

Messinger Engineering  
David-Hess-Weg 34  
CH-8038 Zürich

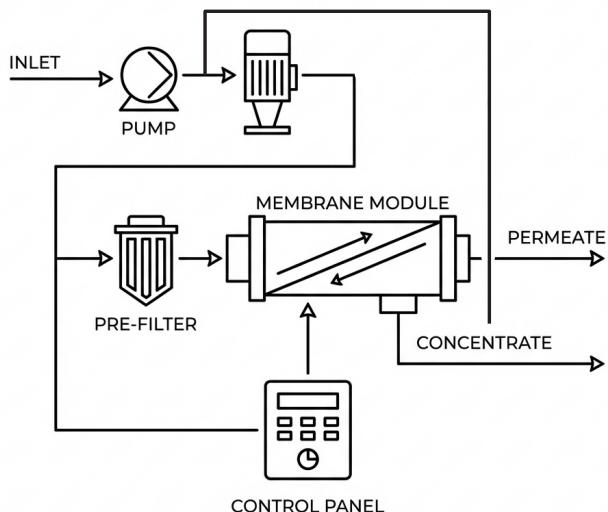
 info@membranfiltration.ch

 +41 79 390 60 48



Membrantechnik - Konzepte und Anwendungen

FUNCTIONAL DESIGN SPECIFICATION  
**MEMBRANE FILTRATION SYSTEM**



# Automationsbeschrieb

<b>1 Automationsbeschrieb bei Membrananlagen</b>	<b>3</b>
<b>2 Ziel und Bedeutung</b>	<b>3</b>
<b>3 Anlagenübersicht und funktionale Struktur</b>	<b>4</b>
<b>4 Phasen, Schritte und Betriebsarten</b>	<b>4</b>
4.1 Phasenmodell und Prozessgliederung . . . . .	4
4.2 Schritte, Sequenzen und deterministische Abarbeitung . . . . .	4
4.3 Übergänge, Bedingungen und Timeouts . . . . .	4
4.4 Interlocks, Verriegelungen und Schutzfunktionen . . . . .	5
4.5 Betriebsarten und kontrollierter Betriebsartenwechsel . . . . .	5
4.6 Parametrierung, Protokollierung und Hygieneanforderungen . . . . .	5

<b>5 Statecharts</b>	<b>6</b>
5.1 Begriff und Grundidee . . . . .	6
5.2 Abgrenzung zu Zustandsdiagramm, Schrittketten und SFC . . . . .	7
5.3 Typische Elemente eines Statecharts . . . . .	7
5.4 Hierarchie und Parallelität in Statecharts . . . . .	7
5.5 Rolle von Statecharts im FDS . . . . .	7
5.6 Statecharts für Qualität, FAT und SAT . . . . .	8
5.7 Membrananlagen Lebensmittel- und Biotech . . . . .	8
5.8 Normative Einordnung und Best Practice . . . . .	8
5.9 Empfohlene Inhalte eines Statechart-Kapitels im FDS . . . . .	9
<b>6 Regelkreise und Prozessführung</b>	<b>9</b>
<b>7 SCADA-Anbindung</b>	<b>9</b>
<b>8 Normen, Dokumentation und Praxis</b>	<b>10</b>
<b>9 FAT bei Membrananlagen</b>	<b>10</b>

# 1 Automationsbeschrieb bei Membrananlagen

Der Automationsbeschrieb (engl. *Functional Design Specification*, FDS) ist ein zentrales Dokument im Automationsprojekt. Es beschreibt detailliert, wie die funktionalen Anforderungen an eine Anlage technisch umgesetzt werden. Die FDS bildet die verbindliche Grundlage für die SPS-Programmierung und die SCADA-Konfiguration. Sie basiert in der Regel auf der User Requirements Specification (URS) sowie dem Automationsbeschrieb.

