

## Contents

# **1 Einleitung**

## **1.1 Aufgabe und Motivation**

## **1.2 Aufbau der Arbeit**

Die vorliegende Arbeit setzt sich aus TODO nachfolgenden Kapiteln zusammen. Im zweiten Kapitel TODO Anschließend daran wird im dritten Kapitel TODO Darauf aufbauen wird im vierten und fünften Kapitel TODO Der Fokus im letzten Kapitel liegt auf TODO

## 2 Terminologie

Der Fokus dieses Kapitels liegt auf der Definition zentraler Fachbegriffe und dadurch einen einheitlichen terminologischen Rahmen zu schaffen. Das Ziel dieses Kapitels ist es die Verständlichkeit der nachfolgenden Kapitel zu erhöhen und die theoretischen Grundlagen der Arbeit zu festigen.

### Schleifen

Eine Schleife ist eine Kontrollstruktur, die einen Programm-Abschnitt mehrmals ausführt. [?] Häufig ist dabei die Schleife die zeitintensivste Komponente eines Programms, da ihre die Ausführung sehr viel Zeit in anspruch nehmen kann. [?] Der Algorithmus dieser Kontrollstruktur kann dabei iterativ oder rekursiv implementiert werden. Beide Ansätze haben dabei das gleiche Ziel, aber setzen die Schleife anders um. Bei der Iteration wird die Schleife mehrmals wiederholt wird. Bei der Rekursion ruft sich die zu wiederholende Funktions mehrmals selbst auf. [?] Die Iteration verwendet dabei einen Akkumulativenansatz. Dabei wird das Problem schrittweise gelöst. Der Prozess wird solange wiederholt bis eine vordefinierte (Abbruch-)Bedingung erfüllt ist. [?] Im gegensatz zur Iteration verwendet die Rekursion keinen Akkumulativenansatz, sondern zerlegt das Problem in mehrere (Teil-)Probleme. Für die Teilprobleme werden dann einzelne Lösungen erarbeitet, welche dann kombiniert werden um das eigentliche Problem zu lösen. [?] Laut Chen L. spiegelt die Iteration das menschliche Denken wieder, weshalb sie sich besonders für lineare Probleme eignet. Die Rekursion hingegen ist für Probleme geeignet, welche Zwischenergebnisse oder Teillösungen benötigen. [?] Eine Schleife kann dabei in zeitabhängig oder horizontal unterteilt werden. Bei einer zeitabhängigen Iteration ist das Ergebniss des aktuellen Schleifendurchlaufs vom Ergebnis des vorherigen Durchlaufs ab. Hingegen bei horizontalen Schleifen die Ergebnisse der einzelnen Schleifendurchläufe unabhängig voneinander sind. [?]

### Domain Specific Language

Bei einer domänenspezifische Sprache (DSL) handelt es sich um eine Programmiersprache, die mit dem Ziel entwickelt wurden ist, spezifische Aufgabenstellungen innerhalb eines begrenzten Anwendungskontexts (Domaine) besonders effektiv zu bearbeiten. [?] DSLs bilden das Gegenstück zu General-Purpose Languages wie Java, C++ oder Python. [?] Dabei verfügen DSLs oftmals über eine reduzierte Syntax, die ausschließlich für den jeweilige Domaine relevant ist. Teilweise wird diese durch eine GPL ergänzt. [?] Es wird zwischen externen und internen DSLs unterschieden. Externe DSLs haben ihre eigene Syntax. Dadurch kann eine größere flexibilität geschaffen werden, aber zeitglich ist der Aufwand für den Entwickler sehr hoch, weil alle relevanten Tools selbst implementieren muss. Außerdem braucht der Benutzer länger Zeit um die Syntax zu lernen. [?] Zur Laufzeit wird die externe DSLs dann in eine GPL übersetzt. [?] Interne DSLs verwenden die Syntax einer GPL und kann über eine Programmierschnittstelle oder Bibliothek aufgerufen werden. [?] Die Vorteile von DLSs liegen in ihrer strukturellen Klarheit und Spezialisierung. Dem gegenüber stehen die Nachteile eines hohen Initialaufwands sowie einer begrenzten Flexibilität und Verfügbarkeit. [?]

## Visual Programming Language

Das Hauptziel visueller Programmiersprachen (VPLs) besteht in der Verbesserung der Darstellung der Programmierlogik sowie in der Erleichterung des Verständnisses von Programmabläufen. [?] Dadurch soll der Fokus des Programmierens stärker auf konzeptuelle statt syntaktische Aspekte verlagern. Die syntaktischen Aspekte werden dabei von der Entwicklungsumgebung übernommen. [?] Die Umsetzung von Programmen erfolgt dabei durch die Möglichkeit, Programme in Form von Flussdiagrammen zu erstellen, die unmittelbar vom System interpretiert und ausgeführt werden können. [?] Nach Charntaweehkhun bieten Flussdiagramme einen didaktischen Vorteil, da sie es insbesondere Programmieranfängern ermöglichen, komplexe Abläufe visuell zu erfassen und zu strukturieren. [?] ————— VPLs setzen dabei das Konzept der Visual Programming (VP). [?] Im Gegensatz zu GPLs, die eine freie textuelle Eingabe haben, verwenden VPLs nur eine begrenzte Menge an vordefinierten grafischen Elemente. Dadurch wird die Lesbarkeit erhöht und syntaktische Fehler reduziert.[?] Die Klassifikation visueller Programmiersprachen unterscheidet zwischen imperativen und deklarativen Modellen. Ersteres gibt die exakte Reihenfolge der Operationen vor, während letzteres lediglich Datenabhängigkeiten spezifiziert und die Ausführungsreihenfolge dem System überlässt.[?] Die Stärken von VPLs liegen in ihrer Einfachheit, visuelle Darstellbarkeit, Transparenz und Interaktivität.[?] Die Mehrheit der VPLs basiert auf einem datenflussgesteuerten Ansatz, bei dem Programme durch den Fluss von Informationen zwischen Operatoren strukturiert werden. [?] Zusammengefasst kann man sagen, dass VPLs die Vorteile von Flussdiagrammen und nicht die Nachteile der klassischen Programmierung kombiniert. [?]

## Visual Language

Visuelle Sprachen (VL) sind Programmiersprachen, bei denen die Informationsdarstellung primär über grafische Elemente und nicht über textuelle Komponenten erfolgt. [?] Dabei werden hauptsächlich grafische Tools und visuelle Metaphoren verwendet. Bilder eignen sich besonders gut zum Programmieren, weil Bilder ausdrucksstärker als Worte sind und haben einen höheren Wiedererkennungswert. Durch die eingeschränkte Syntax sind VLs nicht so flexibel und ausdrucksstark wie Text-basierte Sprachen. [?]

