

Modellierung von Verarbeitungsketten mit und für KiCAD

Christoph Stadelmann, M.Sc.

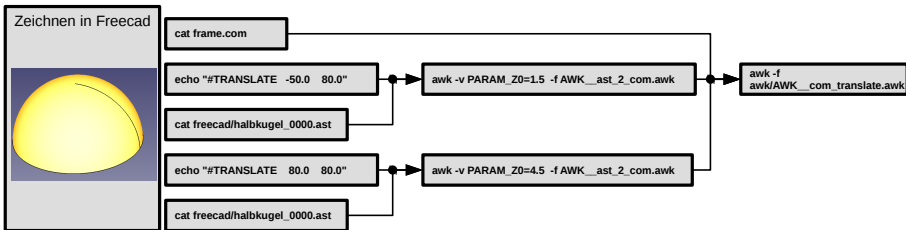
Erlug-Erlangen

9. Mai 2026

Inhaltsverzeichnis

- 1 Motivation / Einsatzbereich
- 2 Mathematische Modellierung von Filterketten
- 3 Strukturmuster in Filterketten
- 4 Reduzierte Darstellungsform
- 5 Modellierung von Automaten
- 6 Operator- und Systemeigenschaften.
- 7 Modellierung in KiCAD
- 8 Infosphäre - Mensch-Maschinen-Schnittstelle
- 9 Datentransformationsfelder
- 10 Zusammenfassung

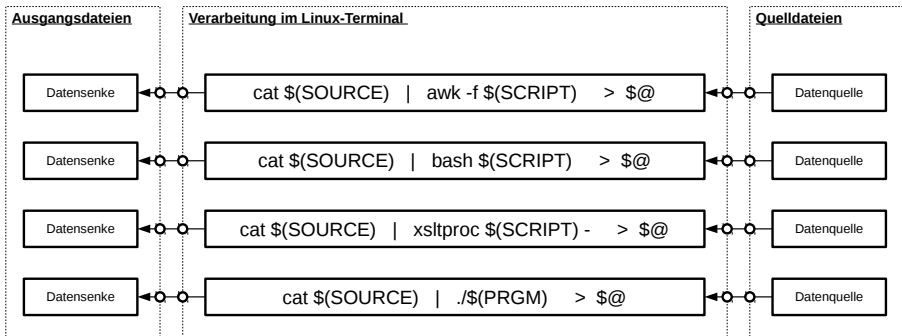
Signalflüsse; Erstellen und Platzieren von Laser-Schnitten.



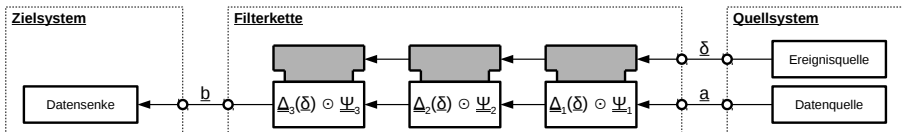
Regel in einer Makefile

```
image_1_com: makefile freecad/halbkugel_0000.ast awk/*.awk
{ cat frame.com; }
{ echo "#TRANSLATE -50.0 80.0"; cat freecad/halbkugel_0000.ast | awk -v PARAM_Z0=1.5 -f AWK_ast_2_com.awk }; }
{ echo "#TRANSLATE 80.0 80.0"; cat freecad/halbkugel_0000.ast | awk -v PARAM_Z0=4.5 -f AWK_ast_2_com.awk }; }
{ echo "#TRANSLATE -50.0 -80.0"; cat freecad/halbkugel_0000.ast | awk -v PARAM_Z0=7.5 -f AWK_ast_2_com.awk }; }
{ echo "#TRANSLATE 80.0 -80.0"; cat freecad/halbkugel_0000.ast | awk -v PARAM_Z0=10.5 -f AWK_ast_2_com.awk }; }
{ echo "#TRANSLATE -105.0 0.0"; cat freecad/halbkugel_0000.ast | awk -v PARAM_Z0=49.5 -f AWK_ast_2_com.awk }; }
{ echo "#TRANSLATE -5.0 0.0"; cat freecad/halbkugel_0000.ast | awk -v PARAM_Z0=52.5 -f AWK_ast_2_com.awk }; }
{ echo "#TRANSLATE 50.0 0.0"; cat freecad/halbkugel_0000.ast | awk -v PARAM_Z0=55.5 -f AWK_ast_2_com.awk }; }
{ echo "#TRANSLATE 100.0 0.0"; cat freecad/halbkugel_0000.ast | awk -v PARAM_Z0=58.5 -f AWK_ast_2_com.awk }; }
echo "" | awk -f awk/AWK_com_translate.awk > $@
echo "do done"
```

Linux-Terminal; Signalflüsse; Operatoren.



Es war einmal eine kleine Formel.

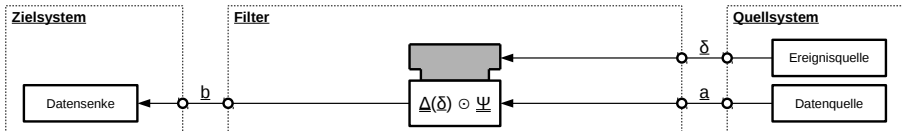


Kernformel:

$$\vec{b} = \prod_{i=1}^k \left(\vec{\Delta}_i(\vec{\delta}) \odot \vec{\Psi}_i \right) (\vec{a})$$

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} \delta_{1,1} & \delta_{1,2} & \delta_{1,3} \\ \delta_{2,1} & \delta_{2,2} & \delta_{2,3} \\ \delta_{3,1} & \delta_{3,2} & \delta_{3,3} \end{pmatrix}}_{\text{Ereignismatrix: } \vec{\Delta}(\vec{\delta})} \odot \underbrace{\begin{pmatrix} \psi_{1,1} & \psi_{1,2} & \psi_{1,3} \\ \psi_{2,1} & \psi_{2,2} & \psi_{2,3} \\ \psi_{3,1} & \psi_{3,2} & \psi_{3,3} \end{pmatrix}}_{\text{Operatormatrix: } \vec{\Psi}} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix}$$

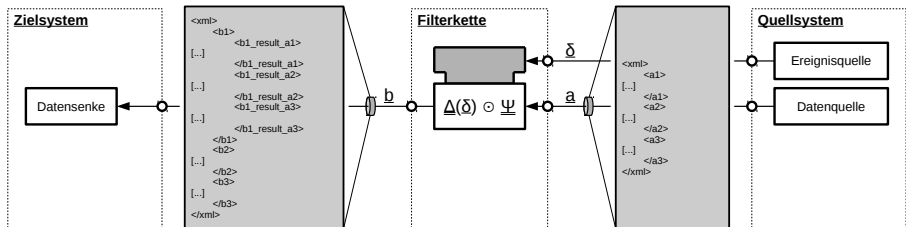
Operator-Arithmetik.