In der FDS werden Betriebsarten, Phasen, Schritte und Übergangsbedingungen eindeutig definiert. Auch Regelkreise, Sollwerte, Grenzwerte und Interlocks sind Bestandteil der FDS. Darüber hinaus beschreibt sie die Bedienphilosophie und die Alarmstrategie. Für Programmierer dient die FDS als primäre Arbeitsanweisung. Änderungen an der Steuerung müssen mit der FDS konsistent sein. In regulierten Industrien ist die FDS ein formell freizugebendes Dokument. Bei Membrananlagen im Lebensmittel- und Biotech-Bereich besitzt die FDS eine besonders hohe Bedeutung. Diese Anlagen unterliegen strengen hygienischen und regulatorischen Anforderungen. Die FDS muss daher hygienische Betriebszustände explizit berücksichtigen. Dazu zählen Produktionsbetrieb, Spülbetrieb und Reinigungsbetrieb.

CIP- und gegebenenfalls SIP-Sequenzen sind vollständig zu spezifizieren. Die Reihenfolge von Spülen, Reinigen, Zwischenspülen und Endspülen muss eindeutig festgelegt werden. Temperaturen, Zeiten und Chemikaliensollwerte sind Bestandteil der funktionalen Beschreibung. Auch Sperrlogiken zwischen Produktion und Reinigung sind klar zu definieren. Eine unzulässige Vermischung von Produkt- und Reinigungszuständen muss ausgeschlossen sein.

Für den Lebensmittelbereich ist die Produktsicherheit zentral. Die FDS definiert daher zusätzliche Verriegelungen zur Vermeidung von Kontamination. Beispiele sind Ventilverriegelungen oder Freigaben abhängig von Reinigungsstatus.

Im Biotech- und Pharmaumfeld kommen weitere Anforderungen hinzu. Hier sind Rückverfolgbarkeit und Reproduzierbarkeit essenziell. Die FDS muss alle relevanten Prozessdaten und Statusmeldungen berücksichtigen. Dies ist Voraussetzung für GMP-konforme Dokumentation und Chargenprotokolle.

Auch Alarme müssen qualifiziert und kategorisiert werden. Unkritische Meldungen sind von qualitätsrelevanten Alarmen zu unterscheiden. Die FDS stellt damit eine Brücke zwischen Verfahrenstechnik, Automation und Qualitätssicherung dar. Für Membrananlagen ist sie eines der wichtigsten Dokumente im gesamten Anlagenlebenszyklus. Eine sorgfältig erstellte FDS reduziert Projektrisiken und erleichtert FAT, SAT sowie die spätere Validierung.

# 2 Ziel und Bedeutung

Ein Automationsbeschrieb ist ein zentrales Dokument für die Umsetzung der Anlagenfunktion in der Steuerung. Er richtet sich primär an SPS-Programmierer und Automationsingenieure. Der Beschrieb definiert eindeutig, wie die Membranfiltrationsanlage betrieben wird. Er bildet die fachliche Grundlage für die Implementierung der Steuerungslogik. Alle Betriebszustände werden strukturiert und nachvollziehbar beschrieben. Dadurch wird eine einheitliche Umsetzung über verschiedene Projekte hinweg ermöglicht. Der Automa-

tionsbeschrieb reduziert Interpretationsspielräume. Dies ist insbesondere bei komplexen Membranprozessen von hoher Bedeutung. In der Schweiz wird ein klarer Automationsbeschrieb häufig als Teil der Anlagendokumentation gefordert. Er unterstützt auch Abnahme, Validierung und spätere Wartung.

## 3 Anlagenübersicht und funktionale Struktur

Die Membranfiltrationsanlage besteht aus Feed-, Retentat- und Permeatstrecken. Zentrale Komponenten sind Pumpen, Ventile, Sensoren und Membranmodule. Alle Komponenten sind funktional miteinander verknüpft. Die Steuerung erfolgt in der Regel über eine SPS gemäss IEC 61131-3. Die Anlage wird in klar definierte Funktionsgruppen unterteilt. Typische Funktionsgruppen sind Beschickung, Filtration und Reinigung. Jede Funktionsgruppe besitzt definierte Ein- und Ausgangssignale. Schnittstellen zu übergeordneten Systemen werden eindeutig spezifiziert. Dies betrifft insbesondere die Kommunikation zum SCADA-System. Die funktionale Struktur ist die Basis für die Phasenmodellierung.