## Datenfluss-basierte Sprachen

Als Datenfluss-basierte Sprache (DL) wird eine Programmiersprache verstanden, bei der die Daten von zwischen Funktionen weitergeleitet werden. Dabei werden Programme als Graphen dargestellt. [?] Der zugrunde liegende Programmgraph ist als gerichteter Graph (DG) definiert, wobei Funktionen als Knoten dargestellt werden, die durch gerichtete Kanten miteinander verbunden sind. Die Richtung der Kanten spiegelt die Datenabhängigkeiten wieder.[?] Datenflussgraphen lassen sich hinsichtlich ihrer Granularität in feinkörnig und grobkörnig unterteilen. In einem feinkörnigen Graphen führt jeder Knoten exakt eine Instruktion aus, während grobkörnige Graphen mehrere Instruktionen pro Knoten ausführen können.[?] Zusätzlich lässt sich ein DG basierend auf der Zyklusstruktur in zyklisch und azyklisch unterteilen. [?] DLs sind überwiegend funktional geprägt, aber können auch text-basiert sein. [?] Der Vorteil einer

DLs ist, dass diese durch einen Graphen dargestellt werden können [?] und dadurch die Programme einfach zu verstehen sind. [?] Für komplexe Programmen kann eine reine Graphendarstellung schnell unübersichtlich werden. Zur Strukturierung komplexer Programme werden Mikrofunktionen eingesetzt, bei denen einzelne Knoten auf untergeordnete Teilgraphen verweisen. Dadurch lassen sich dann auch rekursive Abläufe modellieren. [?] DLs führen Instruktionen nicht in einer festen Sequenz aus. Dadurch können unabhängig voneinander ausführbare Instruktionen parallel verarbeitet werden. [?] Diese Form der Ausführung ermöglicht eine Effizienzsteigerung, da der Ablauf nicht mehr durch einen zentralen Programmzähler gesteuert wird. [?]

Johnston et. al. beschreiben in ihrer wissenschaftlichen Arbeit eine Menge von Eigenschaften. So sollen DLs frei von Seiteneffekten sein, den Lokalitätsprinzip folgen und keine Variablen überschreiben.[?]

### **Datenfluss-basierte Systeme**

Datenfluss-basierte Systeme (DFA) ist eine Computerarchitektur, welche auf DLs basiert. Die DFA wurde eingeführt, um den Flaschenhals der von-Neumann-Architektur zu vermeiden. Je nach Implementierung kann nur lokaler Speicher verwendet werden und die Funktionen können sofort aufgeführt werden, sobald die Operanden zur Verfügung stehen. [?] Bei den Ergebnissen erfolgt eine direkte Datenweitergabe zwischen Funktionen, wobei Transformation und Filterung integraler Bestandteil der Verarbeitung sind. [?] DFA-Systeme zeichnen sich durch hohe Effizienz, flexible Strukturen und leistungsstarke Ausführungsmechanismen aus. [?] Innerhalb von DFA-Systemen wird zwischen daten- und bedarfgetriebener Ausführung unterschieden. Beim ersten werden die Funktionen ausgeführt, sobald die Funktion alle benötigten Operanden hat und ein Signal bekommen hat. Hingegen beim zweiten wird die Funktion schon ausgeführt, sobald alle Operanden vorhanden sind. [?] Die datengesteuerte Ausführung ist dabei ein Spezialfall der bedarfgesteuerten Ausführung, da hier bereits vorab ein Bedarf an allen Ergebnissen besteht. [?] Ein wesentlicher Vorteil datenfluss-basierter Systeme besteht im möglichen Parallelismus, da mehrere Instruktionen gleichzeitig ausgeführt werden können, sofern keine Datenabhängigkeiten bestehen. [?]

## 3 Systemanalyse

In diesem Kapitel wird das System hinsichtlich seiner strukturellen und funktionalen Eigenschaften analysiert. Zunächst wird die zugrundeliegende Grammatik betrachtet, woraufhin die Ausführungslogik beschrieben wird. Abschließend werden die problematischen Stellen im Hinblick auf die geplante Erweiterung analysiert. Ziel dieses Kapitels ist es, diese problematischen Stellen zu erfassen und aufzubereiten, um eine Grundlage für die folgenden Kapitel zu schaffen.

### 3.1 Grammatik

Grammatik lässt sich in 3 Ebenen unterteilen. Prüfungslogik, Datenverarbeitung und Typsystem. Prüfungslogik führt Entscheidung im Prüfungsablauf aus und bestimmt die Reihenfolge der Aktionen. außerdem datenerfassung. Datenverarbeitung ist für die Datentransformation auswertung zuständig. Also Funktionen, welche keine Nebeneffekte besitzen, weil sie unabhängig von der restlichen Softwareprüfung stattfinden. Typsystem ermöglicht die statische Analyse der Ausführbarkeit. Softwareprüfung lässt sich visuell von zwei Seiten betrachten. Einmal als Datenflussgraphen, indem Teil-Funktionen als Blöcke dargestellt werden und Funktionsparameter/Ergebnisse als Ports. Einmal als Aktivitätsdiagramm, in dem nur Startzustand, Endzustände, Aktions- und Entscheidungsblöcke dargestellt. Die folgende Zusammenfassung basiert auf der unveröffentlichten Arbeit von Westermann et al.

#### 3.1.1 Prüfungslogik

Die in Abbildung TODO abgebildeten Regeln beschreiben das Aktivitätsmodell. Zentral ist dabei die Regel TODO, welche festlegt, dass ein Aktivitätsmodell aus mehreren Aktivitäten und einer TODO besteht. Die Regel TODO beschreibt die möglichen Aktivitäten innerhalb des Aktivitätsmodells. Dabei kann eine Aktivität entweder eine Startmarkierung, ein Vergleich, eine Aktion oder ein Label sein.

Ein Vergleich kann entweder ein Binärvergleich oder ein Validierungsvergleich sein. Ersteres besteht dabei aus einem Verweis auf einen Flowtemplate gefolgt von einem Operator und zwei Argumenten. Als Operatoren stehen  $=$  und  $\neq$  sowie Relationale Operatoren zur Verfügung. Der Validierungsvergleich hingegen besteht nur aus einer Sequenz von TODO.

Bei den Aktionen wird zwischen Hauptuntersuchungs-Adapter Anfragen, Lesen von JSON-Dateien und Ausführung einer Datenverarbeitung unterschieden. Der Aufbau einer Hauptuntersuchungs-Adapter Anfrage umfasst dabei den Namen der auszuführenden Anfrage, eine Beschreibung, eine Liste mit anzusprechenden Systemen im Fahrzeug und eine maximale Ausführungsdauer. Im Gegensatz dazu setzt sich das Lesen von JSON-Dateien aus dem Datentyp der zu lesenden Datei und einer URI zu der Datenquelle zusammen. Die letzte Aktionsform, die Ausführung einer Datenverarbeitung, besteht aus einem Verweis auf

einem FlowTemplate, gefolgt von einer Beschreibung der Eingaben, die für die Datenverarbeitung erforderlich sind, sowie einer Transformation, die beschreibt wie das Ergebnis weiterverwendet werden soll. Die Beschreibung der Eingaben setzt sich aus den Symbolen ActivityPortValue und TemplateParameterValue zusammen.

