

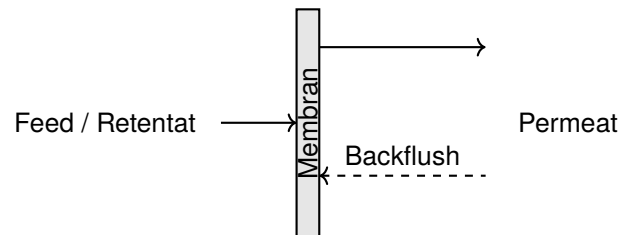
# Backflushing

<b>1 Einführung</b>	<b>2</b>
1.1 Backflushing . . . . .	2
1.2 Reinigung . . . . .	3
<b>2 Deck- und Grenzschichten</b>	<b>3</b>
2.1 Keramische Membranen . . . . .	3
2.2 Intervalle . . . . .	4
2.3 Abhängig von Permeatvolumen . . . . .	4
2.4 Abhängig von Flux . . . . .	4
2.5 Backflushing bei Hohlfasermembranen . . . . .	5
<b>3 Automatisierung und Prozessintegration</b>	<b>5</b>
3.1 Zeit- und messwertbasierte Rückspülstrategien . . . . .	5
3.2 Baugruppen und technische Umsetzung . . . . .	5
<b>4 Rückspülung von Chemikalien</b>	<b>6</b>
4.1 Chemisch unterstützte Rückspülung . . . . .	6
4.2 Vorteile für Betrieb und Wirtschaftlichkeit . . . . .	6

# 1 Einführung

## 1.1 Backflushing

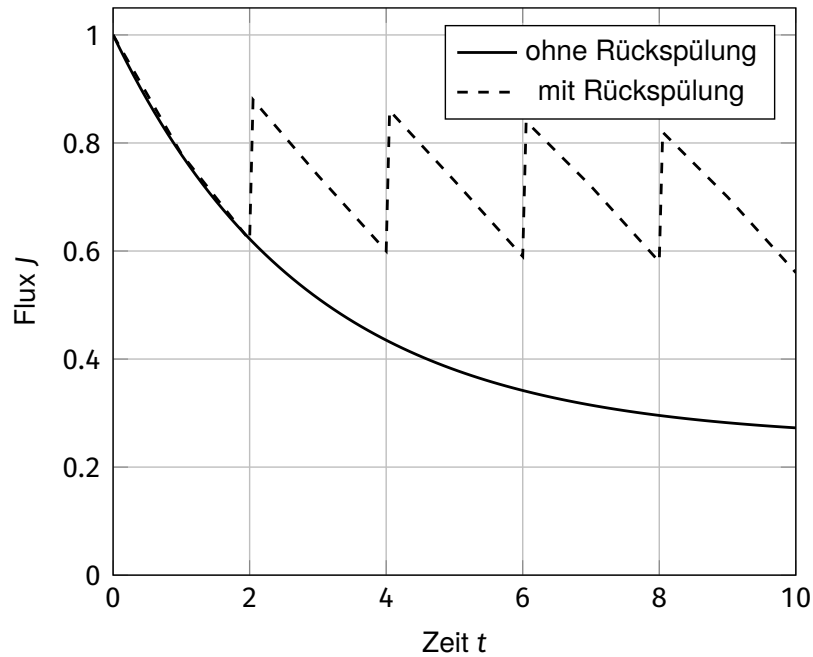
Backflushing bezeichnet ein periodisches Rückspülverfahren in Membrantrennprozessen. Dabei wird ein kurzzeitiger Gegendruck auf der Permeatseite der Membran erzeugt. Dieser Gegendruck kehrt die normale Filtrationsrichtung für einen sehr kurzen Zeitraum um. Ziel ist es, ein definiertes, möglichst kleines Permeatvolumen in entgegengesetzter Richtung durch die Membran zu pressen.



**Abbildung 1.** Schematisches Prinzip des Backflushings mit normaler Filtration und periodischer Rückspülung

Das Verfahren ist integraler Bestandteil vieler automatisierter Membranfiltrationsanlagen. Es wird überwiegend softwaregesteuert und ist vollständig in die Ablaufsteuerung integriert. Backflushing wird auch als Rückspülung, Rückimpuls oder Backwash bezeichnet. Im englischsprachigen Raum sind zudem die Begriffe Backpulse oder Reverse Filtration gebräuchlich.

