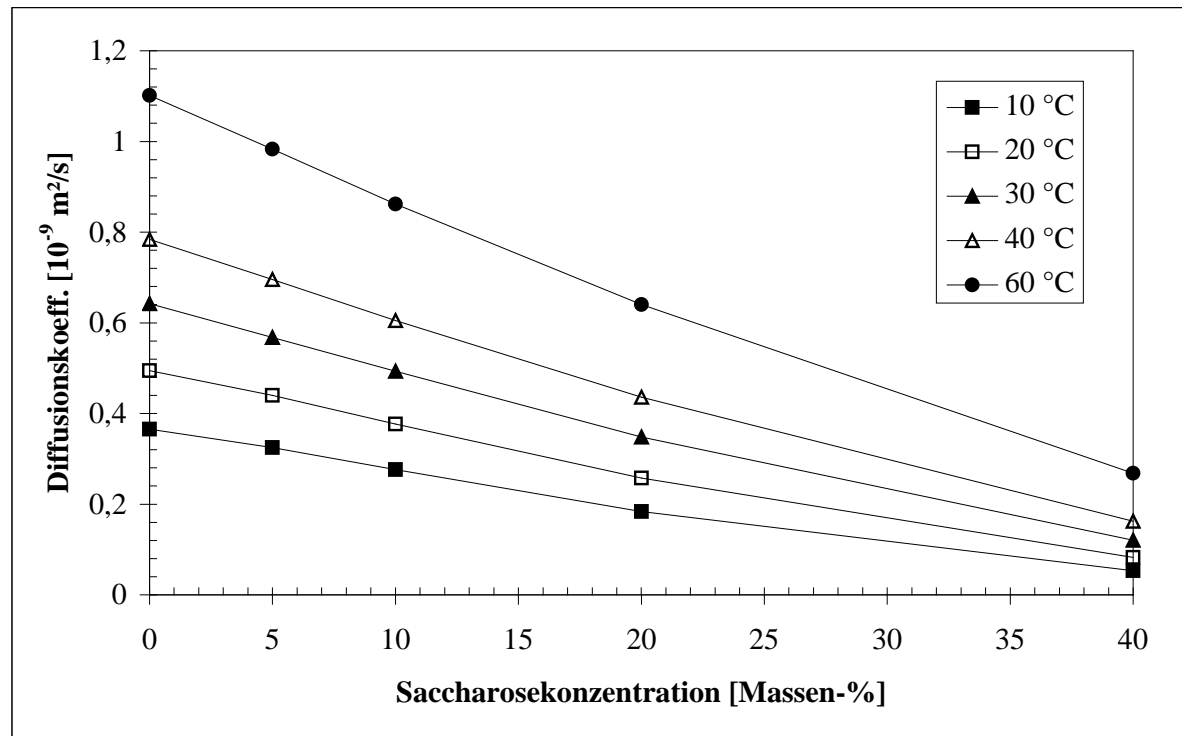
Permeatfluss für Nanofiltrationsmembran WFNX 0505 und Umkehrosmosemembran WFC 0995
in Abhängigkeit von der TC-Konzentration im Konzentrat, Saccharoselösung (342 g/mol)