Die Struktur eines Label wird durch eine Kombination aus einer Beschriftung, einer Farbe und einem Verweis auf eine Aktion beschrieben.

$$\begin{aligned}
\langle \text{ActivityModel} \rangle &::= \langle \text{Activity} \rangle^* \langle \text{ActivityConnection} \rangle \\
\langle \text{Activity} \rangle &::= \langle \text{ActivityStart} \rangle \mid \langle \text{ActivityAction} \rangle \mid \langle \text{ActivityCondition} \rangle \mid \langle \text{ActivityDisplay} \rangle \\
\langle \text{ActivityConnection} \rangle &::= \text{ref}(\text{Activity source}) \langle \text{string label} \rangle \text{ref}(\text{Activity target}) \\
\langle \text{ActivityStart} \rangle &::= \epsilon \\
\langle \text{ActivityAction} \rangle &::= \langle \text{ActivityFlowCall} \rangle \mid \langle \text{ActivityPitaBuildInforRequest} \rangle \mid \langle \text{ActivityLoadExternalData} \rangle \\
\langle \text{ActivityFlowCall} \rangle &::= \text{ref}(\text{FlowTemplate}) \langle \text{ActivityPortValue} \rangle^* \langle \text{TemplateParameterValue} \rangle^* \\
&\quad \langle \text{ValueTransformation} \rangle^* \\
\langle \text{ActivityPitaBuildInforRequest} \rangle &::= \langle \text{string abdFilename} \rangle \langle \text{string requestAlias} \rangle \\
&\quad \langle \text{string expectedSystems} \rangle^* \langle \text{number timeout} \rangle \\
\langle \text{ActivityLoadExternalData} \rangle &::= \langle \text{Type dataType} \rangle \langle \text{string dataSource} \rangle \\
\langle \text{ActivityPortValue} \rangle &::= \langle \text{FlowPortValue} \rangle \mid \langle \text{ActivityPortRefernce} \rangle \\
\langle \text{FlowPortValue} \rangle &::= \langle \text{string} \rangle \mid \langle \text{number} \rangle \mid \langle \text{bool} \rangle \mid \langle \text{date} \rangle \mid \langle \text{FlowPortValue} \rangle^* \\
\langle \text{ActivityPortRefernce} \rangle &::= \text{ref}(\text{ActivityAction}) \langle \text{ValueTransformation} \rangle^* \\
\langle \text{ValueTransformation} \rangle &::= \langle \text{string objectReference} \rangle \mid \langle \text{number listIndex} \rangle \\
\langle \text{ActivityCondition} \rangle &::= \langle \text{ActivityBinaryCondition} \rangle \mid \langle \text{ActivityValidityCondition} \rangle \\
\langle \text{ActivityBinaryCondition} \rangle &::= \text{ref}(\text{FlowTemplate}) \langle \text{ActivityBinaryConditionOperator} \rangle \\
&\quad \langle \text{ActivityPortValue left} \rangle \langle \text{ActivityPortValue right} \rangle \\
\langle \text{ActivityValidityCondition} \rangle &::= \langle \text{ActivityPortValue} \rangle^* \\
\langle \text{ActivityBinaryCondition} \rangle &::= '=' \mid '\neq' \mid '<' \mid '\leq' \mid '>' \mid '\geq' \\
\langle \text{ActivityDisplay} \rangle &::= \langle \text{ActivityDisplayField} \rangle^* \\
\langle \text{ActivityDisplayField} \rangle &::= \langle \text{string label} \rangle \langle \text{string color} \rangle \text{ref}(\text{ActivityAction})
\end{aligned}$$

**Grammatik TODO** Aktivitätsmodell

### 3.1.2 Datenverarbeitungs

Die in Abbildung TODO dargestellten Regeln definieren die Struktur einer Flow-Instanz. Dabei legt Regel TODO fest, dass eine Flow-Instanz aus mehreren Eingabe- und Ausgabeports sowie aus Funktionen höherer Ordnung besteht. Der Aufbau einer Funktion höherer Ordnung umfasst wiederum zusätzliche Eingabe- und Ausgabeports. Ein Port besteht aus einem Namen, gefolgt vom Datentyp des Ports und einem Wahrheitswert der Angibt ob an diesem Port Fehler erlaubt sind.

$$\langle FlowInstance \rangle ::= \langle FlowOutputPort \ lambdaArguments \rangle^* \langle FlowInputPort \ lambdaArguments \rangle^* \langle FlowLambda \rangle^*$$

$$\langle FlowLambda \rangle ::= \langle FlowOutputPort \ lambdaArguments \rangle^* \langle FlowInputPort \ lambdaArguments \rangle^*$$

$$\langle FlowInputPort \rangle ::= \langle string \ name \rangle \langle Type \rangle \langle bool \ acceptsError \rangle$$

$$\langle FlowOutputPort \rangle ::= \langle string \ name \rangle \langle Type \rangle \langle bool \ producesError \rangle$$

#### Grammatik TODO Flow-Instanz

Ein Flowtemplate wird durch die in Abbildung TODO spezifizierten Regeln beschrieben. Bei den TemplateParameter wird zwischen einer Zeichenkette, Zahlen oder einem Wahrheitswert unterschieden. Ein Flow kann dabei eine eigene erstelle Funktion sein oder eine vordefinierte Funktion.

$$\langle FlowTemplate \rangle ::= \langle Flow \rangle \langle TemplateParameter \rangle^*$$

$$\langle Flow \rangle ::= \langle LibraryFlow \rangle \mid \langle FlowModel \rangle$$

$$\langle LibraryFlow \rangle ::= \epsilon$$

$$\langle TemplateParameter \rangle ::= 'String' \mid 'Number' \mid 'Bool' \mid \langle TemplateParameterList \rangle$$

$$\langle TemplateParameterList \rangle ::= \langle TemplateParameter \rangle$$

#### Grammatik TODO Flow-Template

Die Regeln des FlowModel sind in Abbildung TODO formal dargestellt. Durch die Regel TODO wird bestimmt, dass ein FlowModel aus einer FlowInstance, einer Auflistung aller genutzten Flow-Node und definition der Verbindungen zwischen den Eingabe- und Ausgabeports. Bei den Flow-Node wird zwischen verweis auf Eingabeports, verweis auf Lambda-Funktionen, verweis auf Funktion mit Auflistung von Parametern oder verweis auf Ausgabeports unterschieden. Bis auf das letztere haben alle Flow-Node die Möglichkeit ihre Eingabeports durch konstante Werte zu spezifizieren.

