

## ANLAGENSICHERUNG

### LERNZIEL

Die Studierenden kennen nach der Bearbeitung dieses Moduls die grundlegenden Anforderungen an die Anlagensicherung. Sie lernen Methoden zur Identifikation von Gefährdungspotenzialen sowie zur Bewertung der daraus resultierenden Risiken kennen. Sie kennen Methoden und Entwurfsmittel, um Anlagen mit den Mitteln der Prozessleittechnik zu sichern. Sie lernen die grundlegenden Verknüpfungen zur Verriegelung von Steuerungen kennen.

### THEORIE IN KÜRZE

In modernen Produktionsanlagen werden Prozessgrößen zur Regelung und Sicherung von technischen Prozessen herangezogen. Auf der Grundlage der gegebenen technischen Randbedingungen werden für diese Größen zulässige und unzulässige Bereiche definiert. Der Zustand der gesamten Anlage ergibt sich aus den aktuellen Werten sämtlicher Prozesswerte. Ziel der Anlagensicherung ist es zu verhindern, dass die Anlage in einen unzulässigen Fehlzustand übergeht. Dazu werden entsprechende Verriegelungsmechanismen eingerichtet. Verriegelungen haben das Ziel Kombinationen, Abfolgen, Zeitverläufe von Signalen zu verhindern, die zu unzulässigen Fehlzuständen führen können.

Das kann unter anderem mit den Mitteln der Prozessleittechnik durch sogenannte Schutzeinrichtungen erfolgen. Diese verhindern, dass Fehlzustände eintreten, oder sie begrenzen die Schäden, falls ein unzulässiger Fehlzustand trotz aller Maßnahmen eingetreten ist. Um geeignete Verriegelungsmechanismen entwerfen zu können, muss ein Schutzkonzept für die Anlage entwickelt werden. Diese Aufgabe erfordert genaue Kenntnisse der chemischen, verfahrens- und anlagentechnischen Randbedingungen. Das Schutzkonzept wird deshalb in einer interdisziplinären Arbeitsgruppe mit Hilfe einer HAZOP oder PAAG-Analyse entwickelt.

Die technische Realisierung der Mechanismen in einem Prozessleitsystem soll möglichst einfach, unmittelbar wirkend und überschaubar gestaltet sein. Daher wird in der Praxis häufig auf immer wiederkehrende Standardbeschaltungen zurückgegriffen. Diese lassen sich in vier Kategorien einteilen:

Kombinationsschaltungen werden verwendet, um Schaltbedingungen durch die direkte Kombination der entsprechenden Prozesssignale zu generieren. Dazu werden die Eingangssignale durch die logischen Verknüpfungen UND, ODER und NICHT miteinander verknüpft. Der Zustand des Ausgangssignals einer solchen Kombinationsschaltung lässt sich dabei jederzeit durch die Zustände der Eingangssignale bestimmen.

Priorisierungsschaltungen erlauben es, bestimmten Signalen Vorrang vor anderen Signalen zu geben. Dies ist häufig bei der Betriebsartenauswahl sowie bei Start- und Stoppfunktionen notwendig. Priorisierungsschaltungen werden häufig durch Kombinationsschaltungen realisiert.

Verriegelnde Schaltungen verhindern, dass gegensätzlich wirkende Signale gleichzeitig gesetzt werden können. Wird darüber hinaus eine bestimmte Reihenfolge für mehrere Steuersignale gefordert, so spricht man von einer Reihenfolgenverriegelung.

Verriegelungen werden mit Hilfe von R-S-Speichergliedern realisiert, die miteinander gekoppelt sind.

Schaltungen mit Zeitverhalten ermöglichen ein verzögertes An- und Abschalten, die Definition einer Mindest- oder Höchstlaufzeit sowie die Realisierung von Schutzfunktionen, die eine bestimmte Reaktionszeit fordern. Zur Realisierung derartiger Schaltungen stehen verschiedene vorgefertigte Zeitbausteine zur Verfügung.

## THEORIE

### PROZESSGRÖßEN

Produktionsanlagen dienen der Produktion materieller Güter. Sie steuern und überwachen dazu Stoff- und Energieflüsse, die sich durch physikalische Größen wie Volumen, Masse, Temperatur oder Volumenstrom beschreiben lassen. Auf der Grundlage verfahrenstechnischer und anlagentechnischer Randbedingungen werden diejenigen physikalischen Größen definiert und spezifiziert, die für den technischen Prozess relevant und messtechnisch erfassbar sind. Diese Größen werden als Prozessgrößen bezeichnet.

Prozessgrößen werden zur Regelung oder zur Sicherung von technischen Prozessen herangezogen. Für jede Prozessgröße werden auf der Grundlage der chemischen, verfahrens- und anlagentechnischen Randbedingungen Bereiche festgelegt, für die diese Prozessgröße vorgesehen ist (Gutbereich) sowie Bereiche außerhalb des Gutbereiches, in denen sicherheitstechnisch keine Einschränkungen für den Weiterbetrieb bestehen (zulässiger Fehlbereich). Liegt eine Prozessgröße außerhalb dieser Bereiche, so ist mit unerwünschten Ereignissen, die unmittelbar zu Personenschäden oder Umweltschäden führen zu rechnen (unzulässiger Fehlbereich).

Die Werte der Prozessgrößen werden mit den Mitteln der Prozessleittechnik erfasst und ausgewertet. Daraus wird der aktuelle Zustand der Anlage ermittelt. Dabei werden drei Grundzustände unterschieden:

**Gutzustand:** Die Werte sämtlicher Prozessgrößen befinden sich in ihrem jeweiligen Gutbereich und es geht auch anderweitig keine Gefahr von der Anlage aus.

**Zulässiger Fehlzustand:** Werte einer oder mehrerer Prozessgrößen befinden sich im jeweiligen zulässigen Fehlbereich. Es geht anderweitig keine Gefahr von der Anlage aus.

**Unzulässiger Fehlzustand:** Werte einer oder mehrerer Prozessgrößen befinden sich im jeweiligen unzulässigen Fehlbereich oder es geht anderweitig eine Gefahr von der Anlage aus.

Unzulässige Fehlzustände sind stets dann gegeben, wenn Leib und Leben der Mitarbeiter gefährdet sind, die Umwelt geschädigt wird, technische Einrichtungen zerstört werden oder aber die Produktionsergebnisse gemindert werden. Dabei genügt, dass eine ausreichend hohe Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines dieser Ereignisse gegeben ist [1].

### ANLAGENSICHERUNG

Unter der Anlagensicherung ist allgemein die Sicherung der verfahrenstechnischen Anlage gegen Fehlzustände zu verstehen [1]. Bei vielen Vorgängen und Zuständen in Prozessanlagen können bestimmte Ereignisse eintreten, die zu einem Schaden führen. Die Kombination der Häufigkeit eines Schadenseintrittes und seines Schadensausmaßes wird als Risiko des entsprechenden Vorgangs oder Zustands bezeichnet. Das Ziel der Anlagensicherung ist es, Schutzmaßnahmen zu treffen, die die existierenden Risiken soweit vermindern, dass das verbleibende Risiko unter einem zu definierendem Grenzkrisiko liegt, also vertretbar ist [2].

Die im Kapitel ‚Einzelsteuerfunktionen‘ betrachteten Verriegelungsmechanismen schützen die Anlage oder Anlageteile vor gerätebedingten Fehlzuständen. Darunter fallen alle diejenigen Fehlzustände, die durch eine Fehlfunktion der Geräte selbst oder durch den Betrieb des Gerätes außerhalb des zulässigen Betriebsbereichs (zum Beispiel die Überhitzung einer Pumpe infolge eines nicht erkannten Trockenlaufs) entstehen. Diese Fehlzustände sind gerätespezifisch und können unabhängig von verfahrens- und anlagentechnischen Randbedingungen erkannt werden.

Die betrachteten Verriegelungsmechanismen können naturgemäß nicht eigenständig vor prozessbedingten Fehlzuständen schützen (zum Beispiel dem Trockenlauf einer Pumpe), da diese von den verfahrens- und anlagentechnischen Begebenheiten abhängig sind (zum Beispiel führt das Unterschreiten eines minimalen Füllstands eines Tanks zum besagten Trockenlauf der Pumpe). Daher müssen Anlagen durch die Implementierung geeigneter prozessbedingter Verriegelungen sicher gemacht werden. Diese nutzen und erweitern

häufig die Verriegelungsmechanismen der Einzelsteuerfunktionen (siehe Kapitel ‚Einzelsteuerfunktionen‘). Dabei sind sämtliche Arten des bestimmungsgemäßen Betriebs der Anlagen zu berücksichtigen.

Als bestimmungsgemäßer Betrieb wird der Betrieb bezeichnet, für den die Anlage nach ihrem technischen Zweck bestimmt und ausgelegt ist [2]. Dies umfasst üblicherweise die folgenden Betriebsarten:

- Normalbetrieb
- An- und Abfahrbetrieb
- Inbetriebnahme und Außerbetriebnahme
- Probetrieb
- Inspektions-, Wartungs- und Instandsetzungsvorgänge

Dafür wird in einer interdisziplinären Arbeitsgruppe zunächst ein Schutzkonzept für die Anlage entwickelt. Die Arbeitsgruppe identifiziert systematisch Gefährdungspotentiale und Fehler, die zu Gefährdungen führen können. Dazu werden anerkannte Methoden zur Gefährdungsanalyse, zum Beispiel das PAAG-Verfahren angewandt [3].

Anschließend müssen die Risiken bewertet werden, die aus den erkannten Gefährdungen resultieren. Dazu stehen verschiedene Methoden zur abgestuften Bewertung des abzudeckenden Risikos zur Verfügung, zum Beispiel die ALARP-Methode, die LOPA-Methode oder die in [2] spezifizierte Methode des Risikographen. Ist das Ausgangsrisiko einer Gefährdung größer als das festgelegte Grenzkrisiko, so müssen Schutzmaßnahmen getroffen werden, die das Risiko entsprechend reduzieren.

## **ANLAGENSICHERUNG MIT DEN MITTELN DER PROZESSLEITTECHNIK**

Grundsätzlich sind zur Anlagensicherung vorzugsweise Schutzeinrichtungen zu nutzen, die nicht auf Mitteln der Prozessleittechnik basieren. Häufig ist dies jedoch aufgrund der Größe oder Komplexität der Anlage nicht möglich, nicht ausreichend, oder die entsprechende Lösung ist unter wirtschaftlichen Aspekten nicht sinnvoll umsetzbar. In diesem Fall werden Schutzfunktionen mit den Mitteln der Prozessleittechnik realisiert. Es wird aus diesem Grunde zwischen zwei Arten von PLT-Einrichtungen unterschieden:

PLT-Betriebs- und Überwachungseinrichtungen (basic process control systems - BPCS) realisieren die zur Produktion erforderlichen Automatisierungsfunktionen und dienen damit dem bestimmungsgemäßen Betrieb der Anlage in ihrem Gutbereich [2]. PLT-Überwachungseinrichtungen reagieren, wenn eine oder mehrere Prozessgrößen den Gutbereich verlassen. Sie melden zulässige Fehlzustände oder ergreifen automatisch Maßnahmen, um die Prozessgrößen in den Gutbereich zurückzuführen. Aus Sicht der Anlagensicherung werden an PLT-Betriebs- und Überwachungseinrichtungen keine Anforderungen gestellt.

PLT-Schutzeinrichtung (safety instrumented systems - SIS) dienen der Risikoreduzierung bei erkannten Gefahrenpotentialen. Sie können entweder ereignisverhindernd oder aber schadensbegrenzend wirken. Das Ziel ereignisverhindernder PLT-Schutzeinrichtungen ist es zu verhindern, dass in der Anlage überhaupt ein unzulässiger Fehlzustand eintritt. Sie reduzieren damit die Eintrittshäufigkeit eines unerwünschten Ereignisses und reduzieren damit das mit diesem Ereignis verbundene Risiko. Schadensbegrenzende PLT-Schutzeinrichtungen hingegen haben das Ziel, bei einem bereits eingetretenen unerwünschten Ereignis das Ausmaß des resultierenden Schadens zu verringern und damit das verbundene Risiko zu vermindern. Solche Schutzeinrichtungen kommen nur sehr selten zum Einsatz.

Abbildung 1 zeigt die prinzipielle Wirkungsweise von PLT-Einrichtungen im Rahmen der Anlagensicherung. Der Kurvenverlauf 1 zeigt eine Prozessgröße, die verfahrensbedingt den unzulässigen Fehlbereich nicht erreichen kann. Daher ist eine PLT-Überwachungseinrichtung hier ausreichend. In Kurvenverlauf 2 hingegen ist eine Überschreitung der Grenze zum unzulässigen Fehlbereich möglich. Da jedoch eine Nicht-PLT-Schutz-einrichtung vorhanden ist, genügt auch in diesem Fall eine PLT-Überwachungseinrichtung. In Kurvenverlauf 3 fehlt eine solche Sicherung der Anlage. Daher wird eine (ereignis-

verhindernde) PLT-Schutzeinrichtung eingesetzt um zu verhindern, dass die Prozessgröße den unzulässigen Fehlbereich erreicht.

Für die prozessleittechnischen Systeme einer Anlage muss klar definiert sein, ob sie eine Betriebs- und Überwachungsfunktion oder aber eine Schutzfunktion realisieren. Diese Unterscheidung erleichtert die Planung, Errichtung und den Betrieb, aber auch die spätere Änderung von PLT-Einrichtungen.