Backflushing wird vor allem bei der Mikrofiltration und Ultrafiltration eingesetzt. Bei diesen Verfahren sind die Membranporen *relativ* gross. Der rückgespülte Permeatstrom ist in vielen Fällen ausreichend, um die Deckschicht anzugreifen. Dabei lösen sich die abgelagerten Stoffe von der Membranoberfläche. Die verbleibende, nun dünnere Deckschicht wird dadurch wieder durchlässiger.



**Abbildung 2.** Schematischer Fluxverlauf bei einer Mikrofiltration ohne und mit Rückspülung (Backflushing).

Bei der Nanofiltration und der Umkehrosmose ist der Rückfluss eher klein. Das genügt nicht, um die Deckschicht abzulösen. Wickelmodule sind besonders empfindlich. Aus konstruktiven Gründen darf der Überdruck auf der Permeatseite nicht höher als 0,5 bar sein.

## 1.2 Reinigung

Backflushing ist von der klassischen CIP-Reinigung klar abzugrenzen. Während CIP eine chemische Reinigung mit längeren Stillstandszeiten darstellt, erfolgt Backflushing während des Betriebs. Backflushing wirkt kurzfristig und lokal direkt an der Membranoberfläche. Im Vergleich zur kontinuierlichen Crossflow-Erhöhung ist der Energieaufwand geringer. Backflushing ersetzt keine vollständige Reinigung, verzögert diese jedoch signifikant. Damit trägt es wesentlich zur Anlagenverfügbarkeit bei.

## 2 Deck- und Grenzschichten

Während der Filtration bilden sich auf der Membranoberfläche Deck- und Grenzschichten. Diese bestehen aus suspendierten Feststoffen, Kolloiden oder makromolekularen Verbindungen. Zusätzlich kommt es zur Porenverblockung durch kleinere Partikel. Diese Effekte führen zu einer Verminderung der Permeatleistung. Backflushing wirkt diesen Mechanismen gezielt entgegen.

### 2.1 Keramische Membranen

Keramische Membranen eignen sich besonders gut für Backflushing. Sie zeichnen sich durch hohe mechanische Festigkeit und Druckbeständigkeit aus.

Keramische Mikrofiltrationsmembranen werden häufig im Lebensmittel- und Biotech-Bereich eingesetzt. Hier treten proteinreiche und bioaktive Ablagerungen besonders häufig auf. Backflushing entfernt diese Ablagerungen effektiv von der Membranoberfläche. Auch die Standzeit der Membranen wird dadurch verlängert.

## 2.2 Intervalle

Die Wirksamkeit des Backflushing hängt wesentlich von der Wahl geeigneter Intervallzeiten und Auslösekriterien ab. Ein zentraler Parameter ist die Zeit zwischen zwei Backflushing-Vorgängen. Typische Rückspülintervalle liegen im Bereich von wenigen Minuten bis zu mehreren zehn Minuten. In der Praxis haben sich Zykluszeiten von etwa drei bis zehn Minuten bewährt. Die optimale Intervallzeit ist stark prozessabhängig und wird durch Medium, Feststofffracht und Membrantyp bestimmt. Zu lange Intervalle führen zu fortgeschrittenem Fouling, das durch Rückspülung nur noch unvollständig entfernt werden kann. Zu kurze Intervalle erhöhen den Permeatverlust und reduzieren die Nettoanlagenleistung. Die Festlegung der Intervallzeit erfolgt daher häufig auf Basis von Versuchsdaten und Betriebserfahrung.

Neben dem Intervall ist die Dauer des eigentlichen Backflushing-Vorgangs entscheidend. Der Rückspülimpuls ist bewusst sehr kurz gehalten. Typische Dauerwerte liegen im Bereich von 0.1 bis 1 Sekunde. Während dieses Zeitraums wird ein definierter Druckimpuls auf der Permeatseite aufgebaut. Das Ziel ist die Ablösung von Deckschichten an der Membranoberfläche. Eine Verlängerung der Rückspüldauer erhöht die Reinigungswirkung meist nur geringfügig. Gleichzeitig steigt der Permeatverbrauch überproportional an. Aus diesem Grund werden kurze, intensive Impulse bevorzugt.