## 4 Phasen, Schritte und Betriebsarten

### 4.1 Phasenmodell und Prozessgliederung

Der Betrieb der Membranfiltrationsanlage wird in Phasen gegliedert, um die Ablaufsteuerung eindeutig und robust umzusetzen. Typische Phasen sind Start-up, Filtration, Spülung, CIP (Reinigung) und Stillstand. Eine Phase beschreibt dabei einen stabilen Betriebsabschnitt mit definiertem Ziel und definierten Randbedingungen. Für jede Phase werden zulässige Anlagenstellungen, Sollwerte und Grenzwerte festgelegt. Die Phasengliederung orientiert sich in der Praxis häufig an ISA-88, um Benennungen und Zuständigkeiten konsistent zu halten. Damit wird eine einheitliche Struktur für Engineering, FAT/SAT und spätere Betriebsunterstützung geschaffen.

### 4.2 Schritte, Sequenzen und deterministische Abarbeitung

Jede **Phase** besteht aus einer Abfolge von logisch definierten Schritten, die in der SPS deterministisch abgearbeitet werden. Ein **Schritt** beschreibt eine atomare Funktionseinheit der Steuerung mit klaren Ein- und Ausgängen. Beispiele sind Ventil öffnen, Pumpe starten, Durchfluss stabilisieren oder Sollwert regeln. Jeder Schritt besitzt definierte Eintrittsbedingungen und definierte Austrittsbedingungen. Die Schrittfolge wird als Sequenz (Schrittketten) implementiert und bildet die operative Logik der Anlage ab. Die Sequenzierung stellt sicher, dass Aktoren in einer technisch sinnvollen und sicheren Reihenfolge betätigt werden.

Für jede Phase ist zudem eine definierte End-of-Phase-Logik festgelegt, damit die Anlage reproduzierbar in den Folgezustand überführt wird.

### 4.3 Übergänge, Bedingungen und Timeouts

Übergangsbedingungen zwischen den Schritten sind eindeutig formuliert und werden in der FDS verbindlich festgelegt. Diese Bedingungen basieren auf Zeitkriterien, Messwerten, Freigaben oder Zustandsmeldungen.

In der Praxis werden Übergänge häufig als Kombination aus “erreicht”-Kriterium und Timeout implementiert. Das “erreicht”-Kriterium verifiziert, dass die gewünschte Anlagenreaktion tatsächlich eingetreten ist. Der Timeout begrenzt die maximale Verweildauer in einem Schritt und verhindert endlose Wartezeitzustände.

Ein **Timeout** führt in der Regel zu einem definierten Fehlerzustand und löst eine Alarmierung aus. Timeout-Werte werden im FDS parametrierbar beschrieben und mit Prozessannahmen begründet. Für validierte Anwendungen werden Timeouts typischerweise als qualitätsrelevante Parameter behandelt.

### 4.4 Interlocks, Verriegelungen und Schutzfunktionen

Für sicherheitskritische Zustände werden **Interlocks** und **Verriegelungen** zusätzlich übergeordnet ausgewertet. Damit wird verhindert, dass ein Schritt gestartet wird, obwohl Voraussetzungen nicht erfüllt sind. Interlocks wirken typischerweise als Startverhinderer oder als sofortige Schutzreaktion im laufenden Betrieb.

Verriegelungen verhindern unzulässige Kombinationen von Ventilstellungen und Betriebszuständen. Für Membrananlagen sind Schutzfunktionen besonders relevant, da Membranen empfindlich auf Druckspitzen und Trockenlauf reagieren. Druck-, Durchfluss- und Temperaturgrenzwerte sind daher mit klar definierten Massnahmen verknüpft.

Typische Massnahmen sind Leistungsreduktion, kontrollierter Stopp oder Übergang in den Störungszustand. Die Interlock-Logik wird im FDS so beschrieben, dass sie unabhängig von der Schrittkettenlogik wirksam bleibt.

### 4.5 Betriebsarten und kontrollierter Betriebsartenwechsel

Für den Anlagenbetrieb werden mindestens drei Betriebsarten unterschieden: Automatik, Manuell und Service. Im Automatikbetrieb läuft die Schrittfolge nach Rezept bzw. Sollwertatz selbsttätig ab. Im manuellen Betrieb dürfen einzelne Aktoren gezielt betätigt werden, jedoch nur innerhalb definierter Sicherheitsgrenzen.