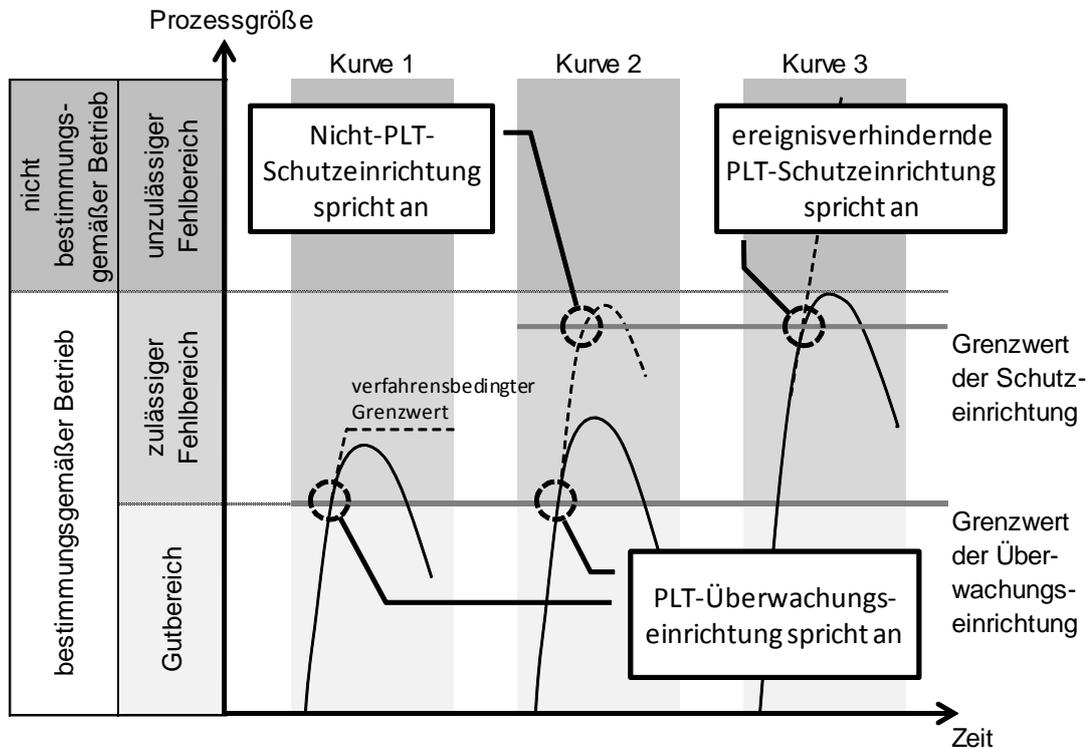


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Wirkungsweise von PLT-Einrichtungen nach [2]

Da Funktionen von PLT-Schutzeinrichtungen nur sehr selten angefordert werden, werden aus wirtschaftlichen Gründen mitunter Komponenten von Schutzeinrichtungen durch die Betriebseinrichtungen genutzt. In diesem Fall müssen Signale zur Auslösung der Schutzfunktion in jedem Fall Vorrang vor den Signalen der Betriebs- und Überwachungseinrichtungen haben.

Zur Umsetzung von Schutzfunktionen sollten möglichst einfache, überschaubare und unmittelbar wirkende Maßnahmen ergriffen werden. Die verwendeten Prozessgrößen sollten direkt mit einfachen und erprobten Mitteln erfasst werden können. Daraus folgt, dass der Steuerungsentwurf selbst durch eine relativ niedrige Komplexität gekennzeichnet ist.

## STANDBESCHALTUNGEN FÜR DIE ANLAGENSICHERUNG

Schutzeinrichtungen mit den Mitteln der Prozessleittechnik haben zumeist das Ziel, bestimmte Kombinationen, Abfolgen, Zeitverläufe oder Prioritäten von Signalen derart zu steuern, dass unzulässige Prozesszustände verhindert werden. Diese Funktionen werden mit immer wiederkehrenden Standardbeschaltungen realisiert. Die wichtigsten Standardbeschaltungen sollen im Folgenden vorgestellt werden.

### Kombinationsschaltungen

In vielen Fällen sind bestimmte Steuersignale nur dann zulässig, wenn sich der Prozess in einem bestimmten Zustand befindet. Dieser Zustand lässt sich dabei direkt als Kombination der entsprechenden Prozesssignale beschreiben. Zur Verknüpfung einzelner Signale zu einer Schaltbedingung bieten sich einfache Kombinationsschaltungen (auch Schaltnetze genannt) an. Diese bieten die Möglichkeit, den Zustand eines Ausgangs-

signals jederzeit durch den Zustand einer Menge von Eingangssignalen zu bestimmen. Dazu werden die Eingangssignale durch die logischen Verknüpfungen UND, ODER und NICHT miteinander verknüpft. Die Kombinationsschaltungen selbst sind zustandslos, sie besitzen also kein Speicherverhalten. Der Zusammenhang zwischen den Eingangs- und Ausgangssignalen kann mit einer Funktionstabelle vollständig beschrieben werden. Die entsprechende Verknüpfungsfunktion kann stets in (mindestens) zwei normierten Formen dargestellt werden.

**Disjunktive Normalform (DNF):** Bei dieser Darstellung werden zunächst alle Kombinationen der Eingänge bestimmt, für die das Ausgangssignal gesetzt werden soll (also alle Zeilen der Funktionstabelle, für die  $A = 1$  ist). Diese Kombinationen werden als UND-Verknüpfungen der Eingangssignale dargestellt. Die Ausgänge dieser UND-Verknüpfungen werden anschließend über eine ODER-Verknüpfung miteinander verbunden. Dadurch wird der Ausgang gesetzt, sobald eine der gefundenen Kombinationen auftritt.

**Konjunktive Normalform (KNF):** Bei dieser Darstellung werden zunächst alle Kombinationen der Eingänge bestimmt, für die das Ausgangssignal nicht gesetzt werden soll (also alle Zeilen der Funktionstabelle, für die  $A = 0$  ist). Diese Kombinationen werden invertiert und als ODER-Verknüpfungen der Eingangssignale dargestellt. Die Ausgänge dieser ODER-Verknüpfungen werden anschließend über eine UND-Verknüpfung miteinander verbunden. Die Invertierung der gefundenen Kombinationen bewirkt, dass der Ausgang nur dann gesetzt wird, wenn keine dieser Kombinationen auftritt.

Abbildung 2 zeigt beispielhaft eine Funktionstabelle mit drei Eingangssignalen und die entsprechenden Kombinationsschaltungen in Disjunktiver und in Konjunktiver Normalform.

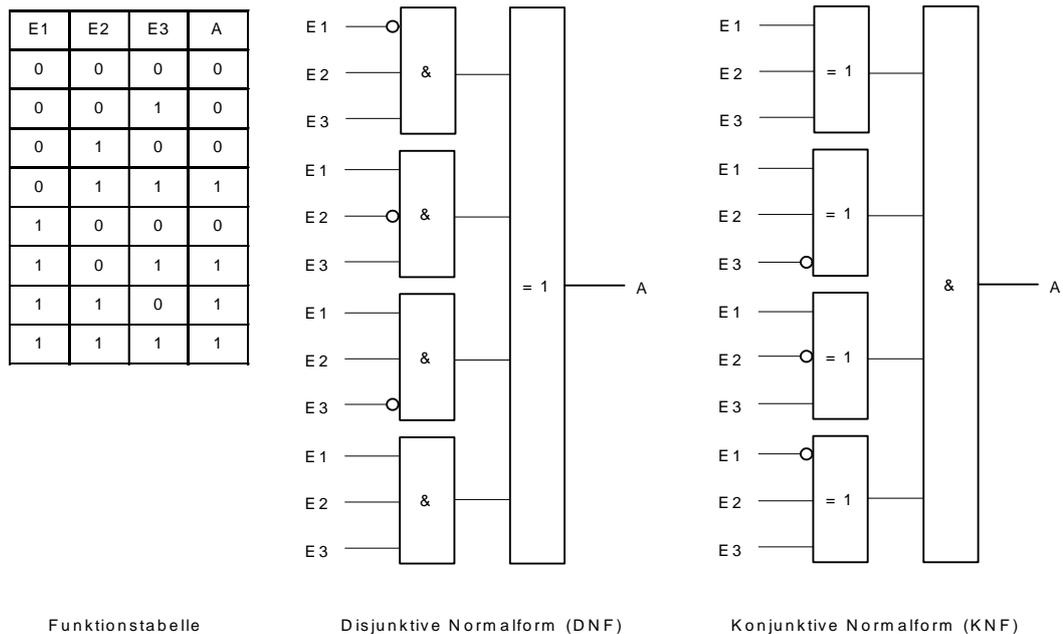


Abbildung 2: Struktur grundlegender Kombinationsschaltungen

### Priorisierungsschaltungen

Schutzfunktionen müssen stets Vorrang vor Betriebs- und Überwachungsfunktionen haben. Hierbei steuern also mehrere Steuersignale das Verhalten eines Stellsignals. Daher müssen die Steuersignale entsprechend priorisiert werden. Die Priorisierung ist in den überwiegenden Fällen statisch und kann daher mit Hilfe eines Schaltnetzes realisiert werden.

## Speichernde Schaltungen

Nicht immer lassen sich die Bedingungen für einen Ausgangszustand allein durch den aktuellen Zustand der Eingänge darstellen. Soll das Ausgangssignal A zum Beispiel durch ein Eingangssignal E1 gesetzt und durch ein anderes Eingangssignal E2 gelöscht werden, so ist dies kombinatorisch nicht mehr darstellbar. A muss auch dann gesetzt bleiben, wenn E1 gelöscht wird. Erst wenn E2 gesetzt wird, soll A gelöscht werden. Damit ist die Wirkung von E2 abhängig davon, ob zuvor E1 gesetzt wurde, also vom aktuellen Zustand Q des Systems. Dieser Zustand muss in der Schaltung gespeichert werden. Solche speichernden Schaltungen werden auch Schaltwerke genannt. Die Speicherung eines Zustands Q kann mit Hilfe eines Rücksetz-Setz-Speicherglieds (R-S-Speicherglied) realisiert werden.

Wie in Abbildung 3 dargestellt, besitzt eine solche Schaltung zwei Eingänge, jeweils einen Eingang zum Setzen (S) und einen Eingang zum Rücksetzen (R) des Ausgangs. Dabei ist es wichtig zu definieren, wie der Ausgang geschaltet werden soll, wenn beide Eingänge gesetzt sind. Abhängig von der Realisierung des R-S-Speichergliedes ist entweder das Setzen oder das Rücksetzen dominant (siehe Abbildung 3).

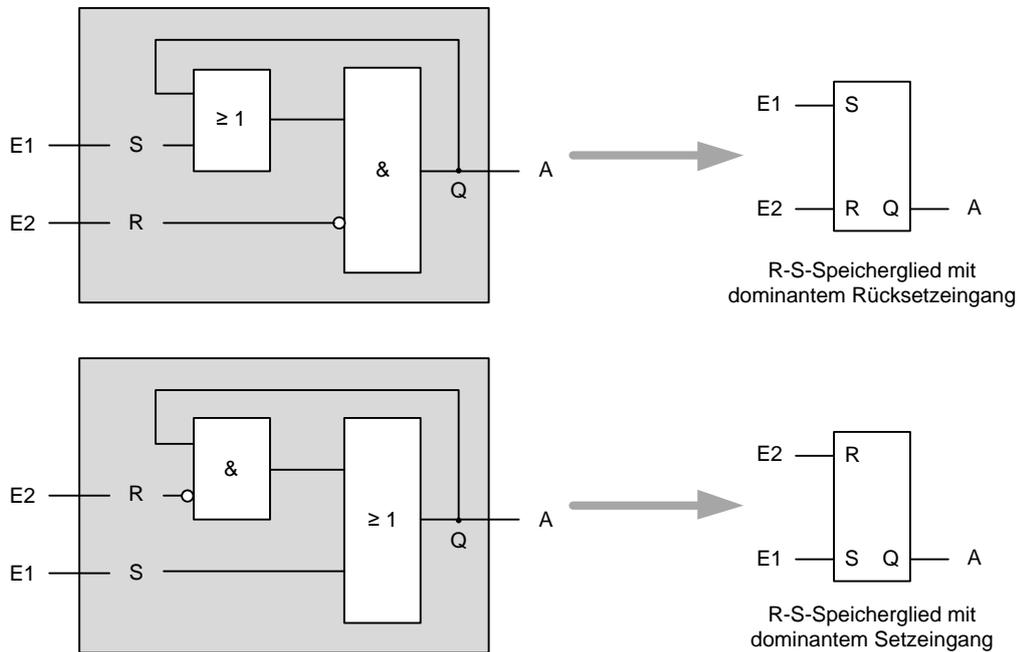


Abbildung 3: Aufbau und Funktionssymbole von R-S-Speichergliedern

## Verriegelungsschaltungen

Häufig dürfen bestimmte Steuersignale nicht gleichzeitig gesetzt werden. So darf zum Beispiel ein Elektromotor mit zwei Drehrichtungen nicht gleichzeitig in den Vorwärtslauf und den Rückwärtslauf geschaltet werden. Die beiden Signale V (Vorwärts) und R (Rückwärts) müssen sich gegenseitig verriegeln.

Mit Hilfe von zwei miteinander gekoppelten R-S-Speichergliedern kann eine Verriegelung realisiert werden. Dabei bestehen zwei Möglichkeiten der Verschaltung. Entweder erfolgt die Verriegelung über die Setz-Eingänge, oder über die Rücksetz-Eingänge. Beide Varianten sind in Abbildung 4 dargestellt. Es ist zu beachten, dass die Verriegelung über den Rücksetz-Eingang nur bei dominantem Rücksetz-Eingang funktioniert.

