TINF 13 AI-BI

Duale Hochschule Baden-Württemberg Mannheim



Studienarbeit Modul T3201 DBHW Mannheim

Implementierung von SetlX-Programmen in Python

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Name: | Johann Boschmann | Name: | Joseph Palackal |
| Matrikelnummer: | 7644311 | Matrikelnummer: | 5839999 |
| Kurs: | TINF13AIBI |  |  |
| Studiengangsleiter: | Prof. Dr. A. Müller | Betreuer: | Prof. Dr. K. Stroetmann |
| Datum: | 25.05.2016 |  |  |
| Zeitraum: | 14.09.2015 – 30.05.2016 | Unterschrift Betreuer: | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |

# Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erklären wir, Johann Boschmann und Joseph Palackal, dass wir die Studienarbeit selbstständig angefertigt und keine anderen als die im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet haben.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Ort Datum Unterschriften

Inhaltsverzeichnis

[Ehrenwörtliche Erklärung 1](#_Toc453589866)

[Abbildungsverzeichnis 3](#_Toc453589867)

[Tabellenverzeichnis 4](#_Toc453589868)

[1. Einleitung 5](#_Toc453589869)

[2. Warum Python? 6](#_Toc453589870)

[3. Skripte ohne spezielle Module 7](#_Toc453589871)

[4. Python Modul lecture 8](#_Toc453589872)

[4.1. Sets 9](#_Toc453589873)

[4.2. Matches 12](#_Toc453589874)

[4.3. Übersetzung komplexerer Programme 13](#_Toc453589875)

[4.3.1. Schiebepuzzle 13](#_Toc453589876)

[4.3.2. Watson 18](#_Toc453589877)

[4.3.3. Wolf Ziege Kohl 21](#_Toc453589878)

[4.3.4. 8 Damen Problem 24](#_Toc453589879)

[5. Fazit 30](#_Toc453589880)

[Literaturverzeichnis 31](#_Toc453589881)

# Abbildungsverzeichnis

[Abbildung 1: Fehler bei Mengen in Mengen 8](#_Toc453589882)

[Abbildung 2: Nutzung von Mengen in simple.stlx 11](#_Toc453589883)

[Abbildung 3: Nutzung von Mengen in simple.py 11](#_Toc453589884)

[Abbildung 4: Ausschnitt aus diff() (SetlX) 12](#_Toc453589885)

[Abbildung 5: Ausschnitt aus diff() (Python) 13](#_Toc453589886)

[Abbildung 6: findPath im Schiebepuzzle (SetlX) 14](#_Toc453589887)

[Abbildung 7: find\_path im Schiebepuzzle (Python) 15](#_Toc453589888)

[Abbildung 8: nextStates im Schiebepuzzle (SetlX) 15](#_Toc453589889)

[Abbildung 9: next\_states im Schiebepuzzle (Python) 16](#_Toc453589890)

[Abbildung 10: movDir im Schiebepuzzle (SetlX) 16](#_Toc453589891)

[Abbildung 11: mov\_dir im Schiebepuzzle (Python) 16](#_Toc453589892)

[Abbildung 12: findBlank im Schiebepuzzle (SetlX) 17](#_Toc453589893)

[Abbildung 13: find\_blank im Schiebepuzzle 17](#_Toc453589894)

[Abbildung 14: evaluate in Watson (SetlX) 18](#_Toc453589895)

[Abbildung 15: evaluate in Watson (Python) 19](#_Toc453589896)

[Abbildung 16: createValuation in Watson (SetlX) 19](#_Toc453589897)

[Abbildung 17: create\_valuation in Watson (Python) 19](#_Toc453589898)

[Abbildung 18: Lösung von Watson (SetlX) 20](#_Toc453589899)

[Abbildung 19: Lösung von Watson (Python) 20](#_Toc453589900)

[Abbildung 20: findPath in wgc (SetlX) 21](#_Toc453589901)

[Abbildung 21: find\_path in wgc (Python) 21](#_Toc453589902)

[Abbildung 22: pathProduct in wgc (SetlX) 22](#_Toc453589903)

[Abbildung 23: path\_product in wgc (Python) 22](#_Toc453589904)

[Abbildung 24: noCycle in wgc (SetlX) 22](#_Toc453589905)

[Abbildung 25: no\_cycle in wgc (Python) 22](#_Toc453589906)

[Abbildung 26: add in wgc (SetlX) 22](#_Toc453589907)

[Abbildung 27: add in wgc (Python) 22](#_Toc453589908)