Viskosität



Kinematische Viskosität von Saccharoselösungen bei verschiedenen Temperaturen

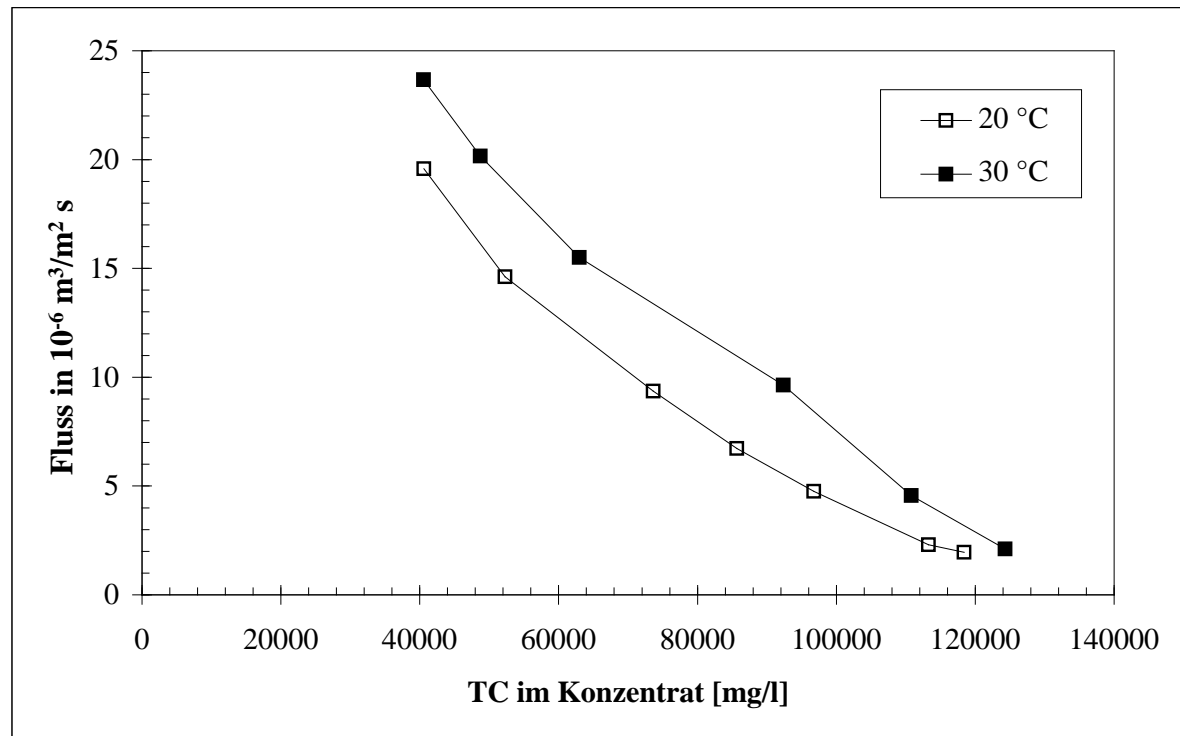
Diffusionskoeffizienten



Diffusionskoeffizient von Saccharoselösungen mit

$$\frac{D_{ij} \cdot \eta}{T} = \text{const.}$$

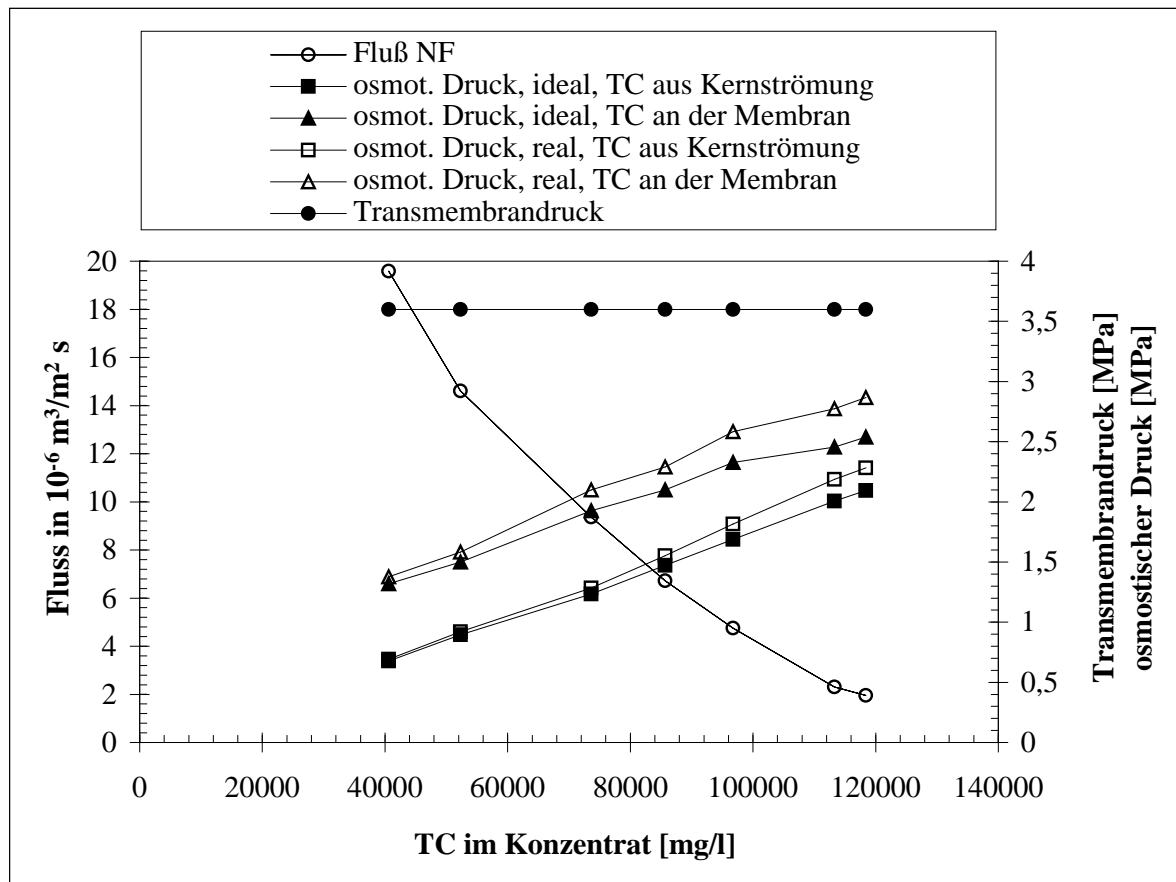