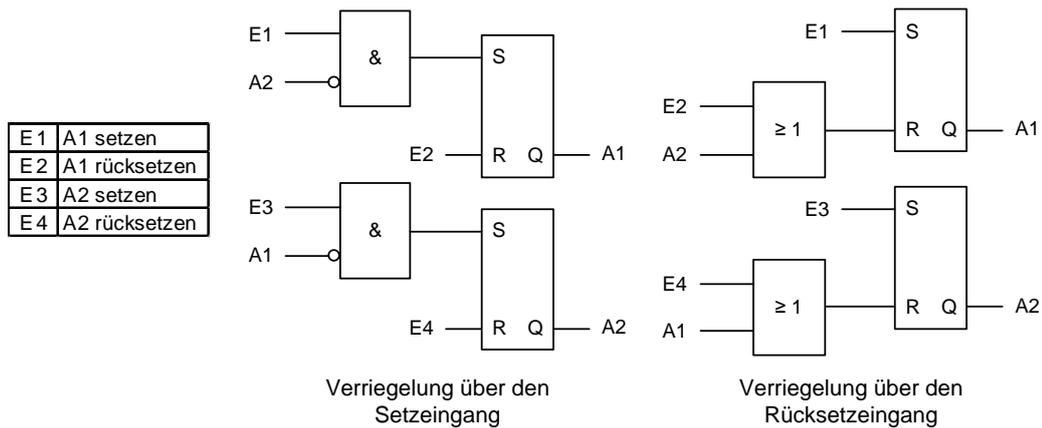


Abbildung 4: Gegenseitige Verriegelung zweier Ausgangssignale

In einigen Fällen muss darüber hinaus festgelegt werden, in welcher Reihenfolge bestimmte Steuersignale gesetzt werden können. In diesem Fall muss eine Reihenfolgenverriegelung realisiert werden. Auch das kann durch eine Aneinanderreihung von Speichergliedern realisiert werden. Dabei werden so viele R-S-Speicherglieder benötigt, wie Schritte koordiniert werden sollen. Abbildung 5 zeigt eine Reihenfolgenverriegelung für zwei Signale.

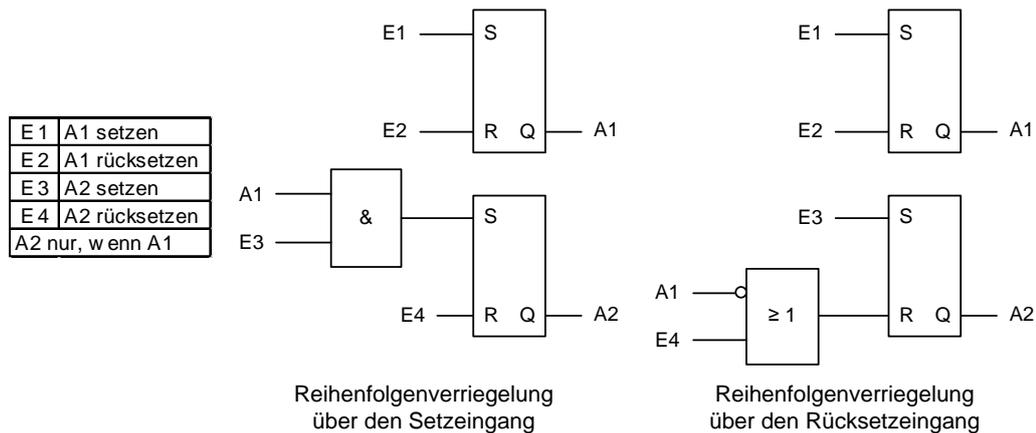


Abbildung 5: Reihenfolgenverriegelung zweier Ausgangssignale

Dabei ist zu beachten, dass mit diesen Schaltungen nur Aktivierungsreihenfolgen und keine Abfolgen realisiert werden. Das Setzen von A2 führt nicht zum Rücksetzen von A1. Bei einer Verriegelung über den Rücksetz-Eingang wird beim Rücksetzen von A1 automatisch auch A2 zurückgesetzt.

### Schaltungen mit Zeitverhalten

Schaltungen mit Zeitverhalten berücksichtigen auch die Zeit seit dem Eintreten eines oder mehrerer Ereignisse. Das Prinzip wird im Folgenden am Beispiel der **Zweihandverriegelung** erklärt. Diese soll verhindern, dass sich Arbeiter bei der Bedienung einer Maschine, zum Beispiel einer Presse, verletzen können. Um zu verhindern, dass der Arbeiter noch eine Hand im Gefahrenbereich der Maschine hat, kann diese nur durch gleichzeitige Betätigung von zwei Tastern ausgelöst werden. Diese Aufgabe kann auch mit Hilfe einer Kombinationsschaltung gelöst werden. Um jedoch zu verhindern, dass ein Taster zum Beispiel mit Klebeband dauerhaft festgestellt wird, muss zusätzlich sichergestellt werden, dass beide Taster innerhalb einer festen Zeitspanne gedrückt werden. Dazu werden **Impulsglieder** verwendet, die unabhängig von der zeitlichen Länge des gesetzten Eingangssignals das Ausgangssignal für eine festgelegte Dauer setzen und dann automatisch rücksetzen. Nur ein Zustandswechsel des Eingangs (von Rücksetzen auf Setzen) erzeugt ein erneutes Setzen des Ausgangssignals. Abbildung 6 zeigt das Funktionssymbol und das Schaltverhalten eines Impulsgliedes.

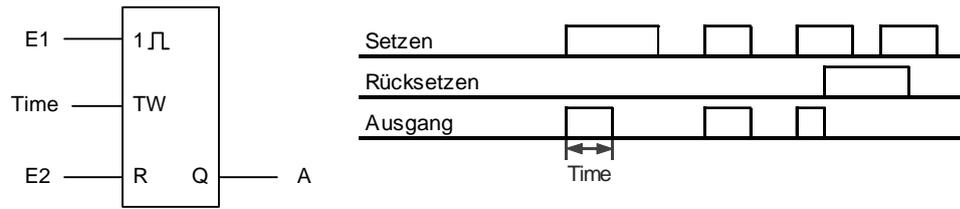


Abbildung 6: Funktionssymbol und Schaltverhalten eines Impulsgliedes

Die entsprechende Schaltung für eine Zweihandverriegelung ist in Abbildung 7 dargestellt. Wird einer der Taster betätigt, so wird der Ausgang Q des Impulsgliedes für die Zeitdauer T gesetzt. Wird nun der zweite Taster betätigt, solange Q gesetzt ist, so sind sämtliche Bedingungen des UND-Gliedes erfüllt und der Ausgang A wird gesetzt. Danach wird das Impulsglied durch die ODER-Verknüpfung mit dem Ausgang A überbrückt.

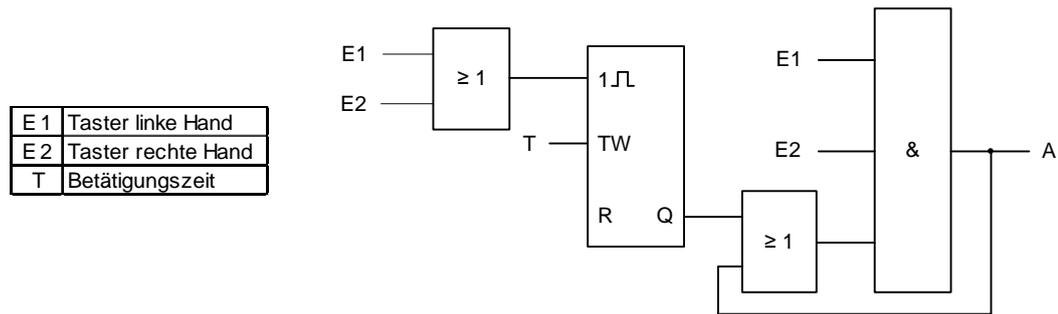


Abbildung 7: Zweihandverriegelung mit Nutzung eines Impulsgliedes

Zeitglieder werden noch für eine Vielzahl weiterer Schutzfunktionen verwendet, zum Beispiel für Schutztorsteuerungen, bei denen geöffnete Tore nach einer festgelegten Zeit automatisch schließen, oder für Motoranlaufsteuerungen, bei denen nach einem vergeblichen Startversuch eine Ruhepause zum Erholen des Antriebs erzwungen wird.

## LITERATUR

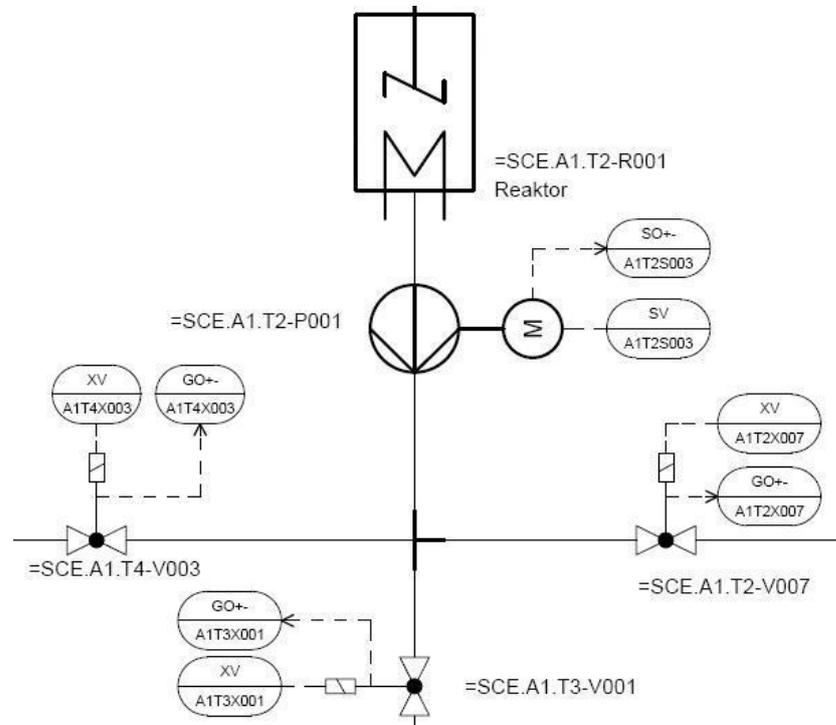
- [1] Strohrmann, G. (1983): Anlagensicherung mit Mitteln der MSR-Technik. Oldenbourg Verlag
- [2] VDI 2180 (Ausg. 2007-04): Sicherung von Anlagen der Verfahrenstechnik mit Mitteln der Prozessleittechnik (PLT).
- [3] DIN EN 61511 (Ausg. 2005-05): Funktionale Sicherheit - Sicherheitstechnische Systeme für die Prozessindustrie.

## SCHRITT-FÜR-SCHRITT-ANLEITUNG

### AUFGABENSTELLUNG

Entsprechend den Vorgaben aus dem Kapitel ‚Prozessbeschreibung‘ sollen die CFC-Pläne aus dem Kapitel ‚Einzelsteuerfunktionen‘ um die Handbetätigung für den Pumpenmotor =SCE.A1.T2-P001 ergänzt werden. Dabei sind die folgenden Verriegelungsbedingungen zu beachten:

- Der Pumpenmotor darf nur eingeschaltet werden, wenn der Hauptschalter der Anlage eingeschaltet und der Notaus- Schalter entriegelt ist.
- Der Produkttank =SCE.A1.T3-B001 darf nicht überlaufen. Es gibt einen Sensor, der den Maximalfüllstand signalisiert.
- Die Pumpe darf keine Luft ansaugen, der minimale Füllstand (hier: 50 ml) im Reaktor =SCE.A1.T2-R002 ist numerisch bekannt und wird über den gemessenen Füllstand ausgewertet.
- Die Pumpe darf keine Flüssigkeit gegen ein geschlossenes Ventil drücken. Es muss, wenn die Pumpe geschaltet ist, also immer entweder Ventil =SCE.A1.T3-V001 oder Ventil =SCE.A1.T2-V007 oder Ventil =SCE.A1.T4-V003 geöffnet sein.



**Hinweis:** Für den Lösungsansatz beachten Sie bitte die Details zu speichernden Schaltungen im Theorieteil.

### LERNZIEL

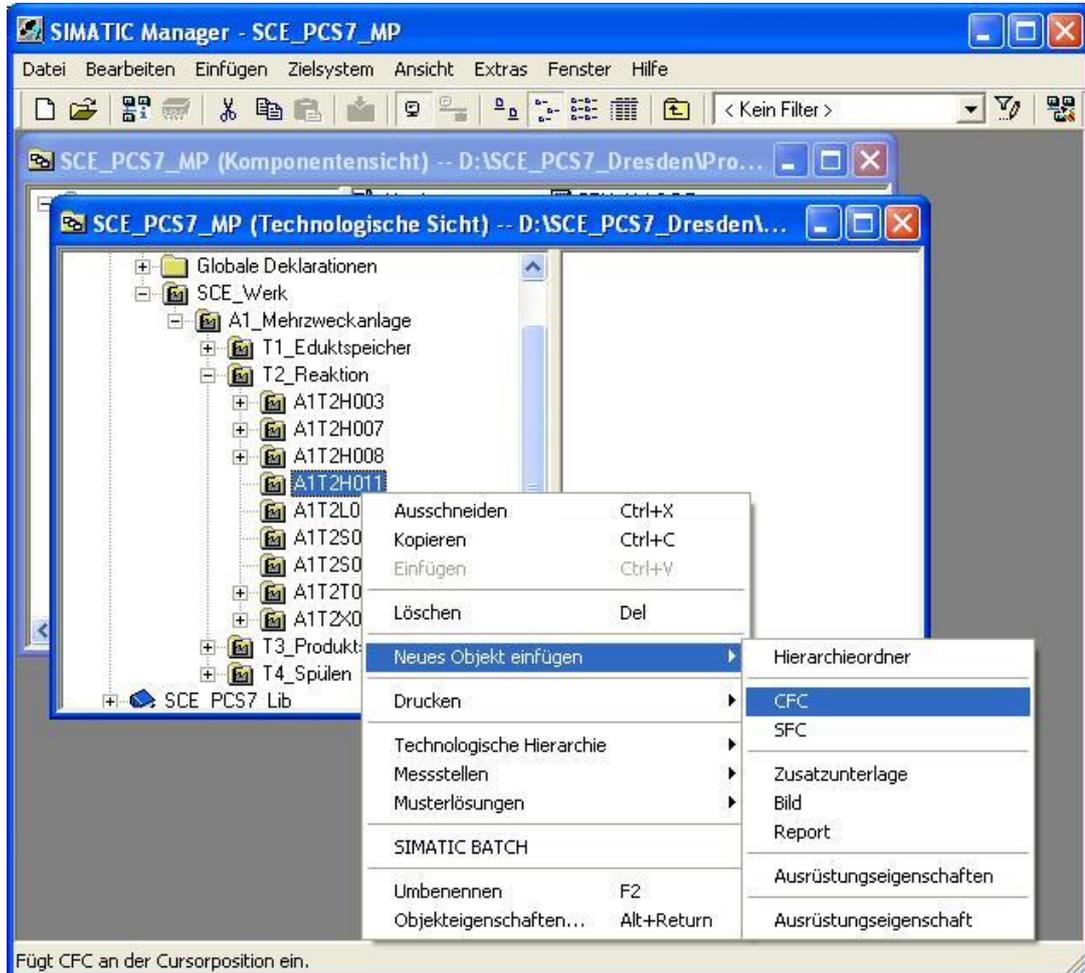
In diesem Kapitel lernt der Studierende:

- Die Realisierung von erweiterten Randbedingungen und der Handbetätigung
- Verschaltungen zwischen CFC- Plänen anzulegen
- Weitere Möglichkeiten zum Programmieren mit CFC
- Nutzung weiterer Blätter in den CFC- Plänen

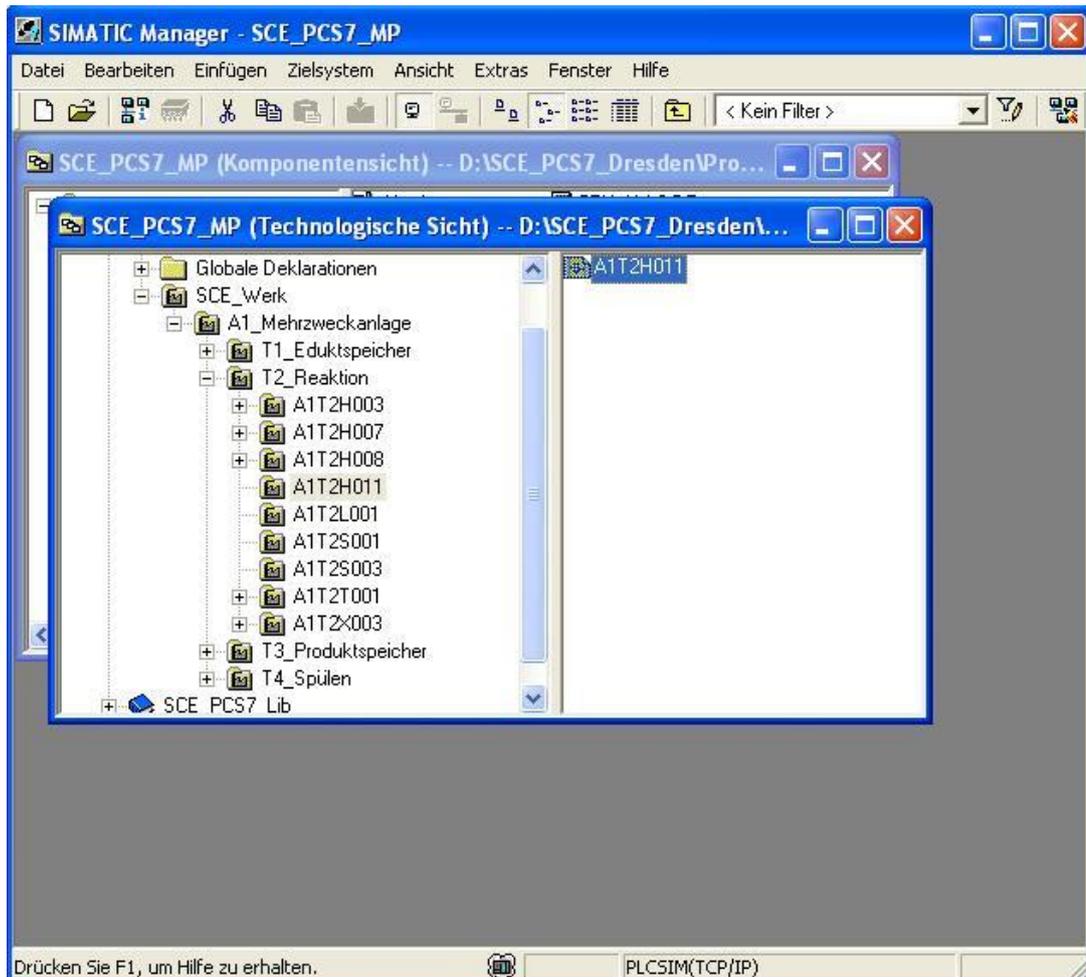
## PROGRAMMIERUNG

Um die Handbetätigung zum Leeren des Reaktors R001 zu programmieren legen wir im SIMATIC Manager in der Technologischen Hierarchie für die EMSR- Stelle A1T2H011 einen neuen CFC- Plan an.

(→ SIMATIC Manager → Ansicht → Technologische Sicht → A1T2H011 → Neues Objekt einfügen → CFC)

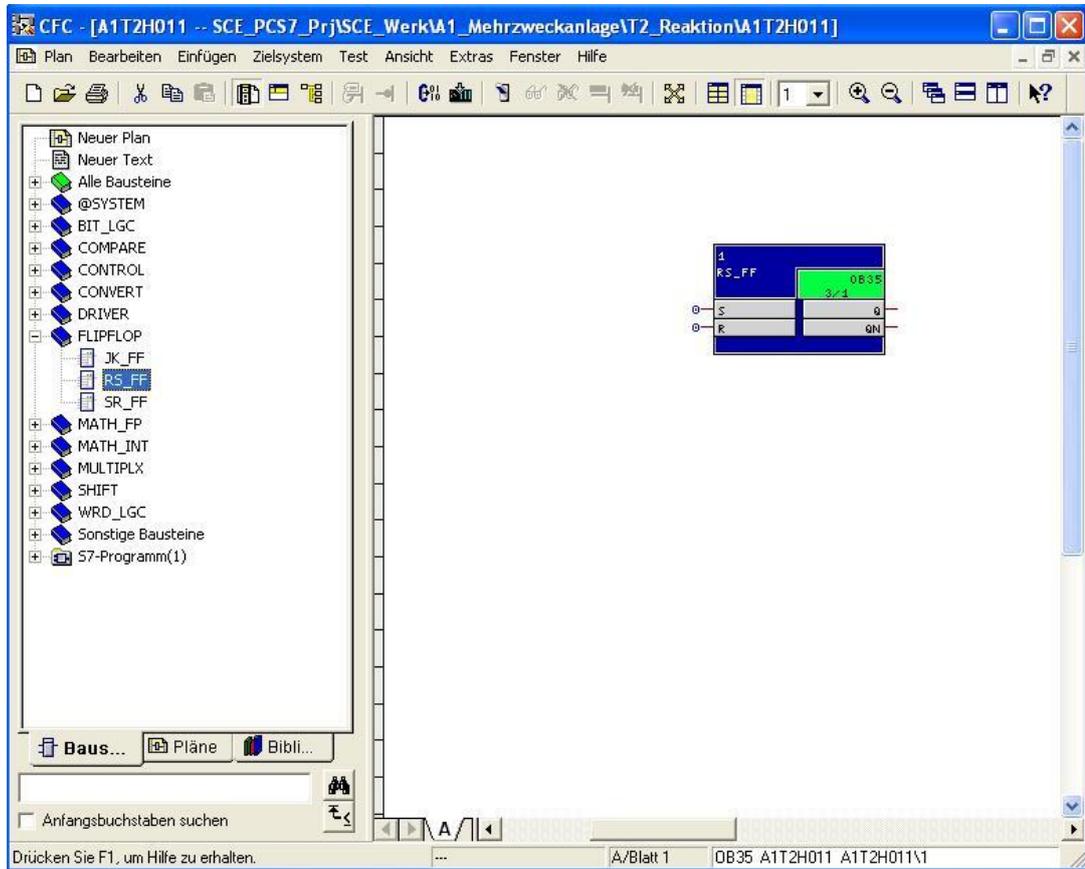


1. Der Plan wird dann umbenannt in ‚A1T2H011‘ und mit einem Doppelklick geöffnet.  
( → A1T2H011)



- Im CFC- Editor ziehen wir dann aus dem Ordner ‚FLIPFLOP‘ im ‚Bausteine‘- Katalog den Baustein ‚RS-FF‘ in das erste Blatt unseres Plans. Damit haben wir ein Speicherelement, bei dem das Rücksetzen bzw. Ausschalten dominant ist.

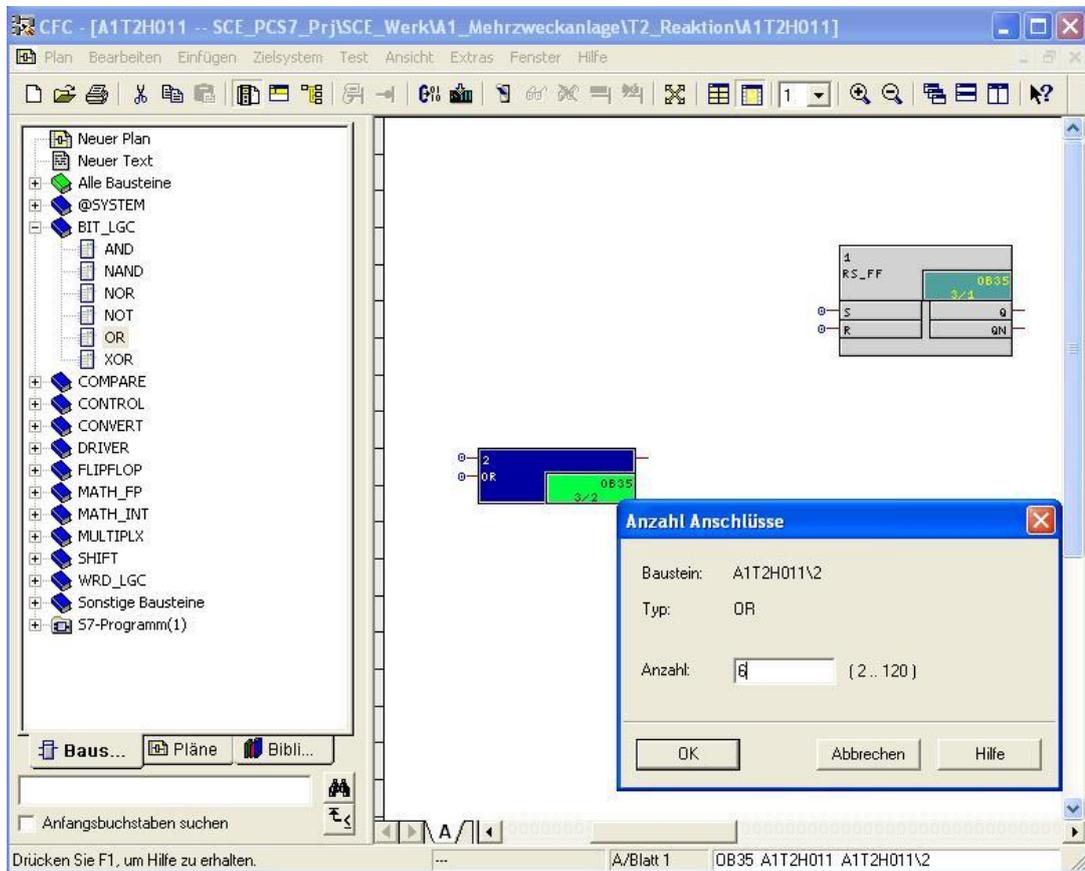
( → Bausteine → FLIPFLOP → RS\_FF )



**Hinweis:** Weitere Informationen zu den eingesetzten Bausteinen erhalten Sie in der ausführlichen Online-Hilfe. Markieren Sie hierzu den entsprechenden Baustein und drücken Sie ‚F1‘ auf der Tastatur.

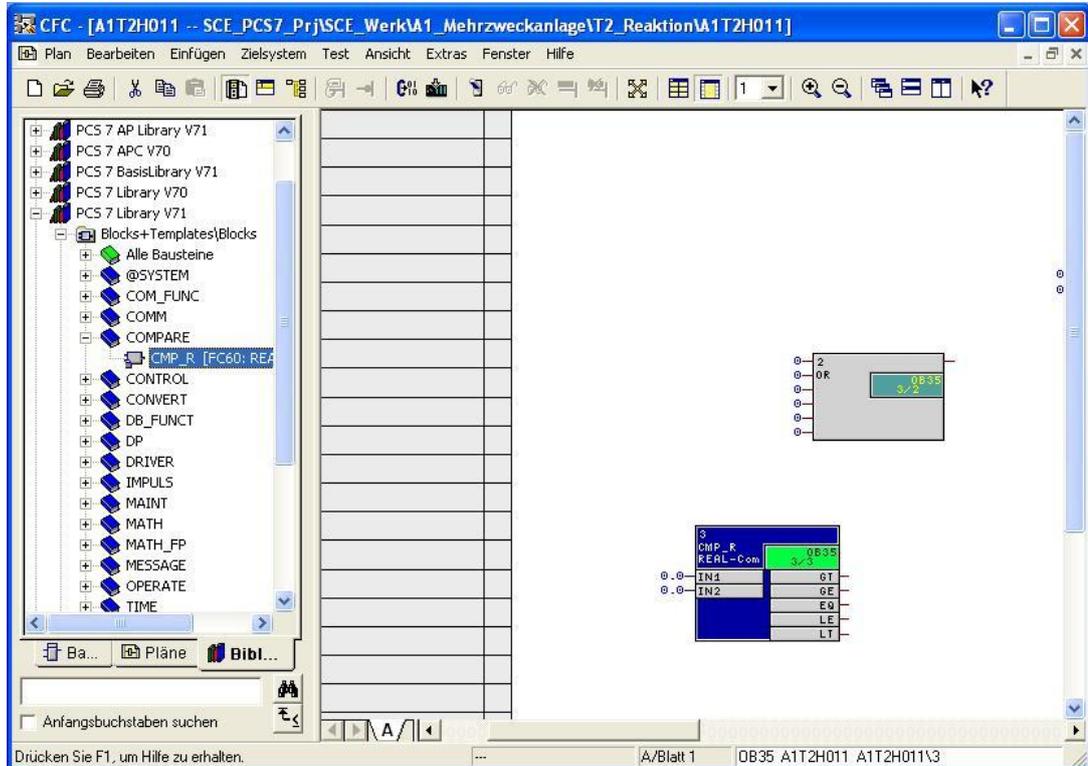
- Als nächstes ziehen wir dann aus dem Ordner ‚BIT\_LGC‘ den Baustein ‚OR‘ in unseren Plan. Dann klicken wir mit der rechten Maustaste auf diesen Baustein und erhöhen die ‚Anzahl der Anschlüsse‘ auf 6.