$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \delta_{1,1} \psi_{1,1} & \delta_{1,2} \psi_{1,2} & \delta_{1,3} \psi_{1,3} \\ \delta_{2,1} \psi_{2,1} & \delta_{2,2} \psi_{2,2} & \delta_{2,3} \psi_{2,3} \\ \delta_{3,1} \psi_{3,1} & \delta_{3,2} \psi_{3,2} & \delta_{3,3} \psi_{3,3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix}$$

$$b_p = \left\{ \begin{array}{l} \emptyset : (\delta = 0) , (\psi = 0) , (a = 0) \\ \emptyset : (\delta = 0) , (\psi = 0) , (a \neq 0) \\ \emptyset : (\delta = 0) , (\psi \neq 0) , (a = 0) \\ \emptyset : (\delta = 0) , (\psi \neq 0) , (a \neq 0) \\ \emptyset : (\delta \neq 0) , (\psi = 0) , (a = 0) \\ \emptyset : (\delta \neq 0) , (\psi = 0) , (a \neq 0) \\ \psi : 0 \mapsto b_p : (\delta \neq 0) , (\psi \neq 0) , (a = 0) \\ \psi : a \mapsto b_p : (\delta \neq 0) , (\psi \neq 0) , (a \neq 0) \end{array} \right.$$

Daten in Filterketten.



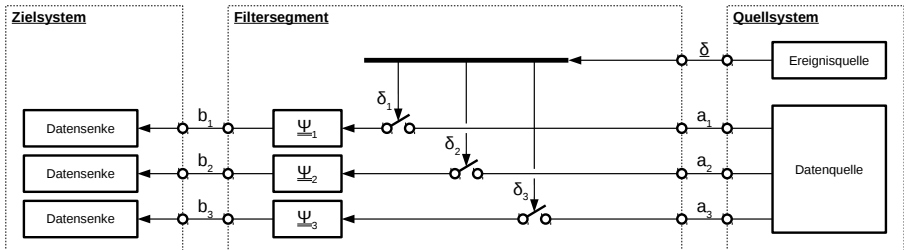
$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} \delta_{1,1} & \delta_{1,2} & \delta_{1,3} \\ \delta_{2,1} & \delta_{2,2} & \delta_{2,3} \\ \delta_{3,1} & \delta_{3,2} & \delta_{3,3} \end{pmatrix}}_{\text{Ereignismatrix: } \overrightarrow{\Delta}(\vec{\delta})} \odot \underbrace{\begin{pmatrix} \psi_{1,1} & \psi_{1,2} & \psi_{1,3} \\ \psi_{2,1} & \psi_{2,2} & \psi_{2,3} \\ \psi_{3,1} & \psi_{3,2} & \psi_{3,3} \end{pmatrix}}_{\text{Operatormatrix: } \overrightarrow{\Psi}} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix}$$

$$b_1 = \delta_{1,1} \psi_{1,1} a_1 + \delta_{1,2} \psi_{1,2} a_2 + \delta_{1,3} \psi_{1,3} a_3$$

$$b_2 = \delta_{2,1} \psi_{2,1} a_1 + \delta_{2,2} \psi_{2,2} a_2 + \delta_{2,3} \psi_{2,3} a_3$$

$$b_3 = \delta_{3,1} \psi_{3,1} a_1 + \delta_{3,2} \psi_{3,2} a_2 + \delta_{3,3} \psi_{3,3} a_3$$

Strukturmuster; Bedingte Datenverarbeitung.



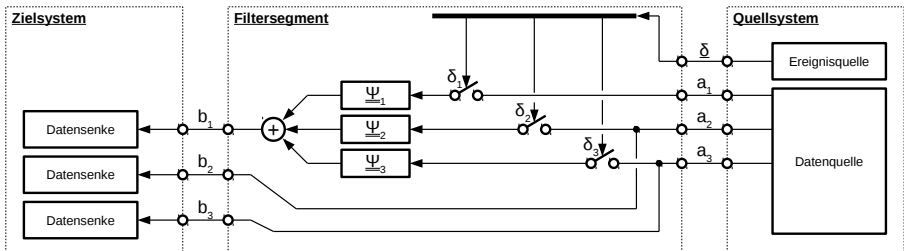
$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} \delta_1 & 0 & 0 \\ 0 & \delta_2 & 0 \\ 0 & 0 & \delta_3 \end{pmatrix}}_{\text{Ereignismatrix: } \vec{\Delta}(\vec{\delta})} \odot \underbrace{\begin{pmatrix} \psi_1 & 0 & 0 \\ 0 & \psi_2 & 0 \\ 0 & 0 & \psi_3 \end{pmatrix}}_{\text{Operatormatrix: } \vec{\Psi}} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix}$$

$$b_1 = \delta_1 \psi_1 a_1$$

$$b_2 = \delta_2 \psi_2 a_2$$

$$b_3 = \delta_3 \psi_3 a_3$$

Strukturmuster; Multiplexer.