Im Servicebetrieb sind zusätzliche Funktionen für Instandhaltung verfügbar, beispielsweise Entlüften oder Komponenten-Test. Der Wechsel zwischen den Betriebsarten erfolgt kontrolliert, um unerwartete Zustandswechsel zu vermeiden. Ein Betriebsartenwechsel ist nur zulässig, wenn die Anlage in einem sicheren Zustand ist oder kontrolliert in diesen überführt wurde. Beim Wechsel in den Automatikbetrieb wird typischerweise eine Plausibilisierung der Anlagenstellung durchgeführt. Dazu werden Ventilrückmeldungen, Pumpenbereitschaft und Sensorstatus geprüft. Erst danach wird eine Startfreigabe für die Schrittkettenlogik erteilt. Für den Wechsel in Manuell oder Service werden Rückwirkungsregeln definiert, damit laufende Sequenzen sauber beendet oder geparkt werden.

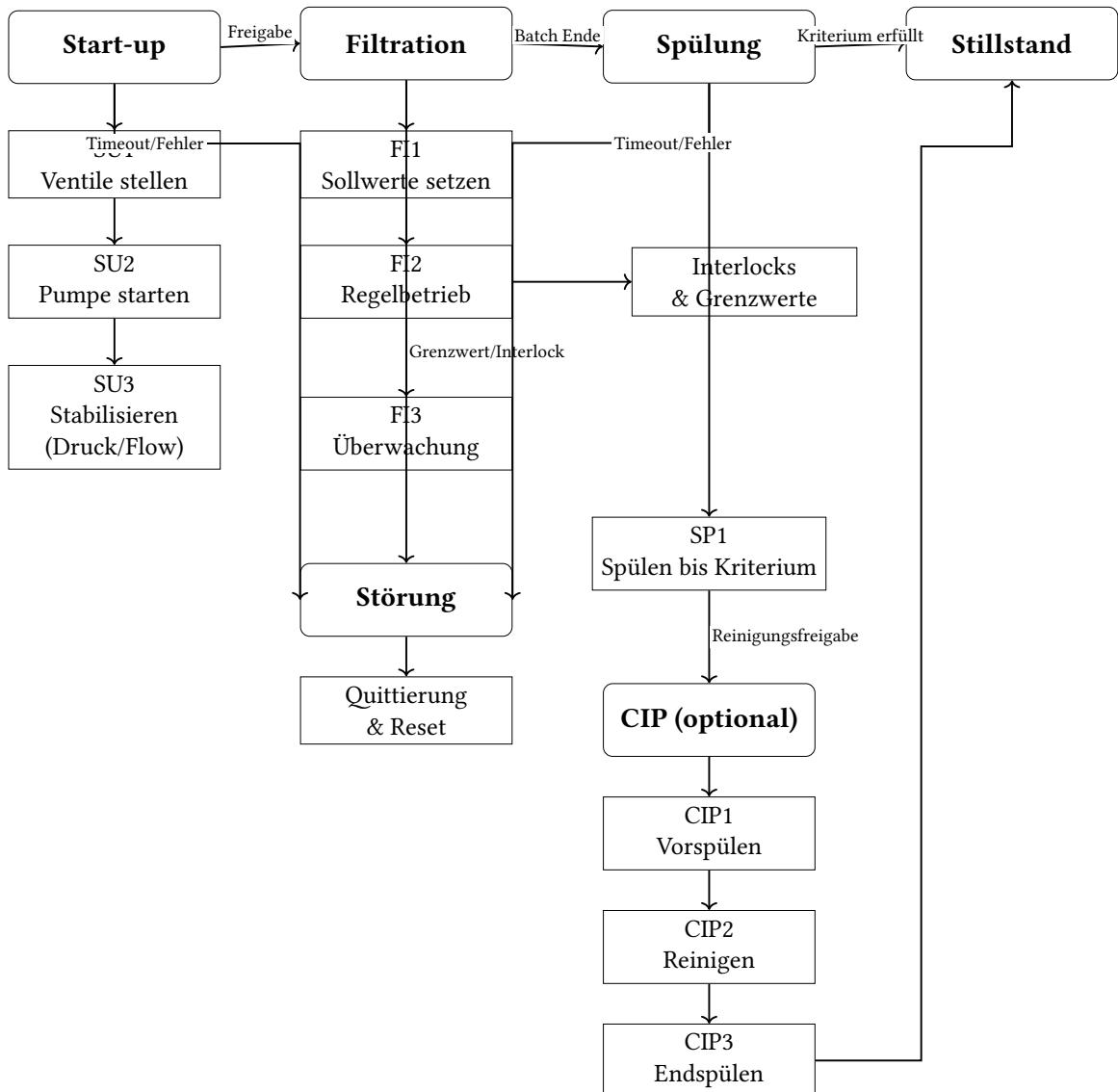
## 4.6 Parametrierung, Protokollierung und Hygieneanforderungen