$$\langle FlowModel \rangle ::= \langle FlowInstance \rangle \langle FlowNode \rangle^* \langle FlowConnection \rangle^*$$



$$\begin{aligned}
\langle FlowNode \rangle &::= \langle FlowNodeOutput \rangle \mid \langle FlowNodeInput \rangle \mid \langle FlowNodeLambda \rangle \mid \langle FlowNodeFlowCall \rangle \\
\langle FlowNodeOutput \rangle &::= \text{ref}(\text{FlowOutputPort}) \\
\langle FlowNodeInput \rangle &::= \text{ref}(\text{FlowInputPort}) \langle FlowPortValue \rangle \\
\langle FlowNodeLambda \rangle &::= \text{ref}(\text{FlowLambda}) \langle FlowPortValue \rangle^* \\
\langle FlowNodeFlowCall \rangle &::= \text{ref}(\text{FlowTemplate}) \langle FlowPortValue \rangle^* \langle TemplateParameterValue \rangle^* \\
\langle FlowConnection \rangle &::= \text{ref}(\text{FlowOutputPort source}) \text{ref}(\text{FlowOutputPort target}) \\
\langle TemplateParameterValue \rangle &::= \langle string \rangle \mid \langle number \rangle \mid \langle bool \rangle \mid \langle TemplateParameterValueList \rangle \\
\langle TemplateParameterValueList \rangle &::= \langle TemplateParameterValue \rangle^*
\end{aligned}$$

**Grammatik TODO** Flow-Modell

### 3.1.3 Typsystem

unterstützt die gleichen Primitiv-Typen wie JSON-Format String, Number und Bool zusätzlich Date und PtiaResponse. Außerdem werden auch generische Typen unterstützt, weil nicht immer von vorneherein der Typ bekannt ist. Date ist eine Datumsangabe PtiaResponse ist eine Antwort einer Hauptuntersuchungs-Anfrage Diese Typen lassen sich an optionalen, Listen oder Objekt-Typen kapseln

$$\begin{aligned}
\langle Type \rangle &::= \langle TypePrimitive \rangle \mid \langle TypeOptional \rangle \mid \langle TypeList \rangle \mid \langle TypeObject \rangle \\
\langle TypePrimitive \rangle &::= \text{'String'} \mid \text{'Number'} \mid \text{'Bool'} \mid \text{'Data'} \mid \text{'PtiaResponse'} \\
\langle TypeOptional \rangle &::= \langle Type \rangle \text{'?' } \\
\langle TypeList \rangle &::= \langle Type \rangle \text{'[]'} \\
\langle TypeObject \rangle &::= \text{'{' } (\langle string key \rangle \text{' : ' } \langle Type \rangle)^* \text{' } } \\
\langle TypeGeneric \rangle &::= \text{'$'} \langle string genericName \rangle \\
\langle TypeReference \rangle &::= \text{ref}(\text{Type})
\end{aligned}$$

**Grammatik TODO** Typ-Defintion mit generischen und Referenz-Typen

## 3.2 Ausführung

Im folgenden Abschnitt schauen wir uns an, wie die einzelnen Ebenen ausgeführt werden. Die folgende Zusammenfassung basiert auf der unveröffentlichten Arbeit von Westermann et al.

Die Prüfungslogik. Ein wichtiger Bestandteil der Prüfungslogik ist der Referenzstack. Der Referenzstack beinhaltet alle Erge. Die Aktivitäten können auf den Referenzstack zugreifen und abgespeicherte Ergebnisse referenzieren und diese als Parameter für ihre Aktionen verwenden. Der Startpunkt jeder Prüfung ist die Startaktivität. Die Startaktivität darf pro Prüfung nur einmal vorkommen und ist dafür zuständig, dass der Referenzstack leer ist. Die Reihenfolge der auszuführenden Aktivitäten wird durch die Aktivitäten vorgegeben. Die Aktivitäten geben nämlich das Label der nächst zu folgenden Kante zurück. Die Prüfungs ist beendet, sobald die Aktivität kein Label mehr zurückgibt.

Anders ist es hingegen bei der Ausführung der Datenverarbeitung. Dort basiert die Ausführung auf einer Execute-Funktion, welche die Werte der Ausgabeports berechnet. Die Funktion nimmt als Parameter Template-Parameter und eine Evaluate-Funktion. Bei den vom System bereitgestellten Funktionen wird die Execute-Funktion mithilfe der Hilfsklasse vom Typ `IEvaluateContext`, direkt in die Funktion implementiert. Die Hilfsklasse stellt die Evaluate-Funktion bereit und speichert die Werte der Ausgabeports. Das Ziel der Implementierung ist es die Abhängigkeiten zwischen Eingabe- und Ausgabeports herzustellen. Unterstützt wird sie dabei von der Klasse `RuntimeContext`.

Ein anderer wichtiger Bestandteil der Datenverarbeitung ist der Ergebniscache. In dem Cache werden die Werte aller Ausgabeports gespeichert. Wird nun nach einem Wert für einen Eingabeport gesucht, wird nach der zugehörigen `InputNode` mit der anliegenden Kante gesucht und geschaut ob für den verbundenen Ports bereits ein Ergebnis im Ergebniscache vorliegt. Sollte das nicht der Fall sein, wird die Funktion ausgeführt und das Ergebnis im Ergebniscache gespeichert.

Auch bei der Ausführung von Lambdas spielt der Ergebniscache eine große Rolle. Sobald ein Wertes für ein Eingabeport benötigt werden, werden die Ergebnisse der dazugehörigen Ausgabeports in den Ergebniscache geschrieben und alle Funktionen die im Kind-verhältnis stehen invalidiert, indem die Ergebnisse im Ergebniscache gelöscht werden. Anschließend kann die Berechnung des gesuchten Wertes beginnen, indem der gerade beschriebene Algorithmus angewendet wird.

Als erstes werden alle Referenzen auf Flow-Templates aufgelöst, damit wir die Flow-Instanz erhalten. Sobald die Flow-Instanz erstellt ist, ist bekannt, welche Ports und Lambdas bei dem Funktions-Aufruf existieren und es werden Objektreferenzen zwischen den Ports erstellt. Die Objektreferenzen sollen die Modell Analyse erleichtern und beinhalten Informationen über die Verbindung. Daraufhin werden die Referenz-Typen aufgelöst, indem diese durch konkrete

Typen ersetzt werden. Nun kann mit der eigentlichen Validierung angefangen werden. Die Validierung wird pro Flow-Modell ausgeführt und es wird mit dem Flow-Modell angefangen, welches am wenigsten Abhängigkeiten auf andere Flow-Modelle hat. Bei der Prüfung wird über alle Verbindungen von Ports iteriert und falls ein generischer Typ vorkommt, wird diese Typ-Zuweisung gespeichert. Im Anschluss werden die Ports des Flow-Modells überprüft und versucht die generischen Typen aufzulösen. Generische Typen, welche nicht aufgelöst werden konnten, werden dann beim Flow-Aufruf aufgelöst. Vorausgesetzt die nicht zu auflösenden Typen sind Teil der Argumente und Ergebnisports des Flow-Modells. Abschließend werden die Verbindungen von Flow-Ports validiert, indem diese auf Zuweisungskompatibilität überprüft werden, bei den übrig gebliebenen generischen Typen kommt es zu keinen Problemen, weil generische Typen in beide Richtungen zuweisungskompatibel sind.