( → BIT\_LGC → OR → Anzahl der Anschlüsse → 6 → OK )

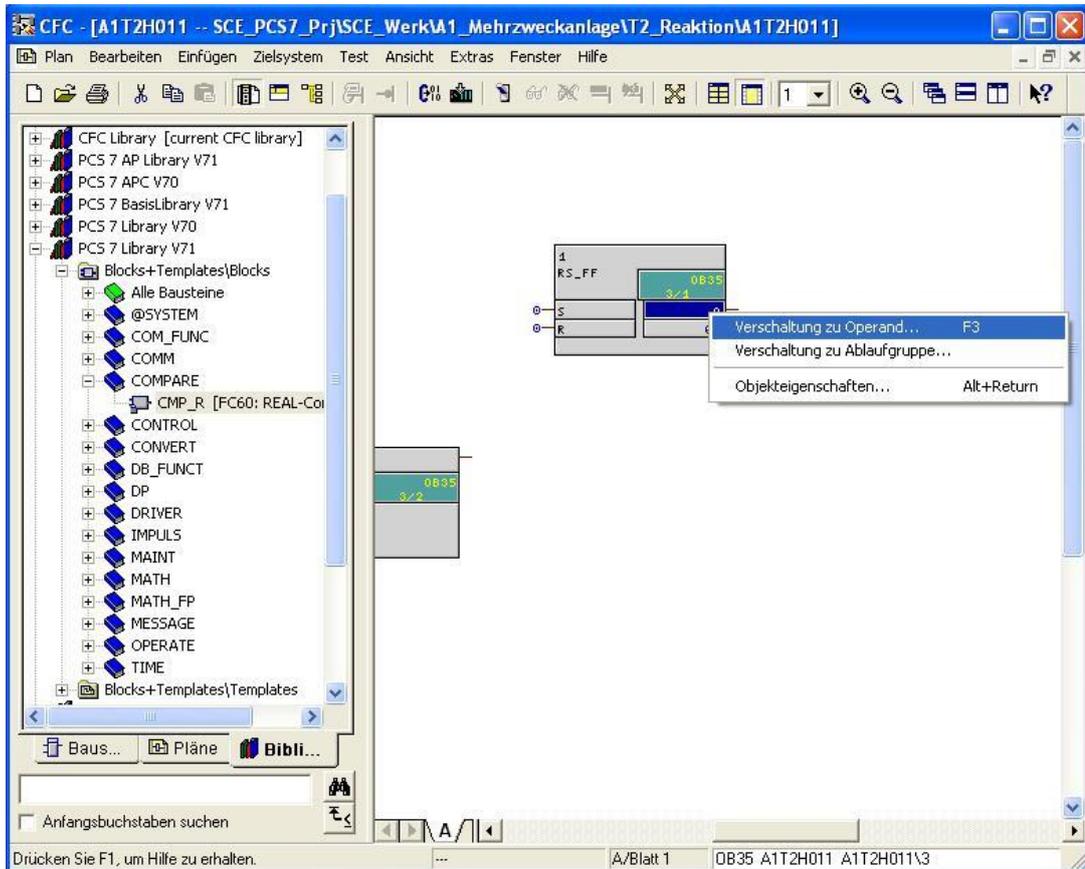


- Nun ziehen wir aus dem Ordner ‚COMPARE‘ der PCS 7 Library V71 im ‚Bibliotheken‘-Katalog den Baustein ‚CMP\_R‘ in unseren Plan. Diesen benötigen wir um den als Zahlenwert vorliegenden Füllstand des Reaktors R001 bei der Verriegelung zu berücksichtigen.

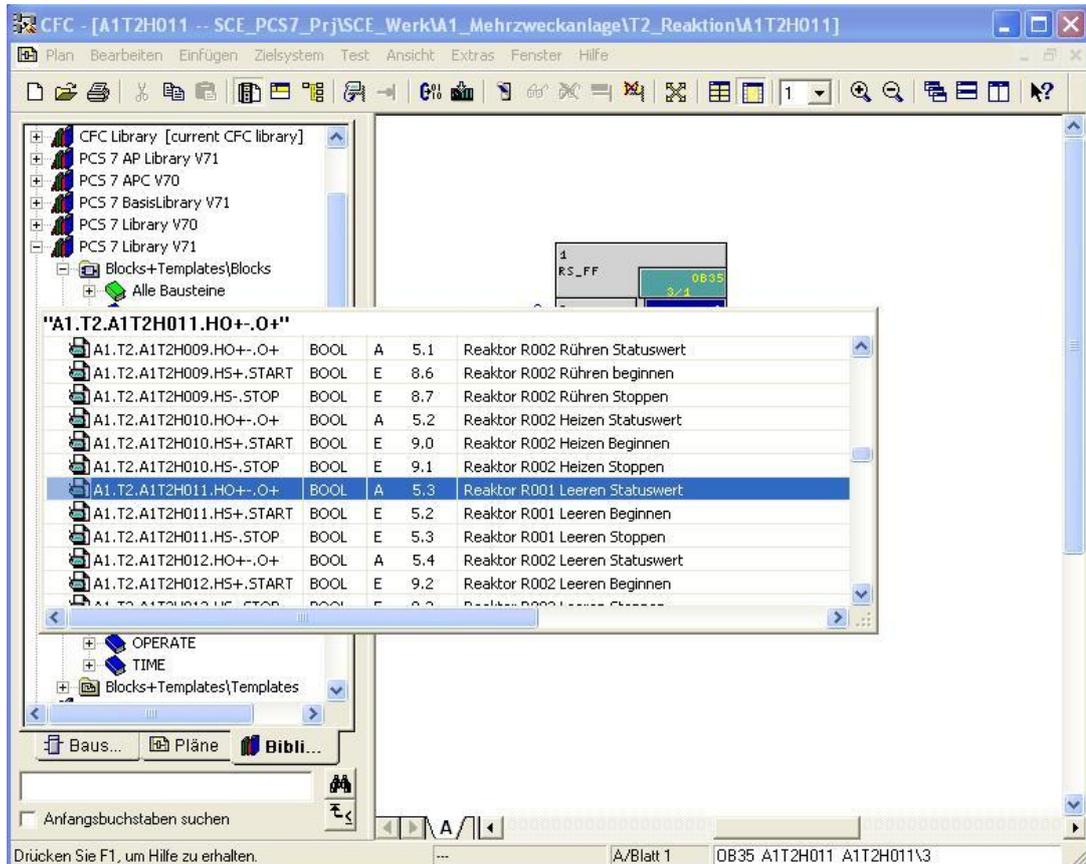
( → Bibliotheken → PCS 7 Library V71 → Blocks+Templates\Blocks → COMPARE → CMP\_R)



- Um den Status der Bedienanforderung anzeigen zu können, wollen wir als nächstes den Ausgang ,Q' des Bausteins ,RS-FF' mit einem Operand aus der Symboltabelle verschalten. ( → RS\_FF → Q → Verschaltung zu Operand)

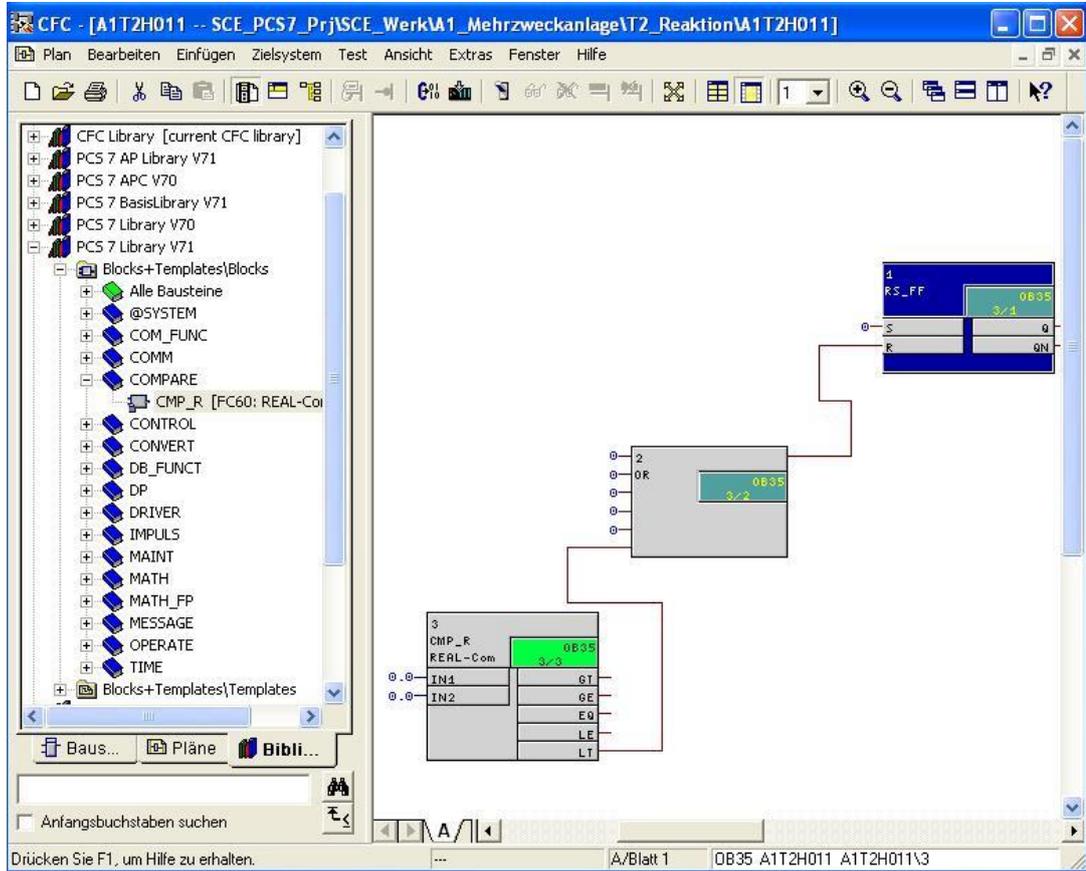


6. Aus der eingblendeten Symboltabelle wählen Sie nun den Ausgang A5.3  
,A1.T2.A1T2H011.HO+-.O+' zur Statusanzeige der Bedianforderung.  
( → ,A1.T2.A1T2H011.HO+-.O+')



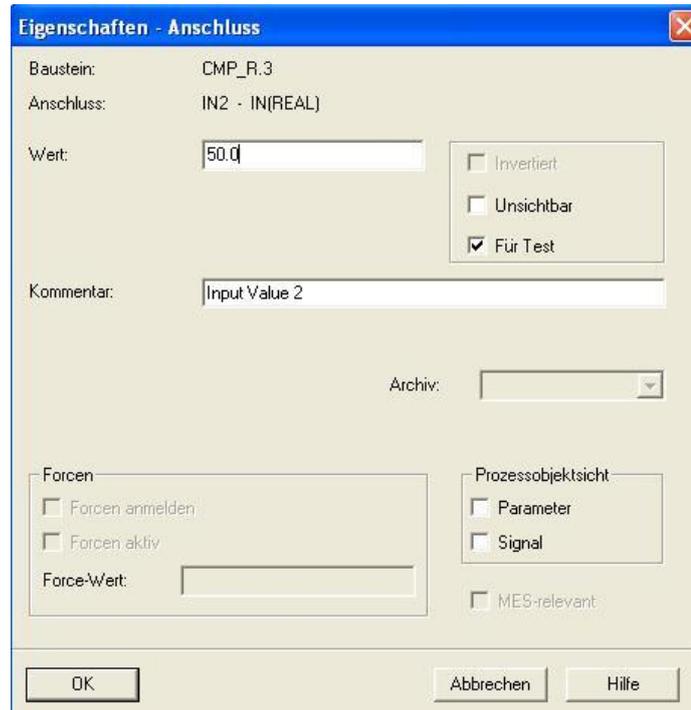
7. Dann erfolgt die erste Verschaltung der Bausteine untereinander. Hierzu wird einfach der Ausgang des ‚OR‘- Bausteines und dann der Eingang ‚R‘ des ‚RS\_FF‘- Bausteines angeklickt. Die Linienführung, die diese Verschaltung zeigt, erfolgt automatisch und kann im CFC- Editor nicht verändert werden. Dann wird noch der Ausgang ‚LT‘ des Bausteines ‚CMP\_R‘ mit einem Eingang des ‚OR‘- Bausteines verbunden.