Für jede Phase werden Sollwerte und Grenzwerte phasenabhängig parametriert. Dies betrifft insbesondere Druck, Durchfluss, Temperatur und Leitfähigkeit bei Spül- und CIP-Schritten. Die Parametrierung kann rezeptbasiert erfolgen, wenn unterschiedliche Produkte oder Betriebsweisen vorgesehen sind.

Alarm- und Ereignismeldungen werden mit Bezug auf Phase und Schritt protokolliert. Dies erleichtert Fehlersuche, Auswertung und qualitätsrelevante Nachverfolgung im SCADA-System. Für Lebensmittel- und Biotech-Anwendungen ist eine klare Trennung von Produktions- und Reinigungszuständen zwingend.

Die Ablaufsteuerung muss sicherstellen, dass CIP nur bei gesperrter Produktabgabe gestartet werden kann. Ebenso muss der Produktionsstart verhindern, dass Restchemikalien oder nicht freigegebene Zustände vorliegen.

Freigabekriterien können beispielsweise Leitfähigkeit, Temperatur, Zeit und dokumentierte Reinigungsabschlüsse umfassen. Eine definierte End-of-Phase-Logik sorgt dafür, dass die Anlage in einen reproduzierbaren Zustand übergeht. Damit wird die Grundlage für stabile Performance und wiederholbare Resultate geschaffen.



**Abbildung 1.** Ablaufsteuerung einer Membranfiltrationsanlage als Phasen-/Schrittmodell.

## 5 Statecharts

### 5.1 Begriff und Grundidee

Ein Statechart ist ein formales Modell zur Beschreibung zustandsbasierter Systeme. Es stellt dar, in welchem Zustand sich ein System befindet und unter welchen Bedingungen ein Zustandswechsel erfolgt. Ein Statechart ist damit eine strukturierte Beschreibung einer Ablaufsteuerung. Im Unterschied zu rein textlichen Ablaufbeschrieben ist ein Statechart grafisch und eindeutig interpretierbar.

Zustände werden als Knoten und Übergänge als gerichtete Kanten dargestellt. Übergänge werden durch Ereignisse, Bedingungen oder Zeitkriterien ausgelöst. Aktionen können beim Eintritt in einen Zustand, während eines Zustands oder beim Verlassen eines Zustands de-

finiert werden. Statecharts gehen historisch auf die Arbeiten von David Harel zurück und erweitern klassische Zustandsdiagramme. Die Erweiterung betrifft insbesondere Hierarchien, Nebenläufigkeit und Ereignislogik. In der Automatisierungstechnik können Statecharts als konzeptionelles Bindeglied zwischen Prozessmodell und SPS-Implementierung dienen.

→ [Statecharts](#)

## 5.2 Abgrenzung zu Zustandsdiagramm, Schrittketten und SFC

Ein einfaches Zustandsdiagramm kennt üblicherweise nur Zustände und Übergänge. Ein Statechart ergänzt dieses Modell um strukturierende Elemente wie Superstates und Substates. Damit lassen sich komplexe Abläufe übersichtlich gliedern.

In der SPS-Praxis werden Abläufe häufig als Schrittketten realisiert. Schrittketten entsprechen konzeptionell einer Sequenz von Zuständen mit definierten Übergangsbedingungen. In IEC 61131-3 wird dafür häufig SFC (Sequential Function Chart) eingesetzt.

Statecharts lassen sich gut auf SFC oder auf Structured Text mit Zustandsvariablen abbilden. Der Vorteil von Statecharts liegt in der klaren Semantik und der besseren Dokumentierbarkeit. Für viele Anlagen ist ein Statechart als oberste Ablauflogik geeignet, während SFC die Detailsequenzen abbildet.