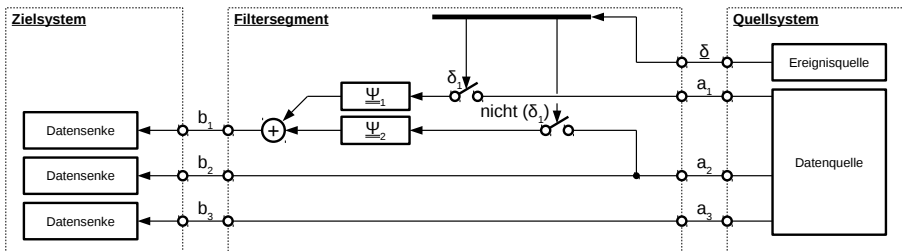
$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} \delta_1 & \delta_2 & \delta_3 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\text{Ereignismatrix: } \vec{\Delta}(\vec{\delta})} \odot \underbrace{\begin{pmatrix} \psi_1 & \psi_2 & \psi_3 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\text{Operatormatrix: } \vec{\Psi}} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix}$$

$$b_1 = \delta_1 \psi_1 a_1 + \delta_2 \psi_2 a_2 + \delta_3 \psi_3 a_3$$

$$b_2 = a_2$$

$$b_3 = a_3$$

Strukturmuster; Bedingte Kopplung.



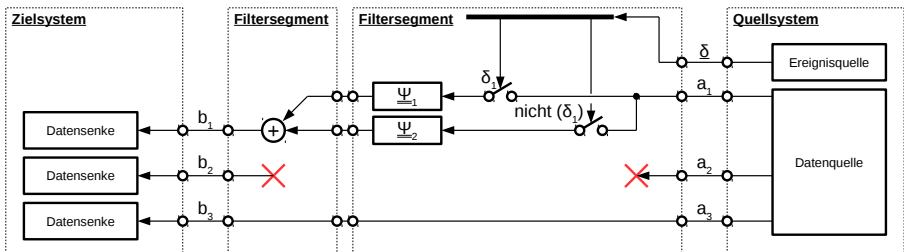
$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} \delta_1 & (1 - \delta_1) & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\text{Ereignismatrix: } \vec{\Delta}(\vec{\delta})} \odot \underbrace{\begin{pmatrix} \psi_1 & \psi_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\text{Operatormatrix: } \vec{\Psi}} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix}$$

$$b_1 = \delta_1 \psi_1 a_1 + (1 - \delta_1) \psi_2 a_2$$

$$b_2 = a_2$$

$$b_3 = a_3$$

Strukturmuster; Bedingte Multiplexer.



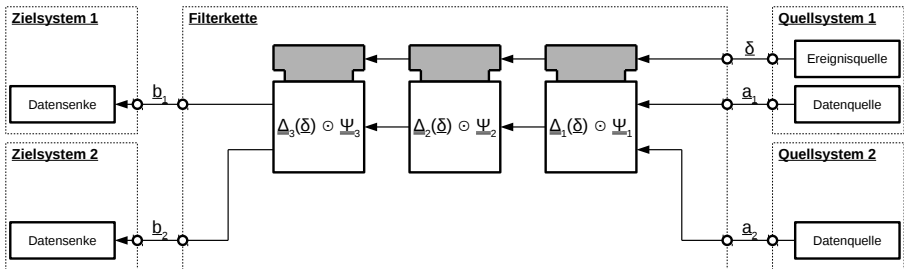
$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \underbrace{\begin{pmatrix} \delta_1 & 0 & 0 \\ 1 - \delta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\text{Ereignismatrix: } \vec{\Delta}(\vec{\delta})} \odot \underbrace{\begin{pmatrix} \psi_1 & 0 & 0 \\ \psi_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\text{Operatormatrix: } \vec{\Psi}} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix}$$

$$b_1 = \delta_1 \psi_1 a_1 + (1 - \delta_1) \psi_2 a_1$$

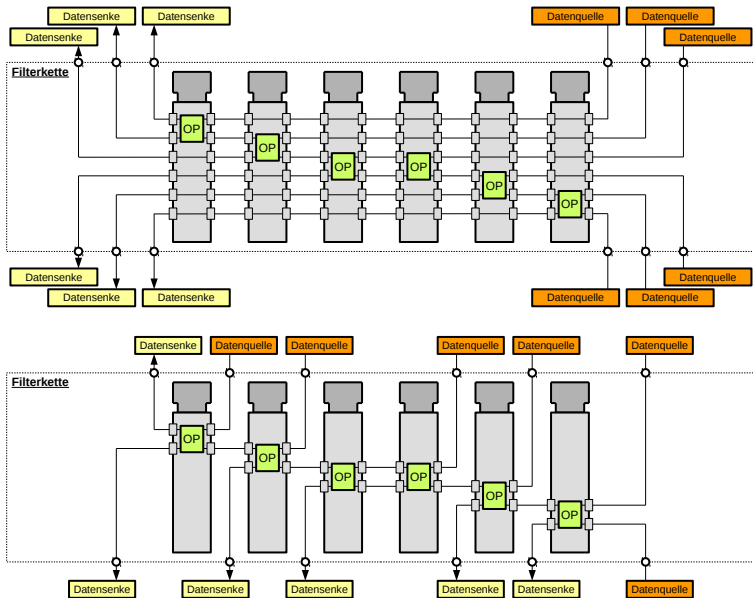
$$b_2 = 0$$

$$b_3 = a_3$$

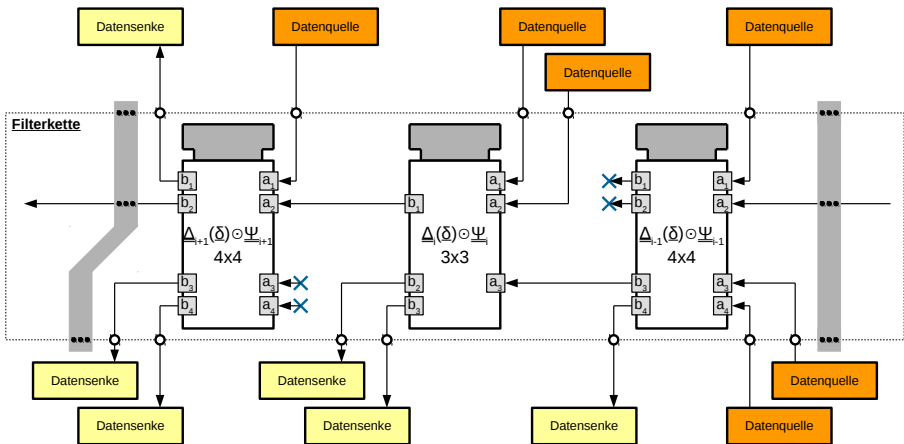
Filterketten mit mehreren Datenquellen.