( → OR → RS\_FF → R → CMP\_R → LT → OR )

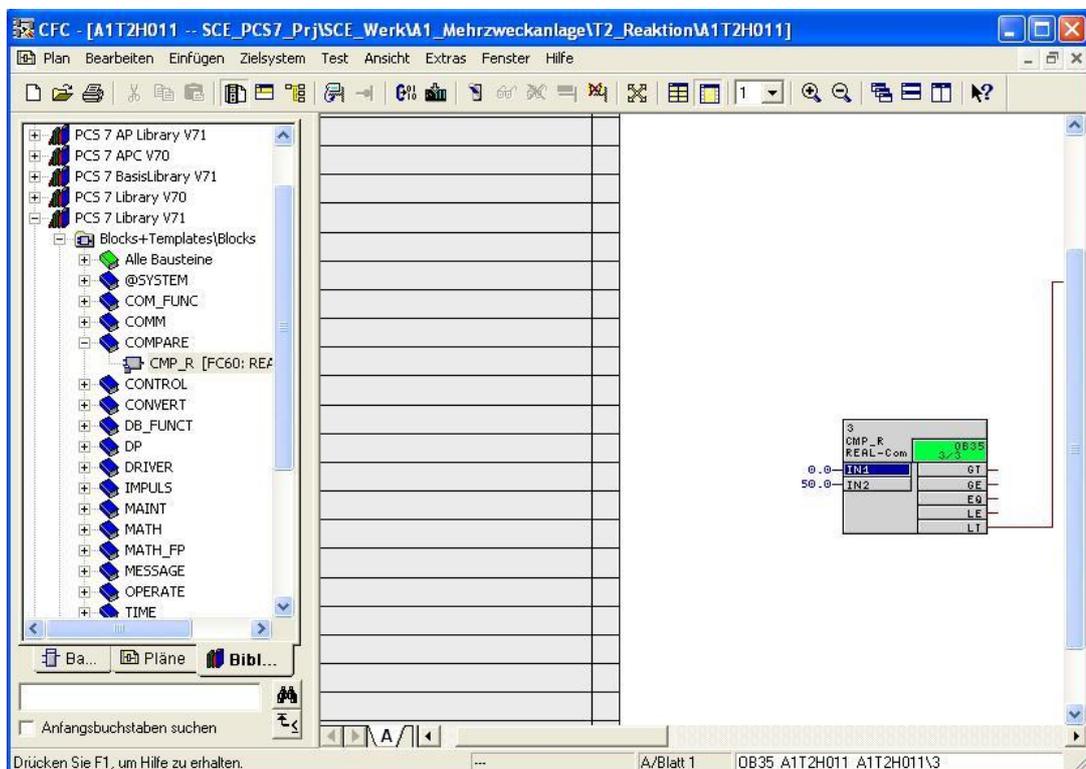


**Hinweis:** Der Ausgang ‚LT‘ des Bausteins ‚CMP\_R‘ hat den Zustand 1 wenn ‚IN1‘ kleiner als ‚IN2‘ ist.

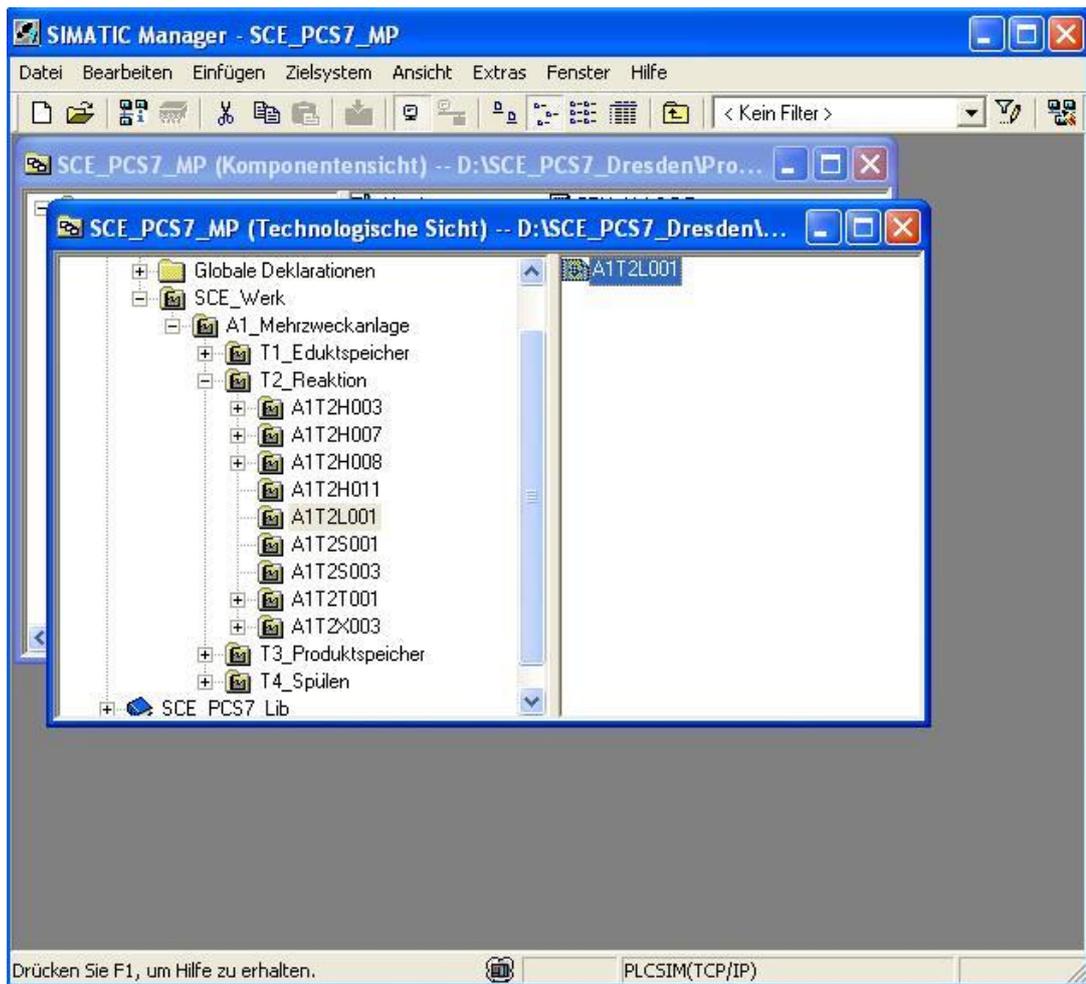
- Dann wird der Vergleichswert am Eingang ,IN2' eingestellt, indem hier die Eigenschaften mit einem Doppelklick geöffnet werden. Tragen Sie als Wert 50.0 ein und übernehmen diese Änderung mit OK. ( → CMP\_R → IN2 → 50.0 → OK)



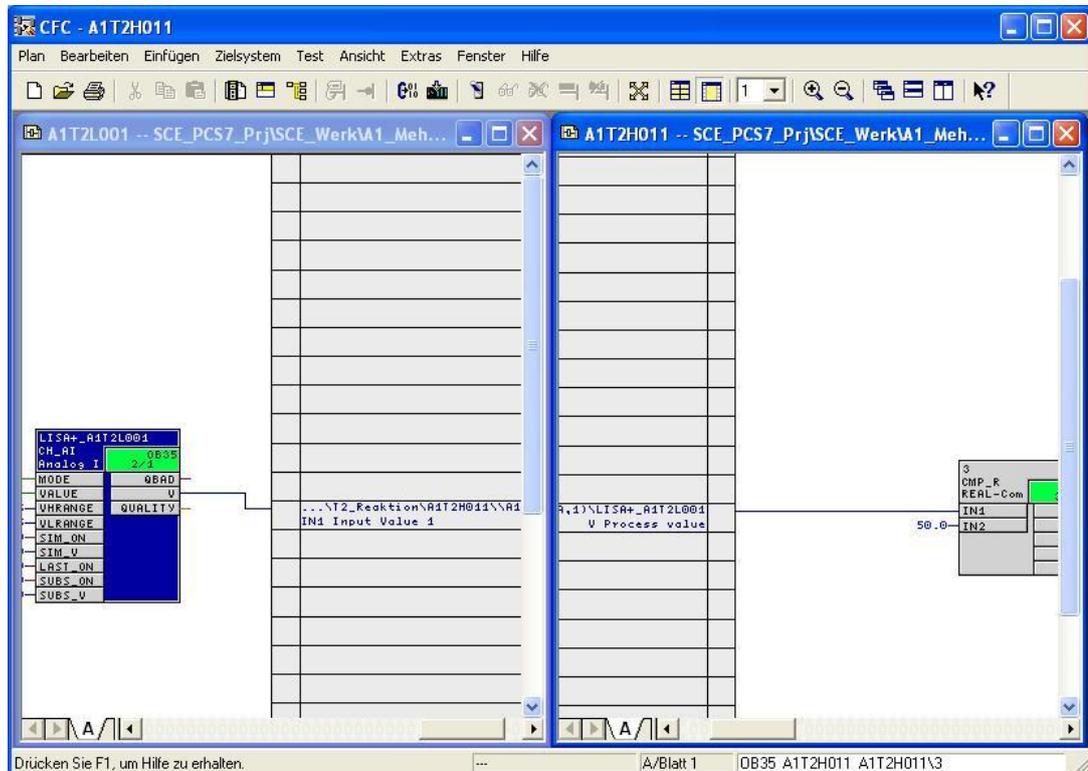
- Nun soll eine planübergreifende Verschaltung von Eingang ,IN1' mit dem gemessenen Füllstand vom Reaktor =SCE.A1.T2.R001 erfolgen. Dazu markieren wir ,IN1' am Baustein ,CMP\_R' ( → CMP\_R → IN1)



10. In der Technologische Hierarchie öffnen wir nun den CFC- Plan ‚A1T2L001‘ mit einem Doppelklick.( → SIMATIC Manager → Technologische Sicht → A1T2L001)



11. In dem geöffneten Plan ‚A1T2L001‘ klicken wir dann bei dem Baustein ‚CH\_AI‘ auf den Ausgang ‚V‘. Die planübergreifende Verknüpfung wird angelegt und bei beiden Plänen an der Randleiste angezeigt. Bei dem Plan ‚A1T2L001‘ wird rechts das Ziel der Verschaltung angezeigt. Bei dem Plan ‚A1T2H011‘ wird links die Quelle der Verschaltung angezeigt. ( → A1T2L001 → V)



**Hinweis:** Falls Sie zwei Pläne so wie hier gezeigt nebeneinander in einem Fenster anordnen wollen, dann empfiehlt es sich dies über das Menü → Fenster → Anordnen → Nebeneinander einzustellen.

12. So wie bereits gezeigt werden dann noch weitere Eingangsverschaltungen entsprechend der Aufgabenstellung angelegt. Das Ergebnis sämtlicher Verschaltungen/Wertvorgaben im Plan ‚A1T2H011/Blatt1‘ zu diesem Zeitpunkt der Projektierung sind hier gezeigt.

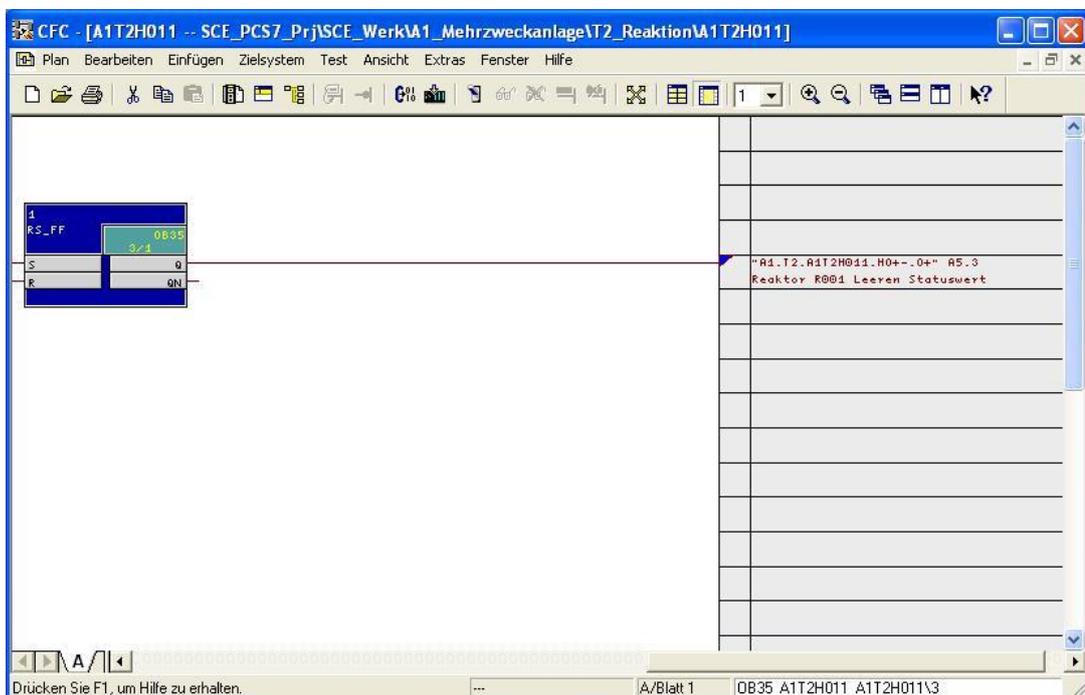
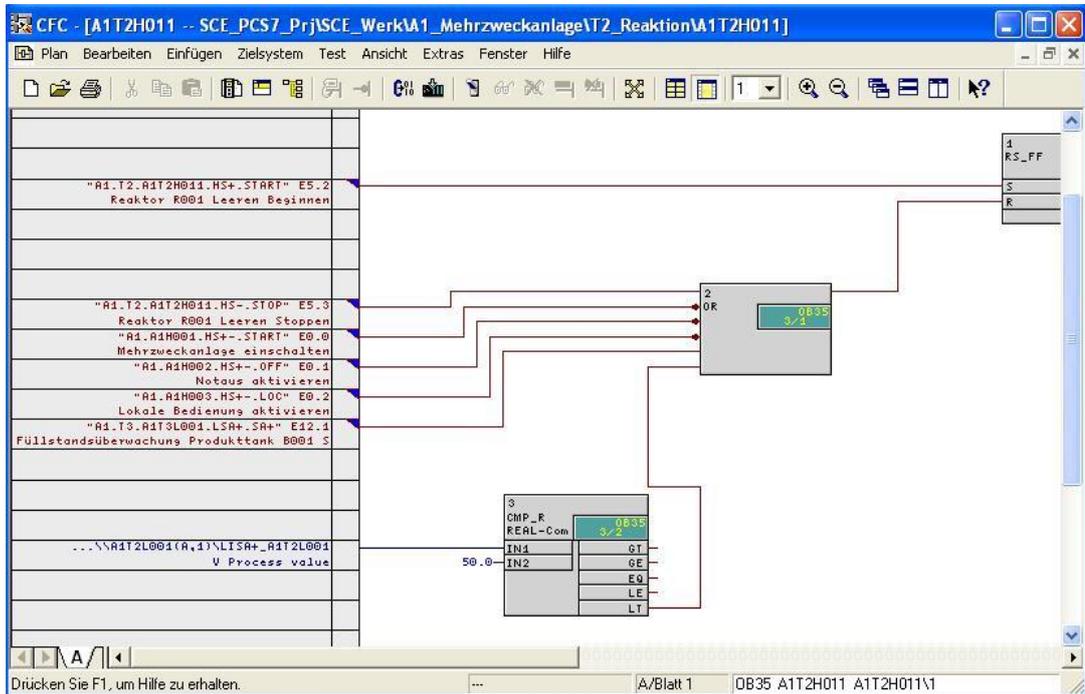