[Abbildung 28: problem in wgc (SetlX) 23](#_Toc453589909)

[Abbildung 29: problem in wgc (Python) 23](#_Toc453589910)

[Abbildung 30: Lösung des wgc-Problems (SetlX) 23](#_Toc453589911)

[Abbildung 31: Lösung des wgc-Problems (Python) 24](#_Toc453589912)

[Abbildung 32: davisPutnam in Davis Putnam (SetlX) 25](#_Toc453589913)

[Abbildung 33: davis\_putnam in Davis Putnam (Python) 25](#_Toc453589914)

[Abbildung 34: saturate in Davis Putnam (SetlX) 26](#_Toc453589915)

[Abbildung 35: saturate in Davis Putnam (Python) 26](#_Toc453589916)

[Abbildung 36: atMostOne in Queens (SetlX) 27](#_Toc453589917)

[Abbildung 37: at\_most\_one in Queens (Python) 27](#_Toc453589918)

[Abbildung 38: atMostOneInRow in Queens (SetlX) 27](#_Toc453589919)

[Abbildung 39: at\_most\_one in Queens (Python) 27](#_Toc453589920)

[Abbildung 40: atMostOneInLowerDiagonal in Queens (SetlX) 28](#_Toc453589921)

[Abbildung 41: at\_most\_one\_in\_lower\_diagonal in Queens (Python) 28](#_Toc453589922)

[Abbildung 42: allClauses in Queens (SetlX) 28](#_Toc453589923)

[Abbildung 43: all\_clauses in Queens (Python) 28](#_Toc453589924)

[Abbildung 44: solve in Queens (SetlX) 29](#_Toc453589925)

[Abbildung 45: solve in Queens (Python) 29](#_Toc453589926)

# Tabellenverzeichnis

[Tabelle 1: Mathematische Operatoren für Sets 10](#_Toc453589927)

[Tabelle 2: Funktionen für Sets 10](#_Toc453589928)

# Einleitung

In der Vorlesung „Grundlagen und Logik“ des Moduls Theoretische Informatik I führt der Dozent Prof. Dr. Karl Stroetmann die Programmiersprache SetlX ein. SetlX ist eine auf Java basierende Sprache, die sehr gut geeignet ist, um den Pseudocode aus Vorlesungen ausführbar zu machen. Diese Programmiersprache wirbt damit, dass die Verwendung von Mengen und Listen sehr gut unterstützt wird. Außerdem können Ausdrücke aus der Mengenlehre, so wie andere mathematischen Ausdrücke in einer Syntax, die sehr ähnlich zur mathematischen Notation ist, implementiert werden. (Stroetmann & Herrmann, 2015) Da diese Vorlesung bereits im ersten Semester stattfindet und die Studenten parallel dazu eine Vorlesung aus dem Modul Mathematik I besuchen, können die Studenten Themen wie beispielsweise die Mengenlehre schneller kennen lernen. Die komplementäre Auseinandersetzung mit ähnlichen bis gleichen Themen in beiden Vorlesungen ermöglicht das gleichzeitige Lernen für zwei Vorlesungen.

Ein weiterer Vorteil für die Studenten ist, dass die Syntax von SetlX, zusätzlich zum sehr mathematischen Stil, auch starke Ähnlichkeiten zur Programmiersprache C aufweist. Selbst für die Studenten, die zuvor keinen Kontakt mit C hatten ist das ein großer Vorteil, da im ersten Semester parallel zur theoretischen Informatik Vorlesung auch eine Vorlesung mit dem Titel „Programmieren in C“ besucht werden muss. So muss kein starkes Umdenken stattfinden, wenn von SetlX zu C und auch umgekehrt gewechselt wird.

Die Hauptintention dieser Arbeit ist es, zu prüfen, ob es möglich wäre die SetlX-Programme, die in der Vorlesung gezeigt werden, in Python-Skripte zu übersetzen. Ziel dabei ist es, die Eleganz der Programme beizubehalten, damit die Studenten die verschiedenen Algorithmen besser verstehen und erlernen können. Auch wenn es in Python teilweise möglich wäre das Problem über einen anderen Weg, eventuell mit weniger Codezeilen, zu lösen, soll dennoch der Hauptfokus auf den Lernprozess in der theoretischen Informatik liegen.