Temperatureinfluss



$\Delta p = 3,6 \text{ MPa}$
 $v = 2 \text{ m s}^{-1}$
Rohrmembranen

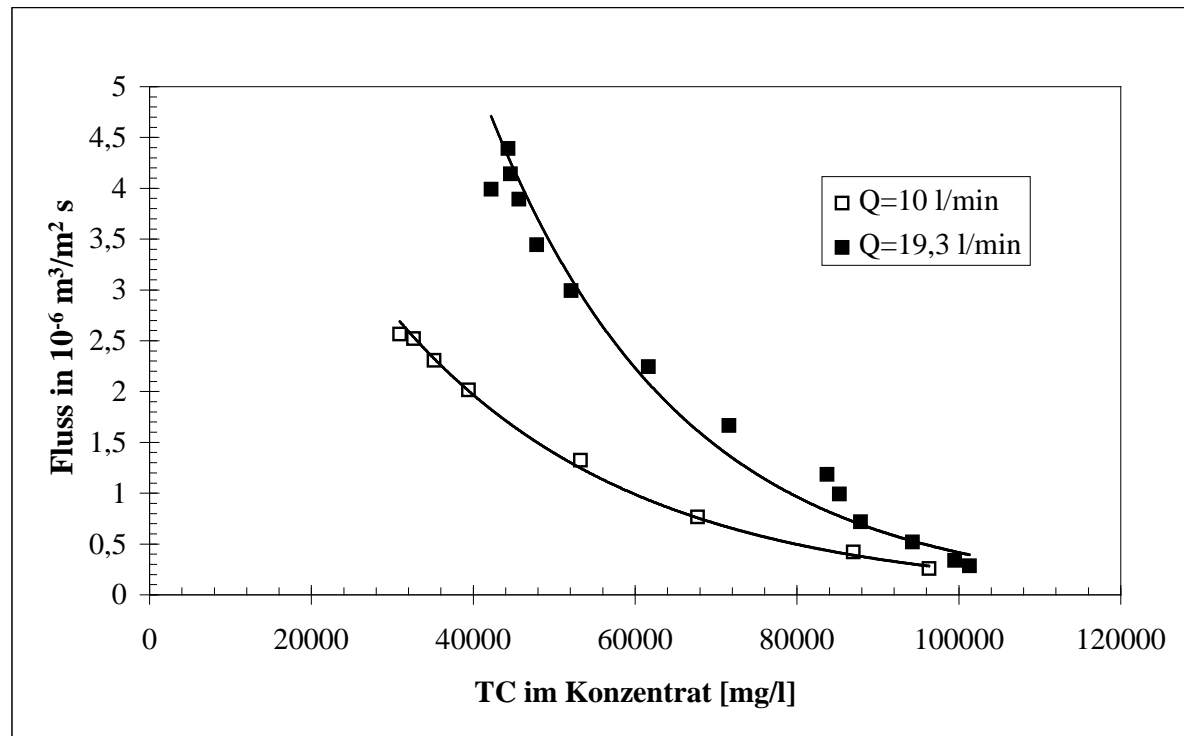
Permeatfluß in Abhängigkeit von der TC-Konzentration im Konzentrat bei verschiedenen Temperaturen bei der Nanofiltration, Saccharoselösung