Tabelle 1: Eingangsverschaltungen im Plan ‚A1T2H011/Blatt1‘

Eingang:	Verschaltung zu:	Invertiert
RS_FF.1.S	‚A1.T2.A1T2H011.HS+.START‘ / E5.2 / Reaktor R001 Leeren Beginnen	nein
OR.2.IN1	‚A1.T2.A1T2H011.HS-.STOP‘ / E5.3 / Reaktor R001 Leeren Stoppen	nein
OR.2.IN2	‚A1.A1H001.HS+-.START‘ / E0.0 / Mehrzweckanlage einschalten	ja
OR.2.IN3	‚A1.A1H002.HS+-.OFF‘ / E0.1 / Notaus aktivieren	ja
OR.2.IN4	‚A1.A1H003.HS+-.LOC‘ / E0.2 / Lokale Bedienung aktivieren	ja
OR.2.IN5	‚A1.T3.A1T3L001.LSA+.SA+‘ / E12.1 / Füllstandsüberwachung Produkttank B001 Schaltpunkt H	nein
CMP_R.3.IN1	A1T2L001(A,1) / CH_AI.LISA+_A1T2L001.V Process value	
CMP_R.3.IN2	50.0	



**Hinweis:** ‚A1T2L001(A,1) / CH\_AI.LISA+\_A1T2L001.V Process value‘ steht für:

- Plan A1T2L001
- Teilplan A
- Blatt 1
- Baustein CH\_AI.LISA+\_A1T2L001
- Anschluss V Process value

Tabelle 2: Bausteinverschaltungen im Plan ‚A1T2H011/Blatt1‘

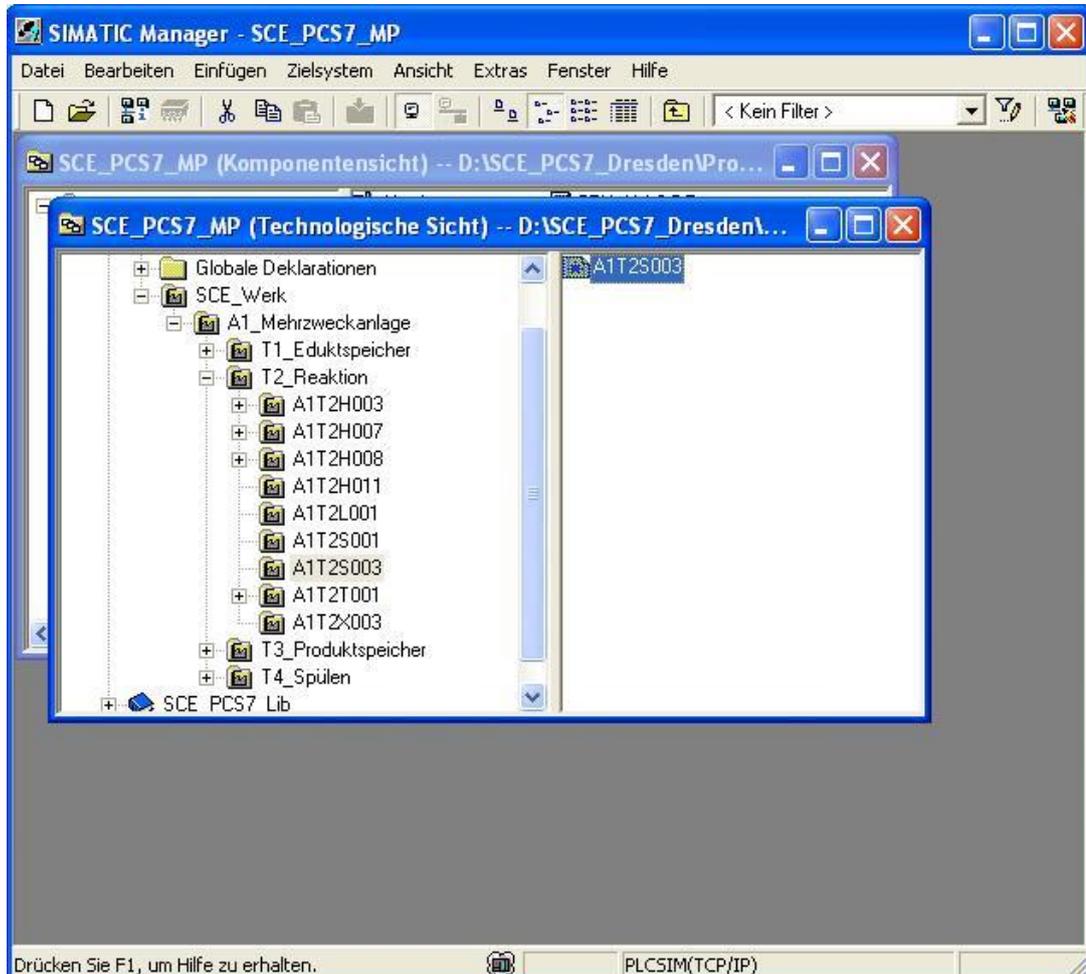
Eingang:	Ausgang:	Invertiert
RS_FF.1.R	OR.2.OUT	nein
OR.2.IN6	CMP_R.3.LT	nein

Tabelle 3: Ausgangsverschaltungen im Plan ‚A1T2H011/Blatt1‘

Ausgang:	Verschaltung zu:	Invertiert
RS_FF.1.Q	‚A1.T2.A1T2H011.HO+-.0+‘ / A5.3 / Reaktor R001 Leeren Statuswert	nein

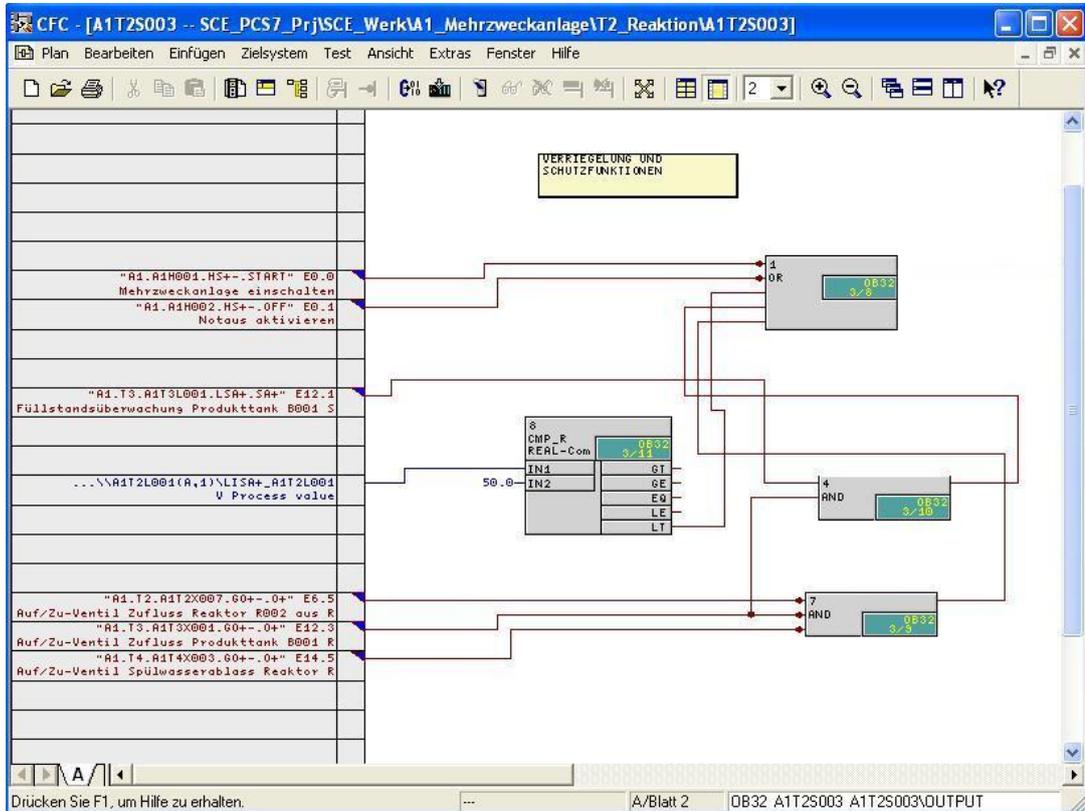
13. Nun werden für die Pumpe ‚Ablass Reaktor R001‘ die Verriegelungsbedingungen erstellt. In der Technologischen Hierarchie öffnen wir hierzu den CFC- Plan ‚A1T2S003‘ mit einem Doppelklick.

( → SIMATIC Manager → Technologische Sicht → A1T2S003)



14. Hier wählen wir nun Blatt 2, ziehen die hier gezeigten Bausteine aus dem Katalog in dieses Blatt von Plan ‚A1T2S003‘ und legen die hier gezeigten Verschaltungen an.

Das Ergebnis sämtlicher Verschaltungen/Wertvorgaben im Plan ‚A1T2S003/Blatt2‘ zu diesem Zeitpunkt der Projektierung sind hier gezeigt. Auch hier beziehen sich diese Verschaltungen exakt auf die Aufgabenstellung. ( → Blatt 2 → ...)



**Hinweis:** Kommentarfelder zur Dokumentation können im Menü über (→ Einfügen → Neuer Text) eingefügt werden.

Tabelle 4: Neue Bausteine im Plan ‚A1T2S003/Blatt2‘

Baustein:	Katalog/Ordner:	Anzahl Anschlüsse:
OR / Oder- Funktion	Bausteine/BIT_LGC	5
AND / Und- Funktion	Bausteine/BIT_LGC	2
AND / Und- Funktion	Bausteine/BIT_LGC	3
CMP_R / Vergleich Gleitpunktzahlen	Bibliotheken/PCS7 Library V71 / COMPARE	-

Tabelle 5: Eingangsverschaltungen im Plan ‚A1T2S003/Blatt2‘

Eingang:	Verschaltung zu:	Invertiert
OR.1.IN1	‚A1.A1H001.HS+-.START‘ / E0.0 / Mehrzweckanlage einschalten	ja
OR.1.IN2	‚A1.A1H002.HS+-.OFF‘ / E0.1 / Notaus aktivieren	ja
AND.4.IN1	‚A1.T3.A1T3L001.LSA+.SA+‘ / E12.1 / Füllstandsüberwachung Produkttank B001 Schaltpunkt H	nein
AND.4.IN2	‚A1.T3.A1T3X001.GO+-.O+‘ / E12.3 / Auf/Zu-Ventil Zufluss Produkttank B001 Rückmeldung auf	nein
AND.7.IN1	‚A1.T2.A1T2X007.GO+-.O+‘ / E6.5 / Auf/Zu-Ventil Zufluss Reaktor R002 aus Reaktor R001 Rückmeldung auf	ja
AND.7.IN2	‚A1.T3.A1T3X001.GO+-.O+‘ / E12.3 / Auf/Zu-Ventil Zufluss Produkttank B001 Rückmeldung auf	ja
AND.7.IN3	‚A1.T4.A1T4X003.GO+-.O+‘ / E14.5 / Auf/Zu-Ventil Spülwasserablass Reaktor R001 Rückmeldung auf	ja
CMP_R.3.IN1	A1T2L001(A,1) / CH_AI.LISA+_A1T2L001.V Process value	
CMP_R.3.IN2	‚50.0	

Tabelle 6: Bausteinverschaltungen im Plan ‚A1T2S003/Blatt2‘

Eingang:	Ausgang:	Invertiert
OR.1.IN3	CMP_R.8.LT	nein
OR.1.IN4	AND.4.OUT	nein
OR.1.IN5	AND.7.OUT	nein

15. Im Blatt 1 von Plan ‚A1T2S003‘ werden für die Verriegelungsbedingungen der Pumpe ‚Ablass Reaktors R001‘ ebenfalls Bausteine ergänzt und Verschaltungen durchgeführt. ( → Blatt1 → ... )

Das Ergebnis sämtlicher Verschaltungen/Wertvorgaben im Plan ‚A1T2S003/Blatt1‘ zu diesem Zeitpunkt der Projektierung sind hier gezeigt.