In der einfachsten Betriebsform wird Backflushing zeitgesteuert durchgeführt. Dabei wird ein fester Rückspülzyklus in der SPS parametrierbar. Diese Strategie ist robust und leicht umzusetzen. Sie eignet sich besonders für Prozesse mit konstanter Feed-Zusammensetzung. Allerdings reagiert eine reine Zeitsteuerung nicht auf schwankende Belastungen. Bei variabler Foulingneigung kann sie daher ineffizient sein. Aus diesem Grund werden zunehmend adaptive Regelstrategien eingesetzt.

## 2.3 Abhängig von Permeatvolumen

Eine weiterentwickelte Variante ist die Steuerung des Backflushing in Abhängigkeit vom Permeatvolumen. Hierbei wird ein Rückspülvorgang ausgelöst, nachdem ein definiertes Permeatvolumen filtriert wurde. Diese Methode koppelt die Rückspülfrequenz direkt an die Anlagenleistung. Sie ist unabhängig von der absoluten Betriebszeit. Insbesondere bei schwankender Betriebsweise bietet dieser Ansatz Vorteile. Das Permeatvolumen kann direkt aus Durchflussmessungen integriert werden. Die Parametrierung erfolgt meist als Volumen pro Rückspülimpuls. Damit wird eine gleichmässige Belastung der Membran sichergestellt.

## 2.4 Abhängig von Flux

Eine besonders prozessnahe Strategie ist die Auslösung des Backflushing anhand des Flux. Der spezifische Permeatfluss wird kontinuierlich überwacht. Sinkt der Flux unter einen definierten Grenzwert, wird ein Rückspülimpuls ausgelöst. Dieser Grenzwert repräsentiert einen kritischen Foulingzustand. Die Strategie reagiert direkt auf die tatsächliche Membranperformance. Sie ist besonders geeignet für anspruchsvolle Medien mit variabler Foulingdynamik. Der Flux wird häufig aus Permeatdurchfluss und Membranfläche berechnet. Alternativ kann der Transmembrandruck als indirekte Führungsgrösse dienen.

In der Praxis werden häufig Kombinationen aus mehreren Kriterien verwendet. So kann ein maximaler Zeitabstand mit einem Flux-Grenzwert kombiniert werden. Damit wird sichergestellt, dass Backflushing sowohl regelmässig als auch bedarfsorientiert erfolgt. Die entsprechenden Grenzwerte und Zeitparameter sind Bestandteil der Functional Design Specification. Für validierte Anwendungen müssen diese Parameter dokumentiert und nachvollziehbar begründet werden. Die saubere Auslegung der Intervallzeiten ist entscheidend für Effizienz, Membranschutz und Anlagenverfügbarkeit.

## 2.5 Backflushing bei Hohlfasermembranen

Auch Hohlfasermembranen in MF- und UF-Anwendungen nutzen Backflushing. Das Permeat wird dabei von ausserhalb der Faser in das Faserrinnere gedrückt. Die Fasergeometrie erlaubt eine sehr gleichmässige Rückspülung. Gleichzeitig sind die maximal zulässigen Rückdrücke begrenzt. Die Auslegung der Rückspülparameter ist daher besonders sorgfältig vorzunehmen. Backflushing ist hier ein zentrales Instrument zur Flux-Stabilisierung.

## 3 Automatisierung und Prozessintegration

### 3.1 Zeit- und messwertbasierte Rückspülstrategien

In der Praxis wird Backflushing automatisiert in festen Intervallen durchgeführt. Die Zykluszeiten werden an Medium, Membran und Betriebsweise angepasst. Alternativ kann die Rückspülung messwertbasiert ausgelöst werden. Typische Triggergrössen sind der Transmembrandruck oder der spezifische Flux. Ein definierter Grenzwert löst die Rückspülsequenz aus. Diese adaptive Strategie erhöht die Prozesseffizienz. Gleichzeitig wird unnötiger Permeatverbrauch vermieden. Die vollständige Integration in das Automationskonzept ist hierfür Voraussetzung.