# Warum Python?

Viele Informatik-Kurse oder Vorlesungen für Anfänger benutzen die Programmiersprache Python als erste Programmiersprache. Von den 39 besten Einführungskursen für Informatik in den USA verwendeten im Jahr 2014 27 Kurse Python als erste Programmiersprache. (Guo, 2014) Mit 69% ist Python somit, mit einer eindeutigen Mehrheit die meist verwendete Programmiersprache unter diesen Kursen. Einige Internet-Artikel, die die Beliebtheit von heutigen Programmiersprachen beleuchten, referenzieren öfter den Blogbeitrag für die Association for Computing Machinery (ACM). In dem Beitrag wird beschrieben, dass Python Java als häufigste Programmiersprache für Anfänger abgelöst hat. Auch wenn der Artikel bereits 2014 veröffentlicht wurde, lässt sich vermuten, dass die Verbreitung von Python nicht zurückgegangen ist. Grund hierfür ist die steigende Beliebtheit der Sprache nach dem TIOBE Index[[1]](#footnote-2), wie auch ein fünfter Platz in der Statistik von Coding Dojo[[2]](#footnote-3).

Die Online-Lernplattform Udacity verwendet für den Kurs „Intro to Computer Science“ Python als Sprache, um die Themen der theoretischen Informatik zu erläutern. Diesen Online-Kurs haben bereits über 500.000 Personen besucht.[[3]](#footnote-4) Als Proargumente werden die Mächtigkeit, die leichte Erlernbarkeit und die weite Verbreitung aufgeführt.

Zudem kommt, dass in SetlX nur Java-Bibliotheken eingebunden werden können. Selbst wenn eine Java-Bibliothek eingebunden wird, so muss diese direkt in der Programmiersprache eingebunden werden. Es ist nicht möglich Bibliotheken in einzelne Programme einzubinden. Außerdem existieren bereits einige Python-Bibliotheken, die der theoretischen Informatik Vorlesung einen Mehrwert bieten würden. Beispielsweise wären die Module matplotlib, zum Plotten von Graphen, sowie pandas, zur Auswertung von Daten, für Python vorhanden. Zwar kann in SetlX bereits geplottet werden, jedoch ist der Dozent der Vorlesung mit der Implementierung der Java-Bibliothek unzufrieden.

# Skripte ohne spezielle Module

Es ist bereits möglich einige SetlX-Programme ohne zusätzliche Module in Python anzufertigen. Diese Python-Skripte wurden als erstes angefertigt, um feststellen zu können, ob es möglich ist Python Syntax zu verwenden, ohne die Eleganz des Codes zu verlieren.

Beim Schreiben von Python-Skripten muss, im Gegensatz zu SetlX, bei der Einrückung auf eine Besonderheit geachtet werden. In Python ist es möglich sogenannte unsichtbare Fehler zu erhalten, indem man eine inkonsistente Einrückung verwendet. Es ist möglich sowohl mit Leerzeichen, als auch mit Tabulatoren die Einrückung zu gestalten. Was jedoch verboten ist, ist die Verwendung beider Arten gleichzeitig, da Python daraufhin auf einen Fehler stößt. Deshalb ist es wichtig bereits am Anfang festzulegen, ob mit Leerzeichen oder mit Tabulatoren eingerückt wird. Alle Python-Skripte, die im Rahmen dieser Arbeit erstellt wurden, werden Leerzeichen zur Einrückung verwendet.

Das erste Codebeispiel aus dem Logik-Skript befasst sich mit der Berechnung einer Summe der Zahlen von 1 bis zur eingegebenen Zahl. Dieses Programm lässt sich auch nahezu identisch in Python abbilden. Das originale SetlX Programm verwendet hierfür eine Menge, die die Zahlen von 1 bis zur eingegebenen Zahl n enthält. Über den „+/“-Operator wird die Summe aller Zahlen in der Menge ermittelt und ausgegeben.

n := read("Type a natural number and press return: ");

s := +/ { 1 .. n };

print("The sum 1 + 2 + ... + ", n, " is equal to ", s, ".");

In Python wurde fast dasselbe Verhalten nachgebildet. Jedoch wurde, statt einer Menge, eine Range der Zahlen von 0 bis n verwendet. Die Summe wird über die in Python bereits integrierte Funktion sum() berechnet und daraufhin ausgegeben. Prinzipiell findet derselbe Ablauf statt, allerdings werden unterschiedliche Datenstrukturen verwendet. Um alle Zahlen von Null bis n zu durchlaufen wird das Range Objekt in Python verwendet, hierbei ist zu beachten, dass das letzte Element (n+1) exklusiv ist. In SetlX hingegen wird direkt von Eins bis n iteriert. Bei der Ermittlung der Summe sind beide Ansätze zulässig, da eine Addition mit Nullen keine Änderung bewirkt.

n = int(input('Type a natural number and press return: '))

s = sum(range(n + 1))

print('The sum 1 + 2 + ... + ', n, ' is equal to ', s, '.')