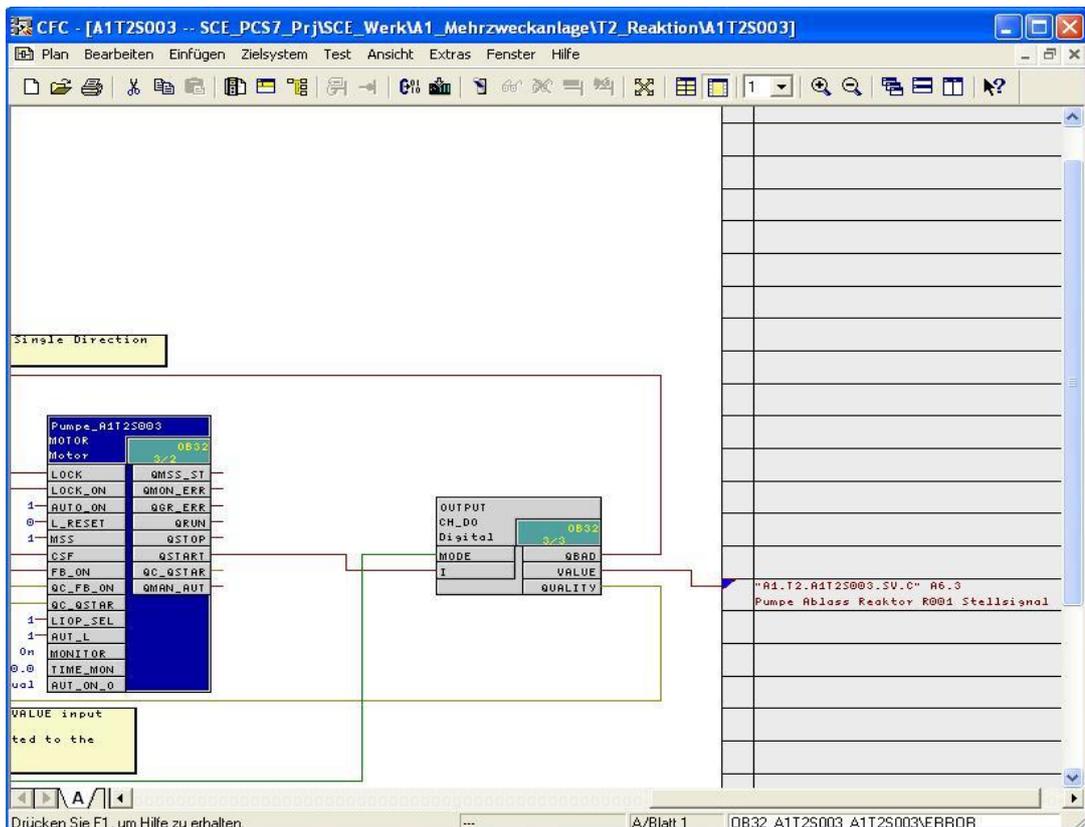
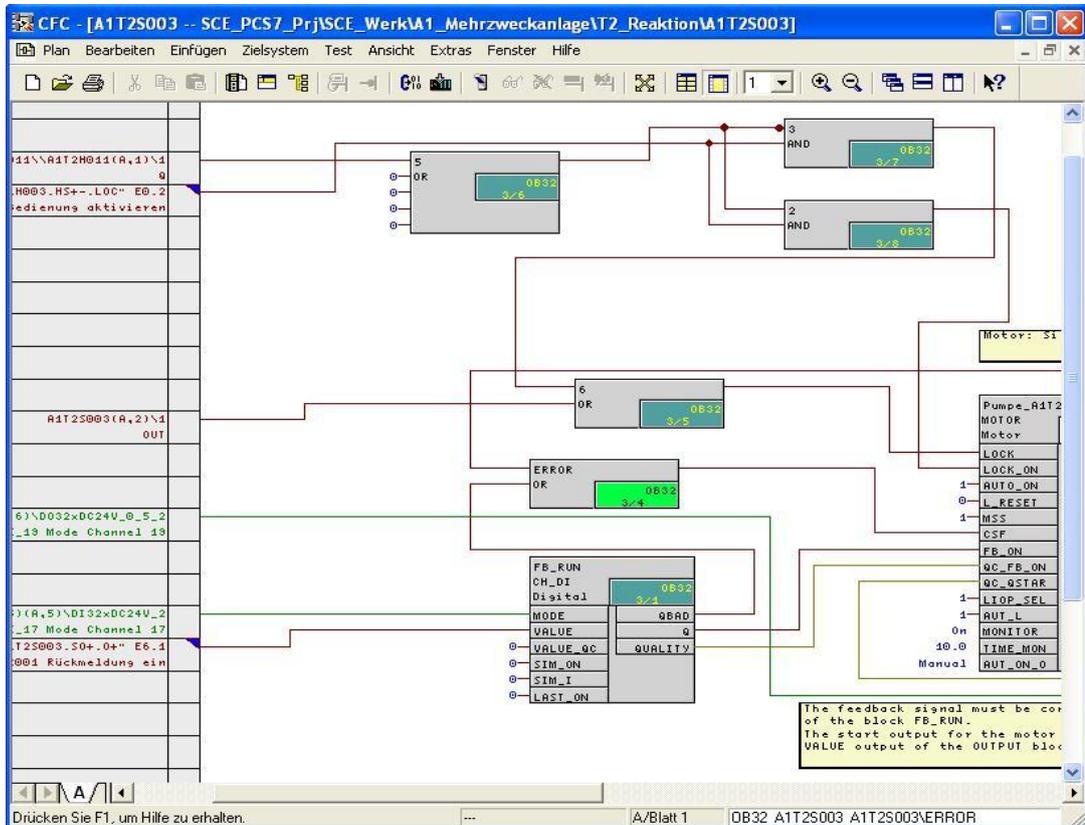


Tabelle 7: Neue Bausteine im Plan ‚A1T2S003/Blatt1‘

Baustein:	Katalog/Ordner:	Anzahl Anschlüsse:
AND / Und- Funktion	Bausteine/BIT_LGC	2
AND / Und- Funktion	Bausteine/BIT_LGC	2
OR / Oder- Funktion	Bausteine/BIT_LGC	5
OR / Oder- Funktion	Bausteine/BIT_LGC	2

Tabelle 8: Eingangverschaltungen im Plan ‚A1T2S003/Blatt1‘

Eingang:	Verschaltung zu:	Invertiert
AND.3.IN2	‚A1.A1H003.HS+-.LOC‘ / E0.2 / Lokale Bedienung aktivieren	nein
AND.2.IN2	‚A1.A1H003.HS+-.LOC‘ / E0.2 / Lokale Bedienung aktivieren	nein
OR.5.IN1	A1T2H011(A,1) / RS_FF.1.Q	nein
OR.6.IN2	A1T2S003(A,2) / OR.1.OUT	nein
CH_DI.FB_RUN.VALUE	‚A1.T2.A1T2S003.SO+.O+‘ / E6.1 / Pumpe Ablass Reaktor R001 Rückmeldung ein	nein
MOTOR.Pumpe_A1T2S003 .MONITOR.	On	
MOTOR.Pumpe_A1T2S003 .TIME_MON	10.0	

Tabelle 9: Bausteinverschaltungen im Plan ‚A1T2S003/Blatt1‘

Eingang:	Ausgang:	Invertiert
AND.3.IN1	OR.5.OUT	ja
AND.2.IN1	OR.5.OUT	nein
OR.6.IN1	AND.3.OUT	nein
MOTOR.Pumpe_A1T2S003 .LOCK	OR.6.OUT	nein
MOTOR.Pumpe_A1T2S003 .LOCK_ON	AND.2.OUT	nein
MOTOR.Pumpe_A1T2S003 .FB_ON	CH_DI.FB_RUN.Q	nein
MOTOR.Pumpe_A1T2S003 .CSF	OR.ERROR.OUT	nein
OR.ERROR.IN1	CH_DO.OUTPUT.QBAD	nein
OR.ERROR.IN2	CH_DI.FB_RUN.QBAD	nein
CH_DO.OUTPUT.I	MOTOR.Pumpe_A1T2S003.QSTART	nein

Tabelle 10: Ausgangverschaltungen im Plan ‚A1T2S003/Blatt1‘

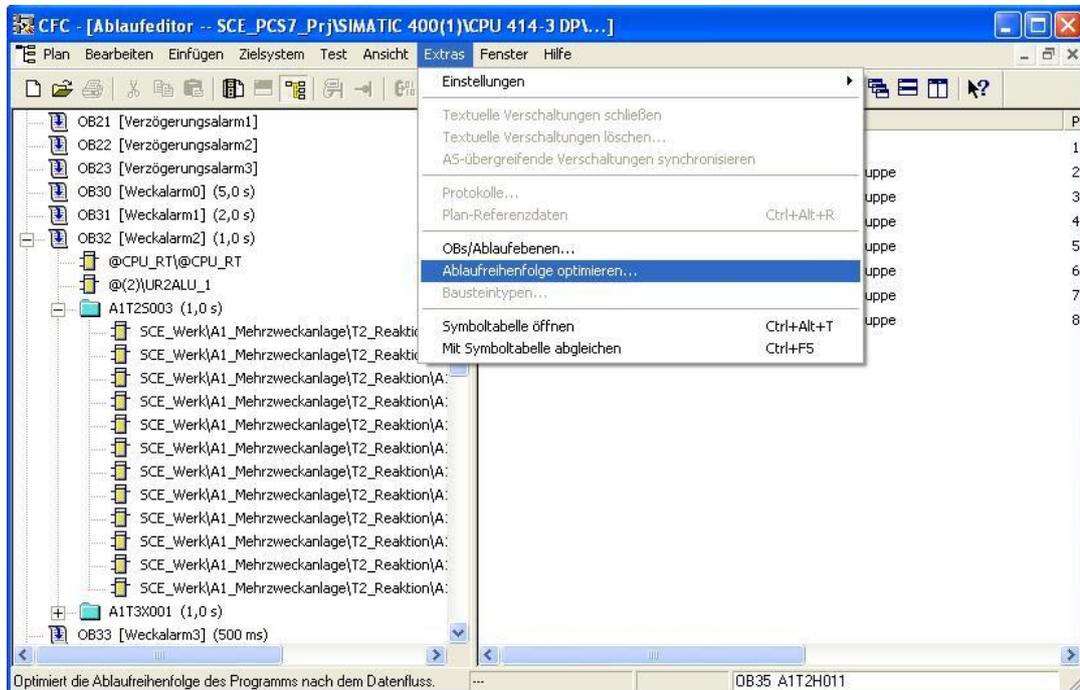
Ausgang:	Verschaltung zu:	Invertiert
CH_DO.OUTPUT.VALUE	‚A1.T2.A1T2S003.SV.C‘ / A6.3 / Pumpe Ablass Reaktor R001 Stellsignal	nein

16. Sämtliche in den Plänen verwendeten Bausteine werden beim Einfügen in die Ablaufreihenfolge des gesamten Programms integriert. Mit einem Klick auf das Symbol



, kann diese Ablaufreihenfolge angezeigt werden. Um den Datenfluss innerhalb des Gesamtprogramms zu verbessern wird empfohlen diese nach dem Erstellen des Programms zu optimieren. Dies geschieht im Menü unter ‚Extras‘, ‚Ablaufreihenfolge

optimieren‘. ( →  → Extras → Ablaufreihenfolge optimieren)



## ÜBUNGEN

In den Übungsaufgaben soll Gelerntes aus der Theorie und der Schritt-für-Schritt-Anleitung umgesetzt werden. Hierbei soll das schon vorhandene Multiprojekt aus der Schritt-für-Schritt-Anleitung (PCS7\_SCE\_0105\_R1105.zip) genutzt und erweitert werden.

Es soll analog zur Sicherung der Pumpe in der Schritt-für-Schritt-Anleitung eine Sicherung des Ventils vorgenommen werden, dessen Steuerung in der vorherigen Übung implementiert wurde.

### ÜBUNGSAUFGABEN:

Die folgenden Übungen orientieren sich an der Schritt-für-Schritt-Anleitung. Für jede Übungsaufgabe können die entsprechenden Schritte der Anleitung als Hilfestellung genutzt werden.

1. Analysieren Sie, welche Funktionen zur Anlagensicherung für das Ventil benötigt werden. Erstellen Sie eine Schalttabelle mit den Signalen aus Tabelle 11 und verknüpfen Sie die Signale so, dass das Ventil wenn nötig in den sicheren Zustand versetzt wird.
2. Öffnen Sie den CFC A1T3X001 und wechseln Sie auf ein leeres Blatt. Implementieren Sie ein Schaltnetz, das die Schalttabelle aus Aufgabe 1 realisiert, und verbinden Sie die benötigten Eingänge. Verbinden Sie den Ausgang des Schaltnetzes mit dem ‚V\_LOCK‘-Eingang des Ventilbausteins. Das Ventil erhält jetzt die Information, wann es in die Ruhelage fahren soll. Jetzt muss noch eingestellt werden, ob der sichere Zustand das geöffnete oder das geschlossene Ventil ist. Dies geschieht über den Eingang ‚SS\_POS‘ der den Wert ‚0‘ haben muss, damit das Ventil in der Ruhelage geschlossen ist.
3. Es gibt noch zwei Eingänge, die die Stellung des Ventils beeinflussen können, ‚VL\_CLOSE‘ und ‚VL\_OPEN‘. Diese Eingänge haben eine niedrigere Priorität als ‚V\_LOCK‘. Wie diese beiden Eingänge geschaltet werden, entscheidet sich durch die Verschaltung ‚A1T2H011(A,1) / RS\_FF.1.Q‘, die in dem CFC A1T2H011 gebildet wird und angibt ob sich der Reaktor R001 gerade leert oder nicht, und durch das Signal ‚A1.A1H003.HS+-.LOC‘, das anzeigt ob die lokale Bedienung aktiviert ist. Bei lokaler Bedienung und sich leerendem Reaktor R001 soll das Ventil offen sein (‚VL\_OPEN‘ des Ventilbausteins auf TRUE setzen). Bei lokaler Bedienung ohne Leerung des Reaktors R001 soll das Ventil geschlossen sein (‚VL\_CLOSE‘ des Ventilbausteins auf TRUE setzen). Implementieren Sie ein Schaltnetz, das diese Bedingungen erfüllt.

Tabelle 11: Signale zur Verriegelung des Ventils

Signal:	Bezeichnung:
A1.A1H001.HS+-.START	Mehrzweckanlage einschalten
A1.A1H002.HS+-.OFF	Notaus aktivieren