### 3.2 Baugruppen und technische Umsetzung

Eine Backflushing-Einheit besteht aus mehreren funktionalen Baugruppen. Zentrale Elemente sind Rückspülventile und ein Permeatspeicher. Zusätzlich werden Drucksensoren und schnelle Aktoren benötigt. Die Ventile müssen kurze Schaltzeiten und hohe Zyklenzahlen erlauben. Die SPS steuert die Rückspülsequenz synchron zur Filtration. Sicherheitsfunktionen verhindern unzulässige Drucküberschreitungen. Die Auslegung erfolgt typischerweise herstellerspezifisch. Backflushing ist daher stets integraler Bestandteil der Anlagenkonstruktion.

## 4 Rückspülung von Chemikalien

### 4.1 Chemisch unterstützte Rückspülung

Die chemisch unterstützte Rückspülung wird als *Chemically Enhanced Backflush* (CEB) bezeichnet. Sie stellt eine Erweiterung des klassischen Backflushings dar und kombiniert physikalische und chemische Reinigungsmechanismen. Bei der CEB wird das für die Rückspülung verwendete Permeat gezielt mit Reinigungschemikalien versetzt. Die Rückspülung erfolgt weiterhin als kurzer, impulsartiger Gegendruck auf der Permeatseite der Membran. Zusätzlich zur mechanischen Ablösekraft wirkt die chemische Komponente direkt auf die Foulingstrukturen ein. CEB wird insbesondere dann eingesetzt, wenn eine rein physikalische Rückspülung nicht mehr ausreichend wirksam ist. Typische Einsatzfälle sind stark haftende organische Beläge oder bioaktive Ablagerungen. Auch proteinreiche Fouling-Schichten lassen sich mit CEB deutlich effizienter entfernen.

Im Vergleich zur klassischen CIP erfolgt die CEB mit wesentlich geringeren Chemikalienkonzentrationen. Die Einwirkzeiten sind kurz und liegen meist im Sekundenbereich. Dadurch wird die Belastung der Membranmaterialien minimiert. Gleichzeitig bleibt die Anlage weitgehend im Betriebszustand und muss nicht vollständig stillgesetzt werden. CEB eignet sich daher besonders für kontinuierlich oder semikontinuierlich betriebene Anlagen. In biotechnologischen Prozessen ist diese Eigenschaft von grosser Bedeutung. Hier treten häufig Biofilme und mikrobiell beeinflusste Ablagerungen auf. CEB ermöglicht eine gezielte Entfernung dieser Beläge, bevor sie irreversibel anwachsen. Die Frequenz vollständiger CIP-Reinigungen kann dadurch signifikant reduziert werden. Dies führt zu einer Verkür-

zung der kumulierten Stillstandszeiten. Auch der Gesamtverbrauch an Reinigungschemikalien sinkt. Typische Chemikalien für CEB sind alkalische oder saure Reiniger sowie spezielle Additive. Die Auswahl der Chemikalien richtet sich nach Membranmaterial, Foulingart und Prozessmedium. Insbesondere keramische Mikro- und Ultrafiltrationsmembranen sind für CEB sehr gut geeignet. Sie weisen eine hohe chemische Beständigkeit gegenüber aggressiven Reinigern auf. Die Integration von CEB in das Automationskonzept erfolgt analog zum Backflushing. Auslösebedingungen, Dosiermengen und Sicherheitsfunktionen werden in der Functional Design Specification definiert. Damit wird ein reproduzierbarer und sicherer Betrieb gewährleistet.

CEB stellt somit ein leistungsstarkes Werkzeug zur nachhaltigen Foulingkontrolle dar. In modernen Membrananlagen ist es ein wesentlicher Baustein für hohe Verfügbarkeit und stabile Trennleistung.

## **4.2 Vorteile für Betrieb und Wirtschaftlichkeit**

Die Kombination aus Backflushing und CEB erhöht die Reinigungsleistung erheblich. CIP-Zeiten werden verkürzt und Medienverbräuche reduziert. Die Anlagenverfügbarkeit steigt signifikant. Auch die Lebensdauer der Membranen wird positiv beeinflusst. Insbesondere keramische Membranen profitieren von dieser Strategie. Die Prozessstabilität wird erhöht und reproduzierbare Betriebsbedingungen geschaffen. Backflushing ist damit ein zentrales Element moderner Membranverfahrenstechnik. Seine Bedeutung nimmt mit steigenden Anforderungen an Effizienz und Hygiene weiter zu.