Allgemein kann gesagt werden, dass ein SetlX-Programm, ohne spezielle Funktionen oder Strukturen die nicht in Python wiedergefunden werden, meist ähnlich in Python nachgebildet werden kann.

# Python Modul lecture

Das Verhalten der Mengen in SetlX ist in einigen Bereichen anders als bei den Mengen in Python. Die Mengen in Python dürfen nur gewisse Werte enthalten, diese müssen unveränderbar sein Zusätzlich werden auch gewisse Funktionen von den Python-Mengen nicht unterstützt, die in SetlX häufig verwendet werden. Aus diesen Gründen wurde das Python Modul lecture im Rahmen dieser Studienarbeit angefertigt.

Ein großes Problem, das sehr früh erkannt wurde, ist, dass die Mengen in Python auf den Hashwerten der enthaltenen Elemente operieren. Somit ist es beispielsweise verboten Mengen in Mengen zu hinterlegen, da diese verändert werden könnten und somit der alte Hashwert ungültig werden würde. Diese Funktionalität wird jedoch in den SetlX Programmen, der Vorlesungen mehrfach verwendet. Während analoge Python-Skripte den in *Abbildung 1* gezeigten Fehler zurückgeben. Zwar könnten bereits vorhandene sets in frozensets umgewandelt werden um Mengen in Mengen zu ermöglichen. Allerdings würden auch hier die umgewandelten Mengen nicht mehr geändert werden können, da die Mengen nur so ihren Hashwert beibehalten. Die Unveränderbarkeit der Mengenelemente ist von Python dadurch bedingt, dass eine immer wiederkehrende Hashberechnung vermieden werden möchte. Eine Änderung wird durch die Art der Abspeicherung bereits verhindert. Den Elementen einer Menge werden Hashwerte zugewiesen und sobald diese feststehen dürfen sich die Elemente nicht mehr ändern, da das unmittelbar eine neue Hashberechnung verlangen würde.

Eine weitere Möglichkeit, das Problem der Mengen zu lösen, wäre die Verwendung von Listen, anstelle von Mengen. Prinzipiell ist das in einigen Python-Übersetzungen der SetlX Programme möglich und wurde so auch teilweise umgesetzt (siehe beispielsweise *prime\_slim.py*). Es werden andere Datentypen verwendet, um die Informationen zu hinterlegen, meist Listen statt Mengen, da für die Ausführung einiger SetlX-Programme keine besonderen Eigenschaften der Mengen benötigt werden. Ein großes Problem an dieser Lösung ist allerdings, dass Listen nun mal keine Mengen sind und sobald Mengeneigenschaften oder Mengenoperatoren, die nicht für Listen gelten, verwendet werden, Listen eher ungeeignet sind. Der Workaround, besondere Funktionen für die Listen zu schreiben, um das Verhalten von Mengen zu imitieren, wurde auch als Ansatz bedacht, allerdings nach einigen kleinen Beispielübersetzungen wieder verworfen. Das liegt daran, dass eine wichtige Anforderung, die Erhaltung der Eleganz nicht erfüllt werden konnte. Somit war dies keine Lösung, die global für alle Programme verwendet werden konnte. Ein weiteres Problem, das bei der Verwendung auftreten würde, ist die schlechte Skalierbarkeit dieser Umsetzung. Wenn größere Datenmengen auftreten, steigt die Laufzeit der Lösung mit den Hilfsfunktionen drastisch. Dies liegt daran, dass standardmäßig Listen in Python nicht sortiert sind und somit keine effizienten Algorithmen für Such- und Einfüge-Operationen gegeben sind. Beispiele für die benötigten Funktionen, die implementiert werden mussten, um Mengeneigenschaften zu imitieren, waren das Entfernen von Duplikaten aus einer Liste, so wie die Ermittlung der Differenz zweier Listen und die Ermittlung der Potenzmenge.