Sobald die Prüfungen abgeschlossen ist, kann mit der Port-Fehler Überprüfung begonnen werden. Dafür muss erneut eine Sortierung vorgenommen werden. Es werden zuerst die Abhängigkeiten einer Flow-Node vor der Flow-Node überprüft. Bei der Port-Fehler Überprüfung werden die Eingabeports und deren Verbindung validiert. Bei der Validierung wird geschaut, ob am dem dazugehörigen Ausgabeport ein Fehler vorliegt. Sollte das der Fall sein und der Eingabeport akzeptiert keine Fehler, dann muss der Fehler propagiert werden. In dem Fall würde beim Eingabeport ein Fehler auftreten und der Flow-Node würde nicht ausgeführt werden. Außerdem würde der Fehler an die dazugehörigen Ausgabeports weitergegeben. Um dies zu verhindern TODO.

Im Anschluss können dann die Nodes validiert werden. Bei der Validierung wird geprüft ob das Argument *boolacceptsError* der *FlowNodeInput* den gleichen Wert wie der Referenzierte *FlowInputPort* hat. Ist das nicht der Fall wird eine Fehlermeldung für das Flow-Modell ausgegeben.

### 3.3 Codeanalyse

Die aktuelle Umsetzung des Codes ermöglicht es aktuell nicht die geplante. Konkret lassen sich zwei Probleme aus der aktuellen Umsetzung ableiten:

- P1 Die Modellanalyse erlaubt keine Zyklen im Graphen
- P2 Die Ausführungsumgebung geht davon aus, dass Zyklen nicht erlaubt sind

#### P1 - Die Modellanalyse erlaubt keine Zyklen

Aktuell wird in der Klasse *ActivityCycleCheckResolver* überprüft, ob im Graphen Zyklen vorhanden sind. Die Überprüfung erfolgt dabei mithilfe des TODO Algorithmus. Der Algorithmus markiert als erstes in einem Dictionary alle Knoten des Graphen als nicht besucht. Anschließend wird eine tiefensuche über alle Knoten gemacht und jeder Knoten wird in eine Liste hinzugefügt. Dabei werden die Nachfolgenden Knoten als erstes der Liste hinzugefügt. Es erfolgt also ein topologisches Sortieren nach Post order. Auf der topologischen sortierten Liste wird

eine erneute Tiefensuche durchgeführt, die für jeden erreichbaren Knoten einen Komponent mit der gemeinsamen Wurzel (root) erstellt. Dabei werden Komponenten als erstes für alle Vorgänger Knoten erstellt. Nun wurden alle zusammenhängende Elemente des Graphens gefunden und die zusammenhängende Elemente können in einem Dictionary übertragen werden. Dabei wird der root der Schlüssel eines Dictionary Elements sein und der Value der Knoten. Hat ein Dictionary Element mehr als ein Element im Value ist ein Zyklus vorhanden und diese Dictionary Element wird in einem anderen Dictionary gespeichert, welches zum erstellen von Fehlermeldungen verwendet wird

Hier liegt auch das Problem. Wenn ein Zyklus erlaubt ist, darf das Dictionary Element nicht in das Dictionary für die Fehlermeldung gespeichert werden, sondern dieser Schritt muss übersprungen werden.

## **P2 - Die Ausführungsumgebung geht davon aus, dass Zyklen nicht erlaubt sind**

In der Klasse VirtualMachineCompilerActivity wird das Modell in eine kompilierte Darstellung überführt. Die Überführung funktioniert in der aktuellen Umsetzung so, dass eine Funktion erstellt wird und alle Knoten des Graphens nacheinander hinzugefügt wird. Bei einer Verzweigung wird eine extra Funktion erstellt, die ab der dem Punkt automatisch TODO. Bei einer Vereinigung werden die Funktionen wieder zu einer gemerget. Es wird aktuell nicht erkannt, ob der Knoten bereits hinzugefügt wurden ist.

Hier liegt auch das Problem. Wenn Zyklen nun erlaubt sind, würde eine Endlosschleife entstehen, weil der Algorithmus den bereits hinzugefügten Teilgraphen erneut hinzufügen. Es muss also eine Möglichkeit geschaffen werden, dass mehrere TODO

## 4 TODO

### 4.1 Anforderungsphase

Die geplante Erweiterung sieht die Einführung von zwei Schleifenblock vor, die die Wiederholung von Aktivitäten ermöglichen sollen. Dadurch soll es möglich sein Prüfungen mit dynamischen Daten zu erstellen. Die Interaktion erfolgt über die bereits vorhandene grafische Benutzeroberfläche, in dieser kann der Benutzer die Anzahl der maximalen Iterationen und die Abbruchbedingung festlegen. Beide Blöcke sind von der Benutzeroberfläche gleiche und unterscheiden sich nur in der Logik. Dabei soll der Schleifenblock dem TODO ähneln. Der Schleifenblock hat einen onFalse und einen onTrue Pfad, welcher Pfad genommen wird wird durch die Abbruchbedingung bestimmt. Bei der Ausführung entscheidet der onFalse Zweig über eine mögliche Wiederholung. Die Entscheidung vom Block A basiert dabei auf die Anzahl der bereits ausgeführten Iteration. Hingegen Block B zusätzlich die Eingaben als Kriterium miteinbezieht. Der onTrue-Zweig führt zur beendigung des Schleifenblocks.

### 4.2 Entwursphase

Im vorherigen Unterkapitel wurde der Aufbau der Schleifenblöcke beschrieben. Nun wird die technische Umsetzung beschrieben. Der Fokus wird dabei auf die Logik für die Entscheidung ob eine Wiederholung stattfindet oder nicht. Die beiden Schleifenblöcke, Block A und Block B, werden im folgenden einzeln betrachtet, da sie unterschiedliche Logiken haben.

Durch die einföhrung des Schleifenblocks können Probleme entstehen, welches zu einem nicht gewollten Veralten föhren können. Es ist möglich, dass Endlosschleifen entstehen können.