## 5.3 Typische Elemente eines Statecharts

Ein Statechart besteht aus Zuständen, Übergängen und Ereignissen. Ein Zustand beschreibt eine Betriebsphase oder einen stabilen Betriebsmodus.

Übergänge definieren, wann und wie von einem Zustand in den nächsten gewechselt wird. Ereignisse sind Auslöser, beispielsweise ein Startbefehl, ein Alarm oder ein Timer.

Bedingungen sind logische Voraussetzungen, die für einen Übergang erfüllt sein müssen. Aktionen sind definierte Anweisungen, die beim Übergang oder im Zustand ausgeführt werden.

In der Praxis werden Aktionen häufig als Setzen von Sollwerten, Freigaben oder Verriegelungen umgesetzt. Statecharts können Entry- und Exit-Aktionen enthalten, um Zustandswechsel sauber zu kapseln.

## 5.4 Hierarchie und Parallelität in Statecharts

Ein zentrales Merkmal von Statecharts ist die Hierarchie. Ein Superstate fasst mehrere Substates zu einem logischen Block zusammen. Damit können beispielsweise alle CIP-Schritte als Substates innerhalb eines CIP-Superstates modelliert werden.

Hierarchien erhöhen die Lesbarkeit und verhindern redundante Übergänge. Ein weiteres Merkmal ist Parallelität, also die Modellierung nebenläufiger Zustandsbereiche. In Anlagen können beispielsweise Prozessbetrieb und Hilfssysteme parallel betrachtet werden. Parallelität muss im Automationsdesign jedoch bewusst eingesetzt werden, um Race-Conditions zu vermeiden.

Für Membrananlagen ist oft eine klare sequenzielle Logik ausreichend, ergänzt um parallele Überwachungsfunktionen. Überwachungsfunktionen können als separater Zustandsbe-

reich modelliert oder als Interlock-Logik umgesetzt werden.

## 5.5 Rolle von Statecharts im FDS

Die Functional Design Specification beschreibt, wie die Anforderungen aus URS und Pflichtenheft umgesetzt werden.

Statecharts sind im FDS besonders geeignet, um die dynamische Anlagenlogik präzise zu beschreiben. Sie definieren zulässige Zustände und zulässige Zustandswechsel explizit. Damit wird verhindert, dass in der SPS unerwartete oder nicht spezifizierte Zustandsübergänge entstehen. Statecharts unterstützen zudem die Definition von Betriebsarten wie Automatik, Manuell und Service.

Im FDS können Betriebsarten als separate Zustände oder als übergeordnete Bedingungen modelliert werden. Ein Statechart eignet sich auch, um Restart- und Recovery-Strategien nachvollziehbar zu definieren. Damit wird festgelegt, wie nach Störungen wieder in einen sicheren Betrieb übergegangen wird. Für Programmierer ist dies eine direkte Handlungsanweisung für die Implementierung. Für Betreiber ist es eine transparente Beschreibung des Anlagenverhaltens.

## 5.6 Statecharts für Qualität, FAT und SAT

Statecharts reduzieren Interpretationsspielräume zwischen Verfahrenstechnik und Automation. Dadurch sinkt das Risiko von Fehlimplementierungen in der SPS. Die grafische Darstellung erleichtert Reviews im Engineering-Team.

Sie unterstützt die strukturierte Ableitung von Testfällen für FAT und SAT. Im FAT können Zustandswechsel mit simulierten Signalen systematisch verifiziert werden. Im SAT wird geprüft, ob die gleiche Zustandslogik unter realen Bedingungen erreicht wird. Statecharts fördern eine klare Definition von Timeouts und Fehlerreaktionen. Damit werden undefinierte Zwischenzustände minimiert.

Die Alarmstrategie kann im FDS direkt an Zustände und Übergänge gekoppelt werden.

## 5.7 Membrananlagen Lebensmittel- und Biotech

Membrananlagen in Lebensmittel- und Biotech-Anwendungen erfordern eine strikte Trennung von Produktion und Reinigung.

Ein Statechart kann diese Trennung explizit erzwingen, indem es unzulässige Übergänge ausschließt. CIP-Zustände dürfen nur mit gesperrtem Produktpfad erreichbar sein.

Produktionszustände dürfen nur nach erfolgreicher Freigabe der Reinigungssequenz aktivierbar sein. Zustandsbasierte Freigaben unterstützen hygienische Anforderungen und minimieren Kontaminationsrisiken.