>Traceback (most recent call last):

> File "<stdin>", line 1, in <module>

>TypeError: unhashable type: 'set'

Abbildung 1: Fehler bei Mengen in Mengen

Allerdings sind Mengen nicht der einzige Grund, warum das Modul lecture benötigt wird. Ein in SetlX sehr hilfreiches Konstrukt, namens match, wird in Python nicht wiedergefunden. Dessen Syntax ist an die sehr bekannte Switch-Case-Syntax angelehnt, welche in Python nicht enthalten ist. Bei Matches können vier verschiedene Datentypen verwendet werden: Strings, Listen, Mengen und Terme. Das Matchen von Strings, Listen und Mengen kann für das Erkennen des ersten Zeichens und dem Rest oder auch das Herauspicken von Paaren verwendet werden. In dem SetlX-Tutorial wird das Matching beispielsweise zur Generierung des Inversen oder das Erstellen einer sortierten Liste aus einer Menge verwendet. (Stroetmann & Herrmann, 2015)

Die interessanteste Anwendung von Matches findet sich jedoch, bei Termen. Die „[…]Art von Matchen [in SetlX] ist ähnlich zum Matching das in den Programmiersprachen Prolog und ML gegeben ist.“ (Stroetmann & Herrmann, 2015) Dieses Matching wird auch in einigen Programmen der Logik-Vorlesung, die als Grundlage dient, verwendet. Deshalb ist es wichtig, dass diese Funktion auch in einer Python Version der Programme möglich ist.

## Sets

In den Vorlesungs-Programmen, die im Fokus dieser Arbeit stehen, werden häufig Mengen, sowie Ausdrücke aus der Mengenlehre sehr ähnlich zur mathematischen Darstellung verwendet. Neben den Mengenoperationen werden zusätzlich diverse Eigenschaften von Mengen implementiert. Beispielsweise wird genutzt, dass Mengen keine Duplikate enthalten. In SetlX wird eine Sortierung der Elemente durchgeführt, wodurch Vorteile in der Programmierung entstehen.

Um die Mengen, wie sie in den SetlX-Programmen verwendet werden, auch in Python verwenden zu können, wurde eine eigene Mengen Klasse implementiert, die alle notwendigen Funktionalitäten erfüllt.

Zur internen Sicherung von Elementen innerhalb der Mengen wird der Datentyp SortedListWithKey aus dem Modul sortedcontainers verwendet. Das Besondere an SortedListWithKey ist, dass es sich nicht nur um sortierte Listen handelt, sondern die Möglichkeit besteht festzulegen nach welcher Eigenschaft die Listen-Objekte sortiert werden sollen. In dem Schlüssel einer SortedListWithKey wird diese Eigenschaft hinterlegt und kann auch dort eingesehen werden. Sodass bei Mengen die interne SortedListWithKey zurückgegeben wird, da Mengen sich nicht sortieren lassen, aufgrund der Operator Überladungen zur Anpassung an die SetlX Syntax.

Vor der Umsetzung mit den sortierten Listen wurde das Python-package blist verwendet. In der alten Version der Mengen waren alle notwendigen Operationen auch möglich und es konnten alle Problemstellungen gelöst werden. Jedoch war die Performance des blist Packages nicht ausreichend. Trotz vielversprechender Angaben zur Komplexität für Such- und Einfüge-Operationen war das Package deutlich langsamer als das sortedlist Package. Da bisher lediglich auf Mengen mit weniger als einer halben Million Elemente operiert wurde, besteht bei dem sortedlist Package für größere Datenmengen die Möglichkeit das diese instabil werden. Denn das sortedlist Package unterteilt die Elemente in mehrere Sublisten. Es wird dabei eine Liste erstellt die 100 weitere Listen enthält. Werden die Sublisten zu lang, verliert die Implementierung ggf. Ihren Vorteil gegenüber dem blist Package. Jedoch ist kein derartiger Anwendungsfall in den Vorlesungsskripten enthalten gewesen.

In der Implementierung der Mengen werden für viele Operationen Operatoren verwendet, wobei versucht wurde möglichst nahe der SetlX Syntax zu bleiben. Die Ähnlichkeit zu SetlX soll vorhanden sein, da diese bereits sehr mathematisch ist und somit sinnvoller zu lernen ist für die Studenten. Die unterstützten mathematischen Operatoren sind in *Tabelle 1* zu sehen.

|  |  |
| --- | --- |
| Operator | **Bedeutung** |
| + | Bildet Vereinigung zweier Mengen |
| += | Ergebnis der Vereinigung wird in die erste Menge geschrieben |
| - | Bildet Differenz zweier Mengen |
| \* | Bildet Schnitt zweier Mengen |
| 2\*\* | Bildet Potenz einer Menge |
| % | Bildet symmetrische Differenz zweier Mengen |
| < | Gibt True zurück wenn die linke Menge kleiner ist |
| > | Gibt True zurück wenn die linke Menge größer ist |
| >= | Gibt True zurück wenn die rechte Menge eine Teilmenge der linken ist |
| <= | Gibt True zurück wenn die linke Menge eine Teilmenge der rechten ist |
| == | Gibt True zurück wenn beide Mengen dieselben Elemente enthalten |
| != | Gibt True zurück wenn die Mengen unterschiedlich sind (Gegenteil zu ==) |
| in | Prüft ob das gegebene Element in der Menge ist |