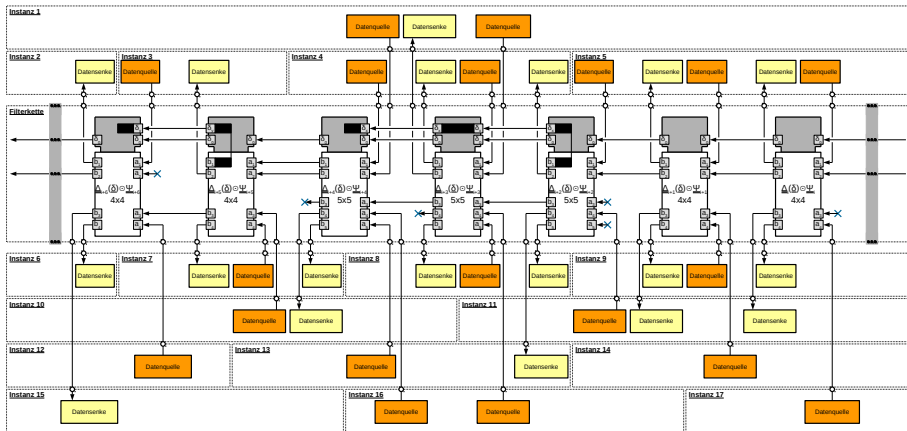
Reduzierte Darstellung von Filterketten.



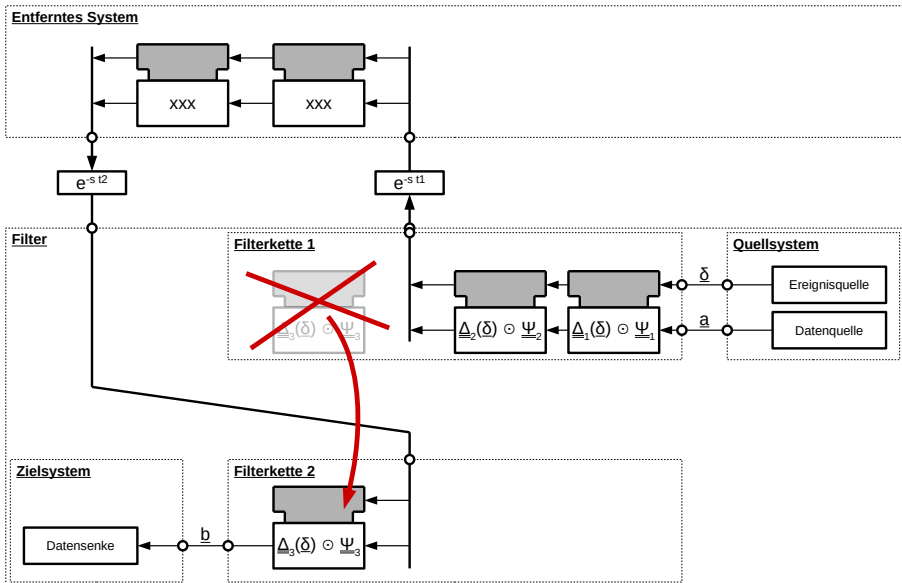
Reduzierte Darstellung; Detailbetrachtung.



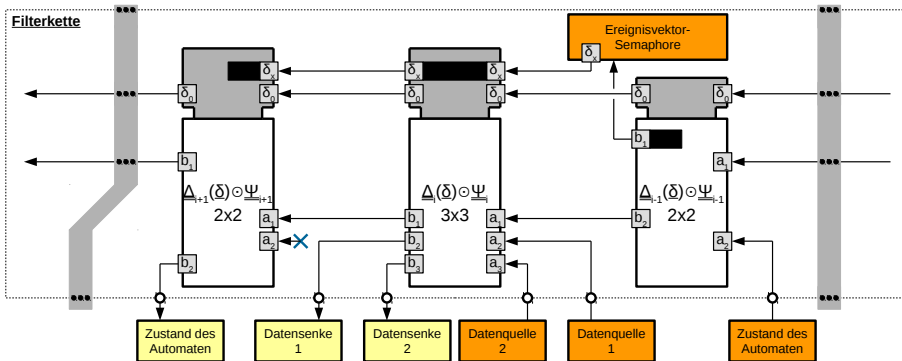
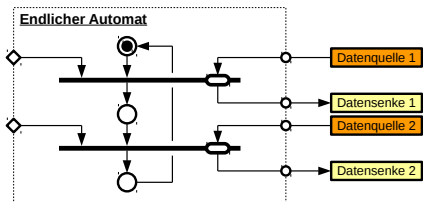
Große Filter- bzw. Verarbeitungsketten



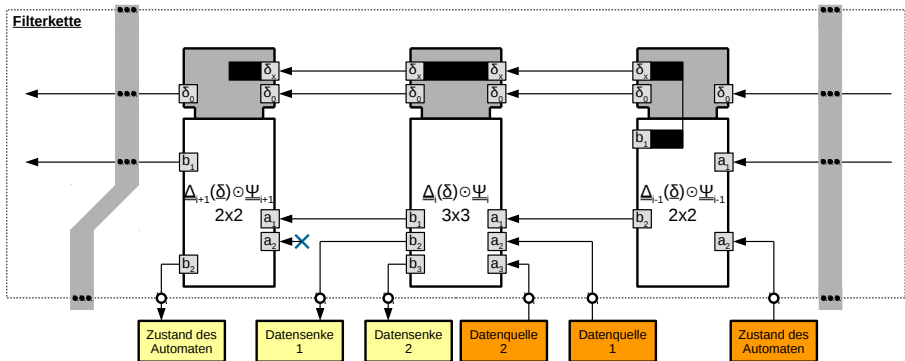
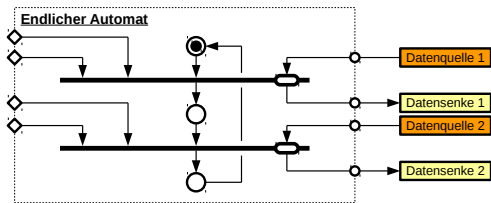
Verteilte Systeme.