#### **Block A**

Block A soll die Wiederholung von Aktivitäten durch explizite Ausführung ermöglichen. Zur umsetzung dieses Ziels wird die Schleifenentfaltung als Grundlage verwendet. Unter Schleifenentfaltung versteht man, dass die Instruktionen im Schleifenkörper mehrmals pro Iteration auszuföhrte wird, um dadurch die häufigkeit der Iterationen zu verringern. [?] Anstatt rekursive oder iterative Wiederholungen zu verwenden, wird jede potenzielle Iteration als eigenständigen und bedingten Codeblock realisiert. Dazu muss eine Anpassung an der klassischen Schleifenentfaltungsvorgehen vorgenommen werden. Das Ziel der modifizierung ist es, die Schleifen solange zusammenzufassen bis kein erneuter Schleifendurchlauf notwendig ist und dadurch den Kontrollfluss durch Verzweigungen und verschtelungen ohne Iterationen abzubilden. Da die maximale Anzahl an Schleifendurchläufen von vorneherein bekannt ist, kann für jede potenzielle Ausföhren des Schleifenkörpers eine Kopie erstellt werden. In jeder Kopie wird der Schleifenkörper ausgeföhrte und anschließend um die Abbruchbedingung der Schleife ergänzt. Im Falle

einer erfüllten Abbruchbedingung wird hingegen keine weitere Kopie ausgeführt. Stattdessen wird die Ausführung gemäß dem vorgesehenen Kontrollfluss fortgesetzt. Auf Abbildung TODO wurde der Ansatz Graphisch dargestellt. In Abbildung TODO wird dieser Ansatz an einem konkreten Beispiel veranschaulicht. Im Beispiel soll "foo" drei mal einzeln auf der Console ausgegeben werden. In der oberen Schleife hingegen in der unteren Schleife der modifizierte Ansatz verwendet wurden ist. Da die untere Schleife nur noch genau einmal ausgeführt wird, kann diese einfach weggelassen werden.

## Block B

Block B soll die Wiederholung von Aktivitäten durch iterative Schleifen ermöglichen. Ist die Abbruchbedingung nicht erfüllt, wird Entschieden ob eine Wiederholung stattfindet oder nicht. Dabei wird geschaut wie sich das dynamische Datum über die Iteration hinweg verhält. Es wird überprüft, ob die Anzahl der Iterationen bereits die maximale Anzahl an Iteration überschritten hat oder der Chancen-Zähler den Wert 0 erreicht hat. Da der Vergleich auf Mittelwerten basiert, müssen die Eingaben in einen Gleitkommawert umgewandelt werden. Zunächst wird dafür die Eingabe in eine Zeichenkette umgewandelt und anschließend versucht als Gleitkommazahlen zu interpretieren. Schlägt die Interpretation fehl, handelt es sich nicht um eine Zahl. In dem Fall muss die Zeichenkette zeichenweise mithilfe von UTF-8 in eine Dezimalzahl überführt werden. UTF-8 bietet sich zur Umwandlung an, da es bereits eine eindeutige und standardisierte Codierung für über 1,1 Millionen Unicode-Zeichen bereitstellt und somit keine zusätzliche Festlegung eines eigenen Codierungsschemas erforderlich ist. Die einzelnen Zahlen werden dann mit ihren Index multipliziert und im Anschluss addiert. Der Schritt mit der Multiplizierung ist notwendig, weil die Addition kommutativ ist und somit keine Berücksichtigung der Zeichenfolge erfolgt, wird durch Multiplikation mit der Zeichenposition eine positionsabhängige Gewichtung sichergestellt. Die Werte vom Typ double werden anschließend in einer Liste gespeichert, die alle bisherigen Eingaben beinhaltet. Basierend auf dieser Liste wird dann ein Mittelwert über alle bisherigen Werte gebildet und ein gleitender Mittelwert über die letzten 3 Werte. Anschließend wird die Differenz zwischen dem aktuellen Wert und den Mittelwerten gebildet. Ist die Differenz kleiner als ein Threshold wird der Counter dekrementiert. Ist die Differenz gleich oder größer als der Threshold wird der Chancen-Zähler zurückgesetzt. Erreicht der Chancen-Zähler 0 werden keine weiteren Wiederholungen ausgeführt, da der Wert sehr wahrscheinlich stagniert. Der Chancen-Zähler erweist sich als erforderlich, da dieser als Steuermechanismus für die Wiederholungslogik dient und eine Begrenzung der Iterationen bei ausbleibender signifikanter Veränderung sicherstellt. Dadurch soll verhindert werden, dass eine ineffiziente Fortsetzung der Schleife stattfindet. Sollten weniger als 3 Werte in der Ergebnisliste drin sein, wird die Berechnung übersprungen. Dadurch kann gewährleistet werden, dass das System einlaufen kann und die Mittelwerte erst gebildet werden, wenn eine aussagekräftige Datenbasis vorhanden ist.

Auf die Vor- und Nachteile der einzelnen Blöcke wird im späteren Verlauf eingegangen.

## 5 Implementierung

Bei der Implementierung muss nicht nur auf das Design des Schleifenkonstrukts geachtet werden, sondern auch auf neue Sachen, welche durch die Implementierung entstanden sind. Bei den Schleifendurchläufen wird nicht auf die Ergebnisse des letzten Durchlaufs zugegriffen werden, sondern der Schleifenkörper soll die Entscheidungen auf Grundlage des aktuellen Sensorwertes treffen. Das Auslesen des aktuellen Sensorwertes ist bereits möglich. Aktuell unterstützt die zugrundeliegende Implementierung noch keine Variablen. Um das zu ändern muss die Grammatik bearbeitet werden-

### 5.1 1. Lösungsansatz

Schleife soll durch ein Schleifenkonstrukt dargestellt werden. Prüfungslogik muss eine weitere Aktivitätsaktion erweitert werden. Das Schleifenkonstrukt greift dabei auf bereits vorhandene Regeln der Prüfungslogik zu. Das Schleifenkonstrukt greift dabei wie die anderen Aktivitätsaktionen auf den Referenzstack zu. Da der nächste Schleifendurchlauf nicht wieder auf den gleichen Eingabewerten laufen soll, da diese wieder zu einem fehlerhaften Wert führen wird, muss ein Mechanismus im Schleifenkonstrukt implementiert werden, welcher einen neuen Wert holt. Der Schleifenkörper wird dabei nicht mithilfe von Rekursion oder Iteration ausgeführt, sondern durch Entfaltung. Ye et al. beschreiben Schleifenentfaltung als eine gängige Methode um Compiler zu optimieren, weil mit dieser Methode die mehreren Schleifendurchläufe zu einer zusammengefasst werden. [?] Huang et al. beschreiben den ALgorithmus wie folgt TODO. Der beschriebene Ansatz kann für unseren Ansatz nicht 1:1 übernommen werden, sondern muss etwas modifiziert werden. Unser Ziel ist es nicht nur einzelne Schleifendurchläufe zusammen zu fassen, sondern die ganzen Schleifendurchläufe in einer einzigen zusammenzufassen. Da bei unserem Lösungsansatz die maximale Anzahl an Schleifendurchläufen begrenzt ist und diese bereits vor der Ausführung der Prüfungslogik bekannt ist, kann diese Information beim modifizierten Ansatz berücksichtigt werden. Ein Beispiel ist in Abbildung TODO. Bei dem Beispiel ist die Anzahl der Schleifen Durchläufe auf 3 begrenzt. In beiden Schleifen soll die Zeichenkette "Foo" 3-mal auf der Konsole ausgegeben werden. Der Schleifenkopf initialisiert am Anfang eine Variable. Anschließend wird eine Abbruchbedingung definiert und im Anschluss die Veränderung der Variable pro Schleifendurchlauf festgelegt. Im Beispiel 1 wird die Funktion `console.log("Foo")` pro Schleifendurchlauf einmal ausgeführt. Hingegen im Beispiel 2 wurde die Schleife entfaltet und die Funktion `console.log("Foo")` pro Schleifendurchlauf 3-mal ausgeführt. Da die Schleife aber nur noch einmal ausführt und dann abbricht, kann diese auch weggelassen werden. Zwischen den einzelnen Funktionen muss dafür gesorgt werden, dass die neue Wert zur Verfügung steht. Deswegen ist die Idee alle bisherigen Aktivitätsaktionen zu wiederholen, damit der aktuellste Wert vom Hauptuntersuchungs-Adapter ausgelesen wird und die Prüfung auf Grundlage dieses Wertes nochmals ausgeführt wird. Ein Beispiel ist in Abbildung TODO.