Tabelle 1: Mathematische Operatoren für Sets

Zusätzlich gibt es noch weitere Methoden, die nicht in der mathematischen Darstellung verwendbar sind, dennoch für typische mathematische Operationen verwendet werden. Diese werden anstatt in der mathematischen Notation, wie Funktionen auf die Mengen ausgeführt. Außer diesen mathematischen Funktionen können noch weitere, nicht-mathematische Operationen, wie beispielsweise die visuelle Darstellung von Mengen, verwendet werden. Eine sehr wichtige Funktion ist die put-Funktion. Diese sorgt dafür, dass keine Duplikate in ein Set eingetragen werden können. In *Tabelle 2* sind die restlichen Mengen-Funktionen aufgelistet.

|  |  |
| --- | --- |
| Funktion | **Bedeutung** |
| str | Stellt die Menge als String dar |
| contains | Dasselbe wie in (siehe *Tabelle 1*) |
| Set[i] | Gibt das Element an i-ter Stelle zurück |
| cartesian\_product | Bildet das kartesische Produkt zweier Mengen |
| arb | Gibt ein beliebiges Element der Menge zurück |
| random | Gibt ein zufälliges Element der Menge zurück |
| put | Fügt ein Element in die Menge ein |
| peek | Gibt das letzte Element der Menge zurück |
| pop | Gibt das letzte Element der Menge zurück und entfernt es aus der Menge |
| sum | Gibt die Summe aller Elemente in der Menge zurück |

Tabelle 2: Funktionen für Sets

An dieser Stelle muss noch bemerkt werden, dass die Selektion des i-ten Elements einer Menge auch das Array Slicing (z.B. [1:2]), wie es von Python bekannt ist, unterstützt. Die Auswahl eines beliebigen Elements über den Befehl arb() gibt bei einer geraden Länge der Menge das letzte Element und bei einer ungeraden Menge das erste Element zurück. In einer früheren Implementierung wurde an dieser Stelle nur das erste Element zurückgegeben, jedoch traten dabei Performance Probleme in einem Python-Skript auf. Die Problematik wird im späteren Verlauf (Kapitel *4.3.4*) aufgezeigt.

Mit diesen Operatoren und Funktionen können alle Aufgabestellungen, die in der Vorlesung zur theoretischen Informatik vorkommen, bewältigt werden. Im Nachfolgenden wird eine Anwendung der Mengenoperatoren gezeigt. Das SetlX-Programm, das die Grundlage bietet, wird den Studenten gezeigt, damit sie ein Gefühl dafür bekommen, welche Operation welche Resultate liefert.

a := { 1, 2, 3 };

b := { 2, 3, 4 };

c := a + b;

print(a, " + ", b, " = ", c);

c := a \* b;

print(a, " \* ", b, " = ", c);

c := a - b;

print(a, " - ", b, " = ", c);

c := 2 \*\* a;

print("2 \*\* ", a, " = ", c);

print("(", a, " <= ", b, ") = ", (a <= b));

print("1 in ", a, " = ", 1 in a);

Abbildung 2: Nutzung von Mengen in simple.stlx

a = Set(1,2,3)

b = Set(2,3,4)

c = a + b

print('%s + %s = %s' % (a, b, c))

c = a \* b

print('%s \* %s = %s' % (a, b, c))

c = a - b

print('%s - %s = %s' % (a, b, c))

c = 2 \*\* a

print('2 \*\* %s = %s' % (a, c))

print('%s <= %s = %s' % (a, b, a <= b))

print('1 in %s = %s' % (a, 1 in a))

Abbildung 3: Nutzung von Mengen in simple.py

In den Beispielen, die in Abbildung 2 und in *Abbildung 3* zu sehen sind, werden einige Operatoren sowohl in SetlX, als auch in Python dargestellt. Zuerst werden die Vereinigung, der Schnitt und die Differenz zweier Mengen gebildet. Daraufhin die Bildung einer Potenzmenge, die Prüfung einer Teilmengen-Relation und die Prüfung, ob ein Element sich in einer Menge befindet, gezeigt.