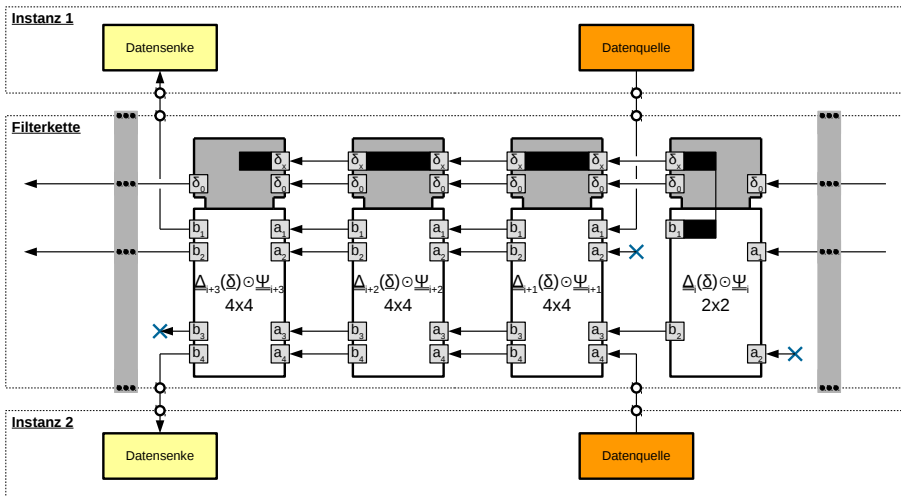
Automaten.



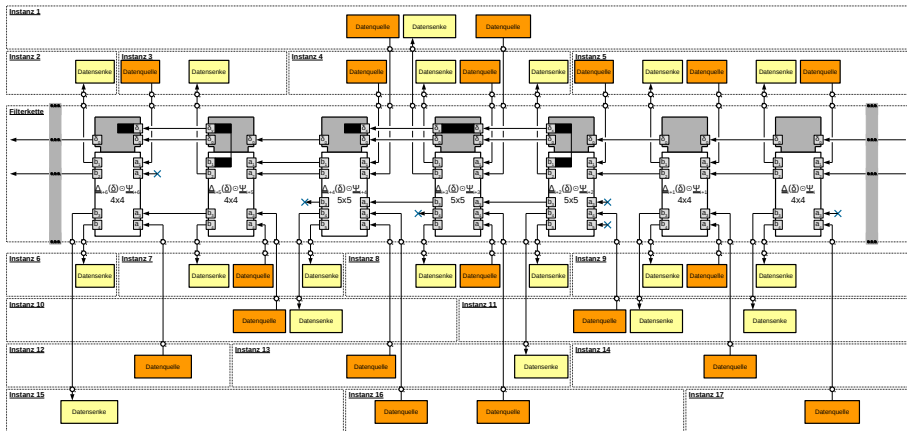
Automaten (Teil 2).



Synchronisation unter Verwendung von Automaten.



Große Filter- bzw. Verarbeitungsketten



Eigenschaften von Operatoren.

- Linearität
- Invertierbarkeit
- Zeitinvarianz
- ...

Eigenschaften von Systemen.

- Stabilität
- Kaskadierbarkeit
- Reduzierbarkeit
- ...

Dokumentationstiefe; Mögliche Qualifikation.

| Dokumentationstiefe | Gegenstand der Dokumentation |
|---------------------|---|
| Grad 0 | <ul style="list-style-type: none">• Eingangssignale des Filters.• Verarbeitungsgegenstand des Filters.• Anzahl der Filter-Segmente. |
| Grad 1 | <ul style="list-style-type: none">• Eingangs- und Ausgangssignale der Filter-Segmente.• Verarbeitungsgegenstand der Operatoren in den Filter-Segmenten. |
| Grad 2 | <ul style="list-style-type: none">• Datenformat der Eingangs- und Ausgangssignale in den Filter-Segmenten.• Quelltexte der Operatoren in den Filter-Segmenten. |

Modellierung in KiCAD.

The screenshot displays the KiCAD PCB Editor window titled "prj_filterkette – Schaltplanelitor". The interface includes a menu bar with options: Datei, Bearbeiten, Ansicht, Hinzufügen, Inspektion, Werkzeuge, Einstellungen, and Hilfe. Below the menu is a toolbar with various icons for file operations, editing, and navigation.

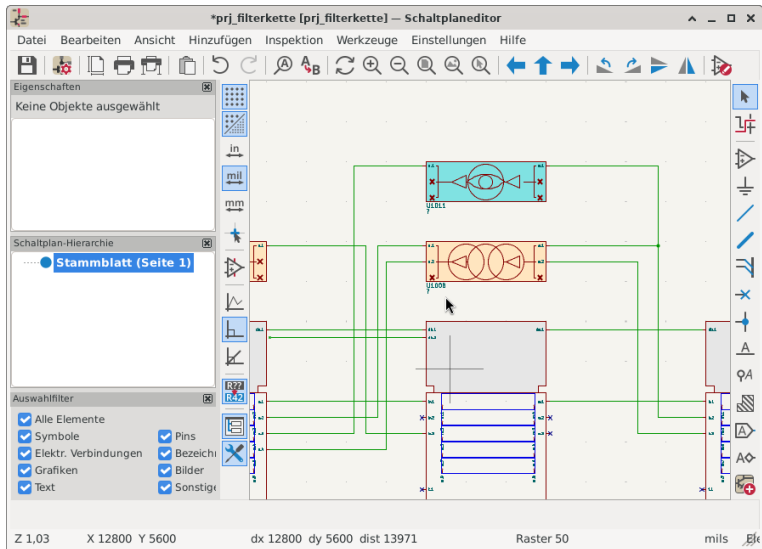
On the left side, there are three panels:

- Eigenschaften:** Shows "Keine Objekte ausgewählt".
- Schaltplan-Hierarchie:** Shows a tree structure with "Stamtblatt (Seite 1)" selected.
- Auswahlfilter:** A list of checkboxes for filtering elements:
 - Alle Elemente
 - Symbole
 - Elektr. Verbindungen
 - Grafiken
 - Text
 - Pins
 - Bezeichn
 - Bilder
 - Sonstige

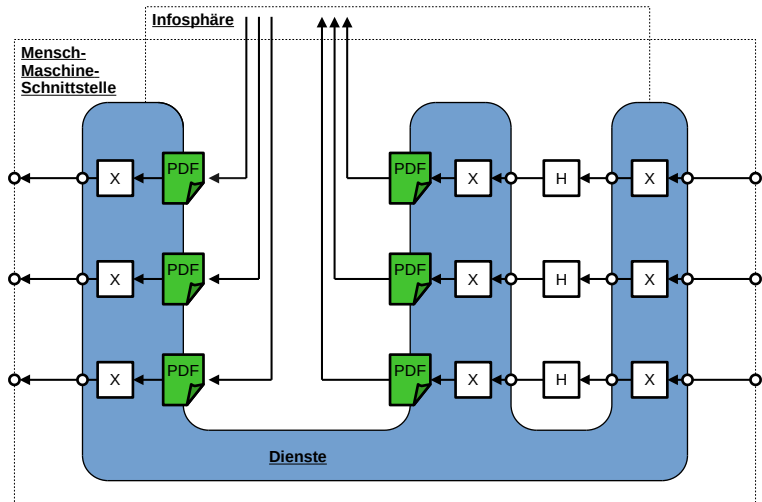
The main workspace shows a schematic diagram of a filter chain. It consists of four filter blocks connected in series. Each filter block is represented by a red rectangle containing a blue component symbol. Green lines represent electrical connections between the components. The diagram is overlaid on a grid.

At the bottom of the window, the status bar displays the following information: Z 0,24, X 8950 Y 10350, dx 8950 dy 10350 dist 13683, Raster 50, and mils.

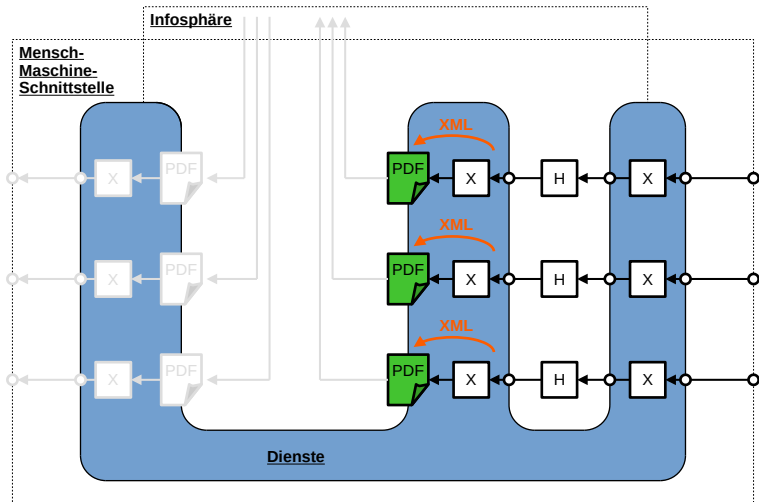
Instanzen und Mensch-Maschinen-Schnittstelle.



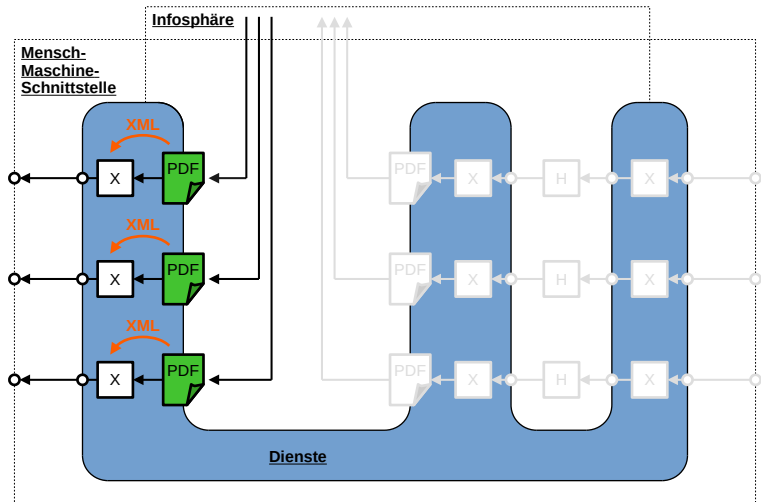
Infosphäre - Mensch-Maschinen-Schnittstelle.



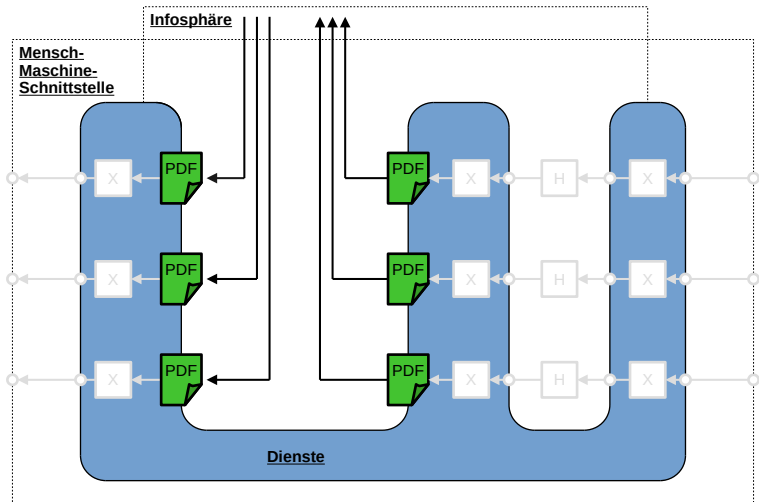
Infosphäre - Erstellung von PDF-Dateien.