Für Biotech- und Pharmaumgebungen sind Reproduzierbarkeit und Rückverfolgbarkeit entscheidend. Statecharts erleichtern die Protokollierung, da Phase, Zustand und Übergang eindeutig identifizierbar sind.

Auch die Definition von Hold-Zuständen ist relevant, beispielsweise bei Medienmangel oder Temperaturabweichungen.

Hold-Zustände ermöglichen einen kontrollierten Stopp ohne Verlust der Prozessintegrität.

Für Membranen sind Schutzfunktionen zentral, etwa bei Drucküberschreitung oder Trockenlauf. Solche Ereignisse führen im Statechart typischerweise in einen Störungszustand mit definierter Rücksetzlogik.

## 5.8 Normative Einordnung und Best Practice

In der Automatisierungstechnik wird für Batch-Prozesse häufig ISA-88 als Strukturmodell verwendet. Statecharts passen gut zur Idee von Zuständen, Phasen und Prozeduren in ISA-88. Für die Implementierung in der SPS ist IEC 61131-3 massgebend.

SFC ist dabei eine standardisierte Darstellungsform für sequenzielle Abläufe. In der Praxis wird häufig ein hybrider Ansatz gewählt. Ein übergeordnetes Statechart definiert die Anlagenzustände, während SFC die Schrittfolge innerhalb einer Phase beschreibt.

Dieses Vorgehen ist gut testbar und erleichtert Wartung sowie Erweiterungen. Für das FDS ist eine Kombination aus Grafik, Zustandsbeschreibung und Übergangstabelle empfehlenswert. Die Übergangstabelle enthält Trigger, Bedingungen, Aktionen und Timeouts in konstanter Form. Damit wird das Statechart vollständig spezifiziert und kann ohne Interpretationsspielraum implementiert werden.

## 5.9 Empfohlene Inhalte eines Statechart-Kapitels im FDS

Ein Statechart-Kapitel sollte mit einer Übersichtsgrafik beginnen. Darauf folgt eine Liste aller Zustände mit Zweck, erlaubten Aktionen und zugehörigen Sollwerten. Für jeden Übergang sollten Trigger und Bedingungen dokumentiert werden.

Time-out-Verhalten und Fehlerreaktionen sind explizit zu definieren. Zusätzlich sollten Restart-Strategien und Reset-Bedingungen beschrieben werden. Für SCADA ist festzulegen, welche Zustände visualisiert und welche Bedienhandlungen erlaubt sind. Alarmmeldungen sollten Zustands- oder Übergangsbezüge enthalten, um Diagnose zu erleichtern. Für Lebensmittel und Biotech sind Freigaben für Produktion nach CIP klar zu definieren.

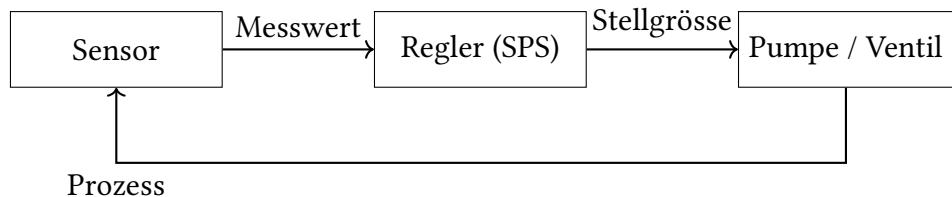
Die Dokumentation sollte so aufgebaut sein, dass daraus FAT- und SAT-Testfälle direkt abgeleitet werden können.

# 6 Regelkreise und Prozessführung

Für die Prozessführung werden mehrere Regelkreise eingesetzt. Ein typischer Regelkreis ist - beispielsweise - die Druckregelung über eine Pumpe. Ein weiterer Regelkreis ist die Regelung des Permeatflusses.

Sensoren liefern kontinuierlich Messwerte an die Steuerung. Die Regelalgorithmen sind meist als PI- oder PID-Regler ausgeführt. Sollwerte werden phasenabhängig vorgegeben. Grenzwerte schützen die Membranen vor Überlastung.