Die Syntax zur Erzeugung einer Menge unterscheidet sich bereits, allerdings sind alle Operatoren komplett identisch. Ein weiterer Unterschied der beiden Implementierungen ist die unterschiedliche Erstellung der Ausgabestrings. Dieser Unterschied ist jedoch irrelevant, da im Vordergrund steht, wie die Operatoren eingesetzt werden können.

## Matches

Die Implementierung der Match-Strukturen ist in dem lecture-Module unter dem Verzeichnis util in der Datei *match.py* als Klasse Match zu finden.

Der Parser erkennt gewisse Operatoren, Funktionen und Klammerungen. Die unterstützten Operatoren sind:

„+“, „-“, „\*“, „/“, „%“, „\*\*“, „&&“, „||“, „<“, „>“, „<=“, „>=“, „=>“, „<==>“, „==“, „!=“ und „!“.

Die unterstützten Funktionen sind:

„sin“, „log“, „exp“, „cos“, „tan“, „asin“, „acos“, „atan“, „sqrt“ und „ln“.

Es werden runde öffnende Klammern „(“ und runde schließende Klammern „)“ erkannt.

Die wichtigste Funktion für den Benutzer ist match(self, scheme, value). Da die Funktion auf einem erzeugten Match ausgeführt wird, sind nur die Variablen scheme und value für den Anwender interessant. Unter scheme wird der zu parsende Ausdruck gegeben und value enthält den Wert nach dem gematched werden soll. Wichtig hierbei ist, dass das Matching nur auf Strings basierend ausgeführt werden kann, während Matches in SetlX auch die Verwendung Literals und direkte Operationen auf den Ausgaben ermöglichen. Dieser Unterschied ist bei einem direkten Vergleich im Code sofort erkennbar. Im Nachfolgenden wird ein Match-Konstrukt, das mathematische Funktionen ableiten soll, in SetlX, mit der neuen Struktur, wie sie in Python entwickelt wurde, verglichen.

diff := procedure(t, x) {

match (t) {

case a + b :

return diff(a, x) + diff(b, x);

case a - b :

return diff(a, x) - diff(b, x);

case a \* b :

return diff(a, x) \* b + a \* diff(b, x);

...

Abbildung 4: Ausschnitt aus diff() (SetlX)

def diff(t,x):

match = Match()

if match.match('a+b', t):

return '{diff\_a} + {diff\_b}'.format(

diff\_a=diff(match.values['a'], x),

diff\_b=diff(match.values['b'], x))

elif match.match('a-b', t):

return '{diff\_a} - {diff\_b}'.format(

diff\_a=diff(match.values['a'], x),

diff\_b=diff(match.values['b'], x))

elif match.match('a\*b', t):

return '{diff\_a} \* {b} + {a} \* {diff\_b}'.format(

diff\_a=diff(match.values['a'], x),

b=match.values['b'], a=match.values['a'],

diff\_b=diff(match.values['b'], x))

...

Abbildung 5: Ausschnitt aus diff() (Python)

Was direkt auf den ersten Blick auffällt ist, dass der Code, der in SetlX sehr kompakt dargestellt wird, deutlich umfangreicher ist. Dementsprechend leidet auch die Leserlichkeit unter der Python-Version. Es ist nicht direkt klar, wie der Code zu lesen ist, da die Ausdrücke als Strings abgebildet sein müssen. Während in *Abbildung 4* im return die Ableitregeln, durch rekursive Aufrufe von diff(), zu den mathematischen Funktionen im jeweiligen case stehen, sind in *Abbildung 5* dieselben mathematischen Funktionen als Strings im match.match-Teil zu erkennen, allerdings ist nicht sofort ersichtlich was im return-Statement steht. Der String, der zurückgegeben wird enthält dieselben Ableitregeln wie sie im SetlX-Code zu sehen sind, allerdings werden die Variablen nicht direkt genannt, sondern durch Platzhalter dargestellt. In den Parametern der format-Funktion werden die Platzhalter gefüllt. Die Platzhalter mit dem Präfix „diff\_“ werden rekursiv Abgeleitet, wobei dem erneuten diff-Aufruf die Werte, die im Match für die jeweilige Variable hinterlegt sind und das „x“ weil nach x abgeleitet wird, übergeben werden. Wenn ein Platzhalter kein Präfix besitzt, so werden nur die Werte aus dem Match herausgelesen und eingesetzt und nicht zusätzlich evaluiert.

## Übersetzung komplexerer Programme

Es wurden zwar einige SetlX-Programme in Python-Skripte übersetzt, allerdings werden in dieser Arbeit hauptsächlich Programme, die die Eleganz der Programmiersprache SetlX verdeutlichen, genauer betrachtet.