Osmotischer Druck, Konzentrationspolarisation



Fluß, osmotischer Druck und Transmembrandruck in Abhängigkeit von der TC-Konzentration im Konzentrat, Saccharoselösung, 20 °C, Nanofiltration

Hydrodynamik



$\Delta p = 4 \text{ MPa}$

20° C

Umkehrosmose

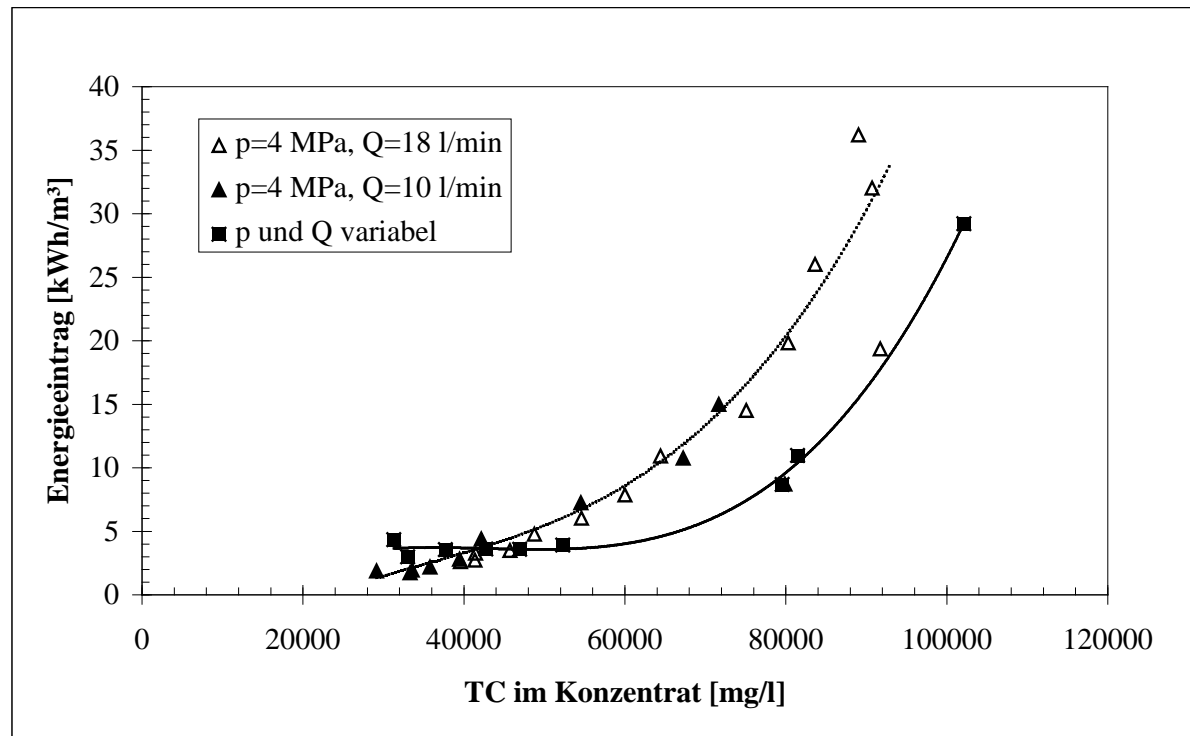
Wickelmodul

Desal 3-SG LP

0,3 u. $0,58 \text{ m s}^{-1}$

Fluß in Abhängigkeit von der TC-Konzentration im Konzentrat bei unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten, Abwasserteilströme aus der Erfrischungsgetränkeherstellung

Energiebedarf



$\Delta p = 4$ MPa
20° C
Umkehrosmose
Wickelmodul
Filmtec SW 30
0,12 u. 0,22 m s⁻¹

Spezifischer Energieeintrag in Abhängigkeit von der Aufkonzentrierung