Infosphäre - Importierung von PDF-Dateien.



Infosphäre - Transport von PDF-Dateien.

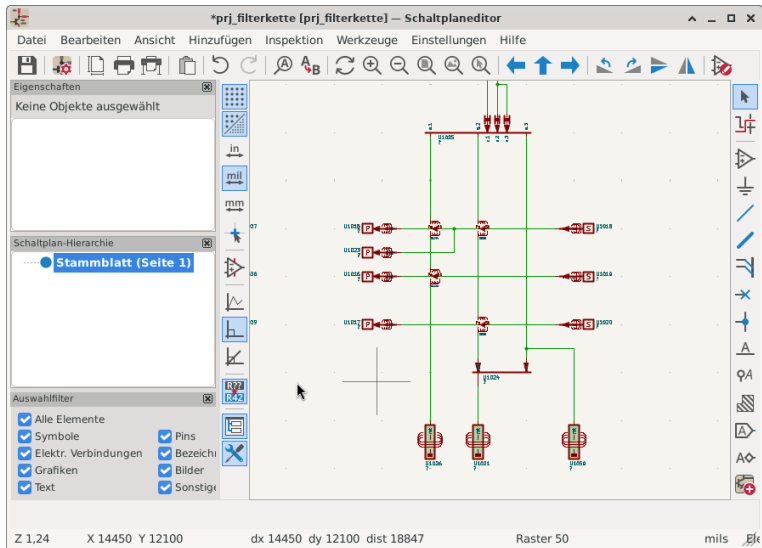


Infosphäre - Eigenschaften.

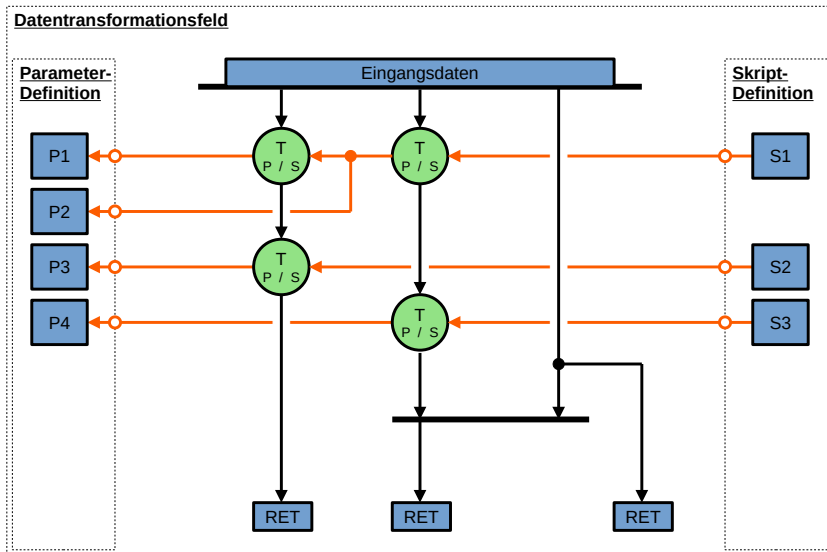
Eigenschaften von Infosphäre:

- PDF-Dateien können archiviert werden.
- Tabellarische Aufstellung von Parametersätzen.
- Tabellarische Aufstellung von Verarbeitungsanweisungen.
- Modulare Struktur.

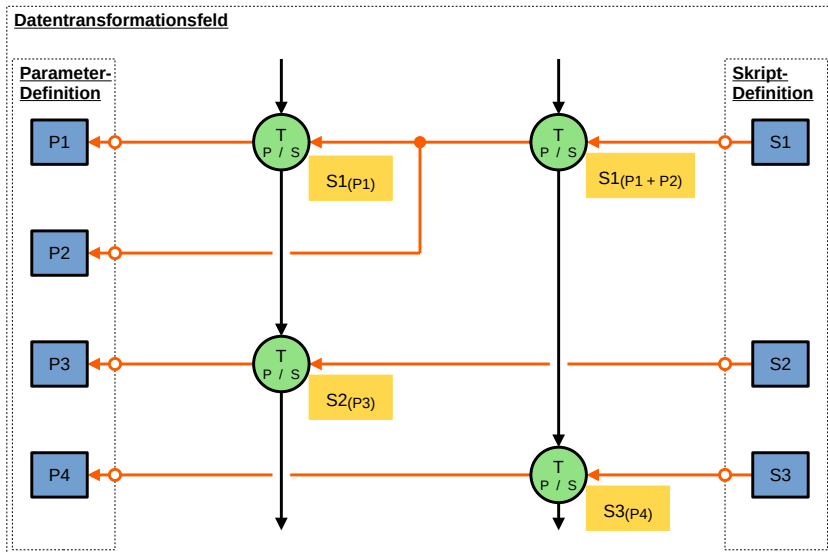
Datentransformationsfelder.



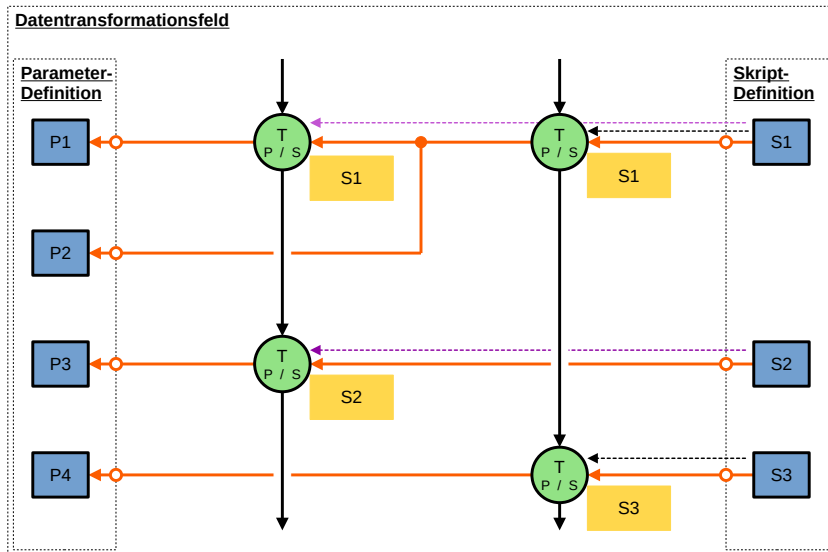
Datentransformationsfelder - Aufbau.