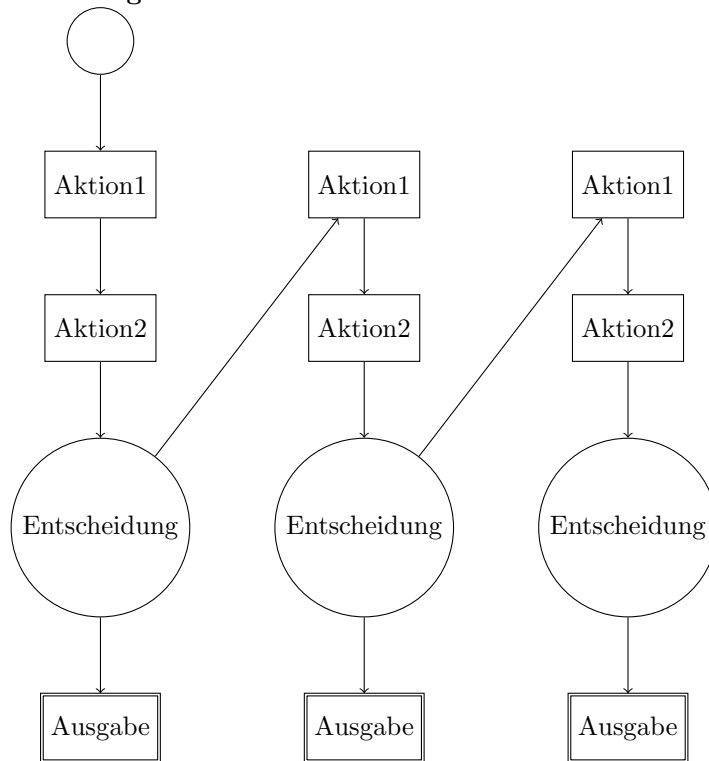


```

1  /*Beispiel 1*/
2  for (let i = 0; i <= 2; i++) {
3      console.log("foo");
4  }
5
6  /*Beispiel 2*/
7  for (let i = 0; i <= 0; i++) {
8      console.log("foo");
9      console.log("foo");
10     console.log("foo");
11 }

```

## Abbildung TODO



## Abbildung TODO

## 5.2 2. Lösungsansatz

Schleife soll durch ein Konstrukt realisiert werden. Prüfungslogik muss um eine weitere Aktivitätsaktion erweitert werden. Das Schleifenkonstrukt greift dabei auf bereits vorhandene Regeln der Prüfungslogik zu. Das Schleifenkonstrukt greift dabei wie die anderen Aktivitätsaktionen auf den Referenzstack zu. Da der

nächste Schleifendurchlauf nicht wieder auf den gleichen Eingabenwerten laufen soll, da diese wieder zu einem fehlerhaften Wert führen wird, muss ein Mechanismus im Schleifenkonstrukt implementiert werden, welcher einen neuen Wert holt. Durch die Einführung der Schleife entstehen neue Herausforderungen. Es können nun Endlosschleifen entstehen, welche dazu führen, dass die ausgeführte Prüfung niemals terminieren wird. Außerdem liefert der Hauptuntersuchungs-Adapter keine linearen Werte (?), sondern nicht deterministische Werte.

Eine Endlosschleife kann von vorneherein ausgeschlossen werden, indem die maximalen Schleifendurchläufe begrenzt werden. Da die Werte des Hauptuntersuchungs-Adapter nicht vorhersehbar sind und die Prüfung nicht jedes mal die maximale Anzahl der Schleifendurchläufe ausführen soll, muss ein Algorithmus entwickelt werden, welcher sagt wann man davon ausgehen kann, wann die ausgelesenen Sensorwerte sich großartig nicht mehr ändern und stabil sind.

Ein möglicher Lösungsvorschlag könnte nun folgendermaßen aussehen. Je nachdem welcher Typ der Eingabewert hat verläuft der Algorithmus anders. Es wird dabei nur zwischen Zahlen und Zeichenketten unterschieden. Bei Zeichenketten wird der aktuelle Wert mit dem Wert aus dem vorherigen Schleifendurchlauf verglichen. Dafür wird die Levenshtein-Distanz verwendet. Für die ersten beiden Schleifendurchläufe wird der Algorithmus übersprungen, weil die Levenshtein-Distanz noch kein Aussagekräftiges Ergebnis für den Anwendungsfall geben kann. Die Levenshtein-Distanz gibt die Ähnlichkeit zwischen zwei Zeichenketten als Zahl an, indem sie die minimale Anzahl an Operation angibt, welche benötigt werden, damit die erste Zeichenkette der zweiten Zeichenkette gleicht. Je größer die Zahl ist, desto "unterschiedlicher" sind die beiden Zeichenketten von einander.

Um zu schauen wie sich die Eingabe zu verschiedenen Zeiträumen verhält, berechnen wir Mittelwerte über TODO. Es sollten mindestens zwei Mittelwerte gebildet werden. Mehr als zwei Mittelwerte sind möglich, aber würden den Algorithmus entwindlicher machen. Der erste Mittelwert sollte über alle bisherigen Eingaben gebildet werden, um zu sehen wie sich die Eingabe auf langer Sicht verhält. Der zweite Mittelwert sollte über die letzten  $n$  Eingaben gebildet werden, um zu sehen wie sich die Eingabe auf kurzer Sicht verhält. Da die Werte der Levenshtein-Distanz sich für den Mittelwert nicht besonders anbieten, müssen die Zeichenketten in einen Zahlenwert umgewandelt werden, hießend Addieren. Für die Umwandlung eignet sich UTF-8 besonders gut. Da UTF-8 fast alle Schriftzeichen weltweit beinhaltet. Das kann geschaffen werden, indem alle Zeichen der Zeichenkette in eine eindeutige Zahl umwandeln und die einzelnen Zahlen anschließend eine Gewichtung bei der Addition berücksichtigt werden, weil sonst Zeichenketten, die aus den gleichen Zeichen bestehen, den gleichen Wert bei der Addition rausbekommen. Das liegt daran, dass bei der Addition ohne Gewichtung nur die Wertigkeit der einzelnen Zeichen betrachtet wird, aber nicht deren Position. Dieses Problem wird mit der Gewichtung aufgelöst. Ein Beispiel dafür für die Addition mit Gewichtung ist in Abbildung TODO. Dies muss aber nicht für jedes Eingabepaar gemacht werden, sondern nur für Eingabepaare, welche sich sehr ähneln, also eine niedrige Levenshtein-Distanz haben. Für Eingabepaare mit einer hohen Levenshtein-Distanz ist das

nicht notwendig, weil wir da bereits wissen, dass sich die Zeichenketten stark von einerander unterscheiden. Ist die Differenz aus der umgewandelten umgewandelten Zeichenkette und einem Mittel kleiner als ein vordefinierter Schwellenwert, wissen wir dass die Zeichenkette sich nur ganz leicht von den durchschnittlichen Eingaben unterscheidet. Wenn dies nun mehrmals nacheinander vorkommt, kann davon ausgegangen werden, dass der Wert in diesen Wertebereich stagniert. Um dies im ALgorithmus auch zu berücksichtigen, wird ein n-Chance Mechanismus eingebaut der folgendermaßen Funktioniert:

- Wird der Schwellenwert unterschritten, wird unser n dekrementiert.
- Wird der Schwellenwert übertroffen oder ist unsere Differenz gleich wird n zurückgesetzt.
- Erreicht n irgendwann die 0 wird die Schleife abgebrochen.

"foo" = 102+111+111 = 324"oof" = 111+111+102 = 324*mitGewichtung*"foo" = 1 \* 102 + 2 \* 111 + 3 \* 111 = 657"oof" = 1 \* 111 + 2 \* 111 + 3 \* 102 = 639

**Abbildung TODO** Beispiel Addition mit und ohne Gewichtung

Ist unser Eingabewert nun keine Zeichenkette, sondern eine Zahl entfällt der Umwandlungsschritt mit der Gewichtung. Es kann sofort mit den beschriebenen Mittelwertansatz angefangen werden.

## 6 Evaluation

### 6.1 1. Lösungsansatz

+einfach zu implementieren, da wir kein schleifenkonstrukt mehr benötigen.  
+keine Endlosschleife, weil es keine Schleifen gibt +keine Zyklen, weil der Ablauf linear ist +weniger Sprünge, weil keine for oder while Bedingungen vorhanden sind +möglicher Performance gewinn, weil Schleifen-Overhead entfällt -größerer Codeumfang, da der eigentliche schleifenkörper a-mal im code implemtniert werden muss -höherer verbraucht an ressourcen zB Speicher mehr code = mehr speicher -möglicherweise ineffizient, wenn der faktor zu groß gewählt wird - schlechtere Lesbarkeit -wenn bereits nach 3 durchlaufen feststeht, dass das gewünschte ergbeniss nicht mehr erreicht werden kann werden trotzdem die restlichen schritte ausgeführt

### 6.2 2. Lösungsansatz

+keine Endlosschleife, weil maximale Schleifendurchläufe begrenzt sind. + - azyklisches verhalten wird verletzt, weil schleifenkonstrukt benötigt wird -

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] Johnston, W., Hanna, J., & Millar, R. (2004). *Advances in dataflow programming languages*. ACM Computing Surveys, 36(1), 1–34.
- [2] Chen, L. (2021). *Iteration vs. Recursion: Two Basic Algorithm Design Methodologies*. SIGACT News, 52(1), 81–86.
- [3] Arvind, & Culler, D. (1986). *Dataflow Architectures*. LCS Technical Memos.
- [4] Ambler, A., & Burnett, M. (1990). *Visual forms of iteration that preserve single assignment*. Journal of Visual Languages & Computing, 1(2), 159–181.
- [5] Mosconi, M., & Porta, M. (2000). *Iteration constructs in data-flow visual programming languages*. Computer Languages, 26(2), 67–104.
- [6] Fan, Z., Li, W., Liu, T., Tang, S., Wang, Z., An, X., Ye, X., & Fan, D. (2022). *A Loop Optimization Method for Dataflow Architecture*. In 2022 IEEE 24th Int Conf on High Performance Computing & Communications; 8th Int Conf on Data Science & Systems; 20th Int Conf on Smart City; 8th Int Conf on Dependability in Sensor, Cloud & Big Data Systems & Application (HPCC/DSS/SmartCity/DependSys) (pp. 202–211).
- [7] Gévay, G., Soto, J., & Markl, V. (2021). *Handling Iterations in Distributed Dataflow Systems*. ACM Comput. Surv., 54(9), 199:1–199:38.
- [8] Alves, T., Marzulo, L., Kundu, S., & França, F. (2021). *Concurrency Analysis in Dynamic Dataflow Graphs*. IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing, 9(1), 44–54.
- [9] Ye, Z., & Jiao, J. (2024). *Loop Unrolling Based on SLP and Register Pressure Awareness*. In 2024 20th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (ICNC-FSKD) (pp. 1–6).
- [10] Lućanin, D., & Fabek, I. (2011). *A visual programming language for drawing and executing flowcharts*. In 2011 Proceedings of the 34th International Convention MIPRO (pp. 1679–1684).
- [11] Davis, A., & Keller, R. (1982). *Data Flow Program Graphs*. All HMC Faculty Publications and Research.
- [12] Boshernitsan, M., & Downes, M. (2004). *Visual Programming Languages: A Survey*. EECS University of California, Berkeley.
- [13] Charntaweekhun, K., & Wangsiripitak, S. (2006). *Visual Programming using Flowchart*. In 2006 International Symposium on Communications and Information Technologies (pp. 1062–1065).

- [14] Burnett, M., Baker, M., Bohus, C., Carlson, P., Yang, S., & Van Zee, P. (1995). *Scaling up visual programming languages*. *Computer*, 28(3), 45–54.
- [15] Kurihara, A., Sasaki, A., Wakita, K., & Hosobe, H. (2015). *A Programming Environment for Visual Block-Based Domain-Specific Languages*. *Procedia Computer Science*, 62, 287–296.
- [16] Hils, D. (1992). *Visual languages and computing survey: Data flow visual programming languages*. *Journal of Visual Languages & Computing*, 3(1), 69–101.
- [17] Sousa, T. (2012). *Dataflow Programming Concept, Languages and Applications*. *Doctoral Symposium on Informatics Engineering*, 7.
- [18] Van Deursen, A., Klint, P., & Visser, J. (2000). *Domain-specific languages: an annotated bibliography*. *ACM SIGPLAN Notices*, 35(6), 26–36.
- [19] Roy, G., Kelso, J., & Standing, C. (1998). *Towards a visual programming environment for software development*. In *Proceedings. 1998 International Conference Software Engineering: Education and Practice* (Cat. No.98EX220) (pp. 381–388). *IEEE Comput. Soc.*
- [20] Weintrop, D. (2019). *Block-based programming in computer science education*. *Communications of the ACM*, 62(8), 22–25.
- [21] Gumm, H.P., & Sommer, M. (2016). *Band 1 Programmierung, Algorithmen und Datenstrukturen*. De Gruyter Oldenbourg.