Bei Grenzwertverletzungen werden definierte Massnahmen ausgelöst. Dies kann eine Reduktion der Leistung oder ein Anlagenstopp sein. Die Regelkreise sind eindeutig dokumentiert und parametriert.



**Abbildung 2.** Vereinfachter Regelkreis

## 7 SCADA-Anbindung

Die SPS kommuniziert mit einem übergeordneten SCADA-System. Die Kommunikation erfolgt typischerweise über industrielle Feldbusse.

Beispiele sind Profibus, Profinet oder Ethernet/IP. Alle relevanten Messwerte werden an SCADA übermittelt. Dazu gehören Drücke, Durchflüsse und Temperaturen.

Auch Status- und Alarmmeldungen werden übertragen. Das SCADA-System dient der Visualisierung und Bedienung. Bedienereingriffe werden plausibilisiert an die SPS weitergegeben.

Der Automationsbeschrieb definiert alle Signale eindeutig.

## 8 Normen, Dokumentation und Praxis

Ein Automationsbeschrieb orientiert sich häufig an etablierten Normen. Dazu zählen **IEC 61131** für Steuerungen und **ISA-88** für Batchprozesse.

In regulierten Anwendungen werden zusätzliche Vorgaben berücksichtigt. Der Beschrieb ist Teil der formalen Anlagendokumentation. Er dient als Referenz für FAT und SAT.

Änderungen an der Steuerung werden auf Basis des Beschriebs bewertet. Dies erhöht die Nachvollziehbarkeit über den Lebenszyklus. Für Service und Erweiterungen ist der Beschrieb unverzichtbar.

Ingenieure und Programmierer nutzen ihn als gemeinsame Grundlage.

## 9 FAT bei Membrananlagen

Der Factory Acceptance Test (FAT) ist im klassischen Anlagenbau ein zentrales Instrument zur Funktionsprüfung. Bei Membrananlagen ist die Durchführung eines vollständigen FAT jedoch nur eingeschränkt möglich. Ein wesentlicher Grund dafür ist, dass die eigentlichen Membranmodule beim Anlagenbauer häufig noch nicht installiert sind. Die Membranen werden aus logistischen und hygienischen Gründen oft erst kurz vor der Inbetriebnahme eingebaut. Dadurch kann das reale hydraulische und verfahrenstechnische Verhalten nicht vollständig nachgebildet werden. Insbesondere Druckverluste, Rückhalteverhalten und Foulingeffekte bleiben ungetestet.

Der FAT beschränkt sich in solchen Fällen auf eine strukturierte Simulation der Anlagenfunktionen. Typischerweise werden Sensoren und Aktoren softwareseitig simuliert. Auch Regelkreise werden häufig mit Ersatzsignalen getestet. Dies erlaubt zwar eine Überprüfung

der Steuerungslogik, ersetzt jedoch keinen realen Prozessbetrieb.

Ein weiterer limitierender Faktor ist die fehlende Infrastruktur beim Anlagenbauer. In der Regel stehen weder Produktmedien noch geeignete Versorgungsmedien zur Verfügung. Auch Abwassersysteme und Medienrückführung sind oft nicht vorhanden. Besonders kritisch ist dies für Reinigungsfunktionen.

Eine vollständige CIP-Reinigung kann beim FAT meist nicht durchgeführt werden. Es fehlen dazu Heisswasser, Chemikalien, Rückführung und geeignete Entsorgungsmöglichkeiten. Die thermischen und chemischen Belastungen der Anlage bleiben daher ungeprüft. Auch die Wechselwirkung zwischen Membran, Reinigungslösung und Hydraulik kann nicht bewertet werden. Aus diesen Gründen ist der FAT bei Membrananlagen primär als Logik- und Funktionsprüfung zu verstehen. Er dient der Verifikation von Phasen, Schrittketten, Verriegelungen und Alarmen.

Der eigentliche Leistungsnachweis der Anlage erfolgt erst im Rahmen des SAT. Beim Site Acceptance Test stehen reale Medien, installierte Membranen und die vollständige Infrastruktur zur Verfügung. Insbesondere CIP- und SIP-Prozesse können dort unter realen Bedingungen geprüft werden. Für Membrananlagen ist daher eine klare Abgrenzung zwischen FAT und SAT erforderlich. Der Automationsbeschrieb sollte diese Einschränkungen explizit berücksichtigen.