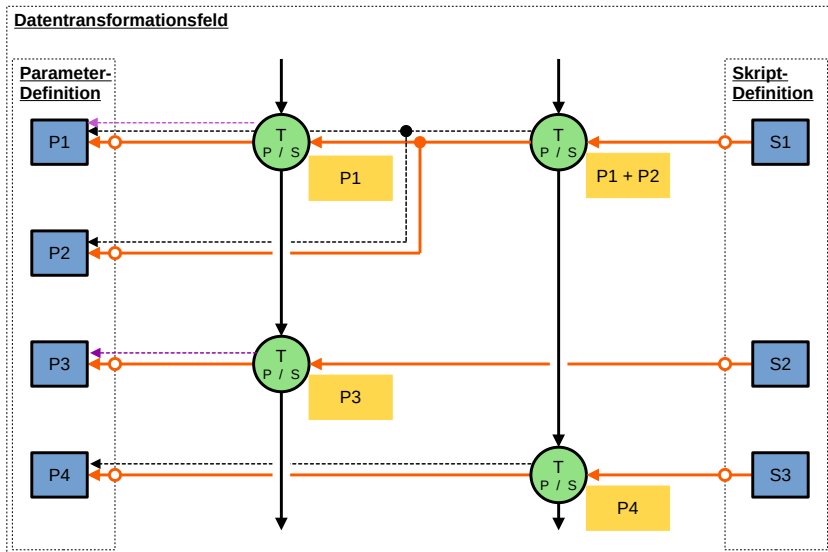
Definition und Parametrierung von Transformatoren.



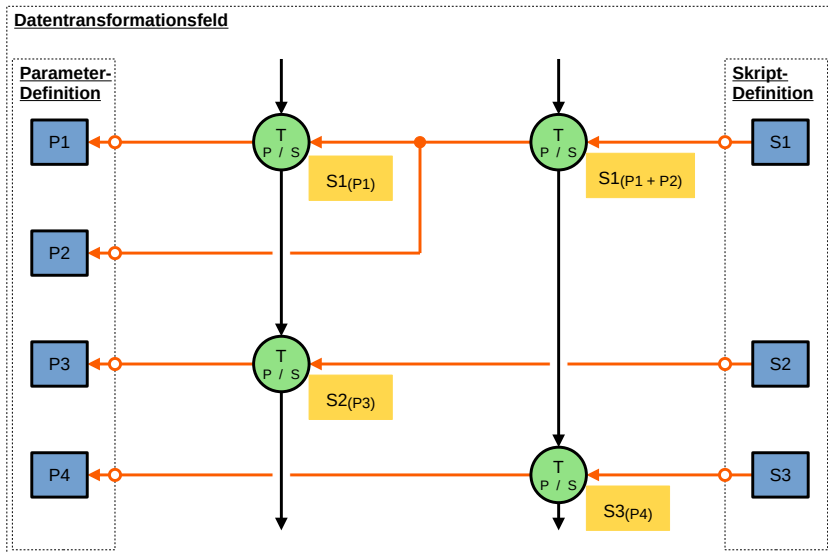
Definition von Transformatoren.



Parametrierung von Transformatoren.



Definition und Parametrierung von Transformatoren.



Datentransformationsfelder - Eigenschaften.

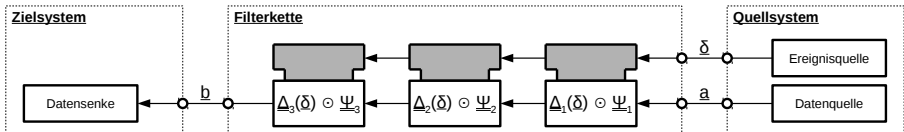
Grad der Definition von Datenstrukturen:

- Alle eingehenden Datenstrukturen sind definiert.
- Alle ausgehenden Datenstrukturen sind definiert.
- Alle Datenstrukturen sind definiert.

Eigenschaften von Datentransformationsfeldern:

- Kompakte Darstellung von komplexen Verarbeitungsstrukturen.
- Tabellarische Aufstellung von Parametersätzen.
- Tabellarische Aufstellung von Verarbeitungsanweisungen.
- Modulare Struktur.

Zusammenfassung.



Möglichkeiten der Handhabung von Filterketten:

- Analyse von Datenströmen ohne Code-Review.
- Modellierung von Automaten.
- Umstrukturierbarkeit von Segmenten in einer Verarbeitungskette.
- Definition einer Dokumentationsstufe ist möglich.
- Daten können bei einem Ereignis protokolliert werden.

Möglichkeiten der Handhabung von Segmenten und Operatoren:

- Klassifizierung von Operatoren.
- Segmente und Operatoren können isoliert und getestet werden.

Literatur

| Literatur | Autor |
|------------------------------------|---|
| SPS-Programmierung mit IEC 61131-3 | Karl Heinz John, Michael Tiegelkamp |
| XSLT 2.0 | Frank Bongers |
| Perl Cookbook | Tom Christiansen, Nathan Torkington |
| SPS Grundlagen | Jens von Aspern |
| Steuerungstechnik mit SPS | Günter Wellenreuther, Dieter Zastrow |
| Raspberry Pi | Kofler, Kühnastm, Scherbeck |
| Ereignisdiskrete Systeme | Jan Lunze |

Kernformel:

$$\vec{b} = \prod_{i=1}^k \left(\vec{\Delta}_i(\vec{\delta}) \odot \vec{\Psi}_i \right) (\vec{a})$$

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.