Wie zuvor beschrieben, ermöglicht SetlX dem Programmierer in einem sehr mathematischen Stil zu programmieren. Somit können Personen, die ersten Berührungen mit der Mengenlehre oder von der Mathematik kommen, sowie Studenten, die mathematische Konstrukte verstehen und anwenden müssen, beim Programmieren diese Erfahrungen sammeln.

### Schiebepuzzle

Das Schiebepuzzle ist eine Aufgabe die den Studenten mit Lücken als Aufgabe gegeben wird, um Vorlesungsinhalte direkt anwenden zu können. Mit diesem Programm sollen die Studenten eine für Menschen nicht triviale Lösung zu einem Schiebepuzzle berechnen lassen. Aufgrund der Berechnung aller möglichen Pfade, das Puzzle zu lösen, lässt sich das Programm nicht so schnell wie die meisten anderen SetlX-Programme durchführen.

Sowohl das SetlX-Programm, wie auch die Übersetzung in Python definieren zu Beginn die Funktion, mit der aus einem State (einem derzeitigen Zustand des Puzzles, abgelegt in einer Liste) ein String erzeugt werden kann, um eine bessere Visualisierung zu ermöglichen. Bei der Übersetzung ist in dieser Methode nichts großartig Interessantes zu sehen, da in den meisten Zeilen fast eins-zu-eins dasselbe steht. Allerdings ist zu beachten, dass die for-Schleifen in SetlX über Listen von 1-3 iterieren, während in Python dafür eine Range mit den Werten 0-2 verwendet wird. Es wird allerdings die selbe Ausführung erreicht, da Listen-Indizes in SetlX bei 1 anfangen, während Python die 0 als Index verwendet, um das erste Element aufzurufen.

findPath := procedure(start, goal, nextStates) {

count := 1;

paths := { [start] };

states := { start };

explored := {};

while (states != explored) {

print("iteration number $count$");

count += 1;

explored := states;

paths := { l + [s]

: l in paths, s in nextStates(l[-1])

| !(s in states)

};

states += { p[-1] : p in paths };

print("number of states: $#states$");

if (goal in states) {

return arb({ l : l in paths | l[-1] == goal });

}

}

};

Abbildung 6: findPath im Schiebepuzzle (SetlX)

def find\_path(start, goal, next\_states):

count\_iteration = 1

count\_states = 0

paths = Set([start])

states = Set(start)

while len(states) != count\_states:

count\_states = len(states)

print('Iteration number %s' % count\_iteration)

count\_iteration += 1

paths = Set(x + [s]

for x in paths for s in next\_states(x[-1])

if not s in states)

states += Set(p[-1] for p in paths)

print('Number of states: %s' % len(states))

if goal in states:

return Set(l for l in paths if l[-1] == goal).arb()

Abbildung 7: find\_path im Schiebepuzzle (Python)

Die Funktion, mit der letztendlich auch der Pfad vom Start-Zustand zum Ziel-Zustand ermittelt wird, ist in Python die find\_path Methode. Die Parameter, die übergeben werden, sind identisch zu der SetlX-Implementierung. Die am Anfang der Funktion definierten Variablen weichen vom SetlX-Code um eine Variable ab. Die Variablen paths und states sind in beiden Versionen zu finden und der Integer count\_iteration ist in SetlX als count zu finden. Allerdings werden zur Prüfung ob neue Zustände hinzukommen unterschiedliche Ansätze verwendet. In der Python-Implementierung keine Menge mit allen entdeckten Zuständen, sondern die Prüfung der Anzahl der verschiedenen Zustände verwendet. Somit vergleicht die äußere while-Schleife zwei Integer, während die Vorlage zwei Mengen vergleicht. Abgesehen davon ist der Ablauf sehr ähnlich. Es wird die derzeitige Iteration angegeben, daraufhin die neuen Pfade anhand von next\_states ermittelt und dann alle derzeitigen Zustände der Pfade ermittelt und die Anzahl ausgegeben. Zuletzt wird noch im Falle, dass das Ziel bereits erreicht wurde, ein beliebiger Lösungspfad zurückgegeben.

nextStates := procedure(state) {

directions := { [1, 0], [-1, 0], [0, 1], [0, -1] };

[row, col] := findBlank(state);

return { moveDir(state, row, col, [dx, dy])

: move in directions

| row + dx in {1, 2, 3} && col + dy in {1, 2, 3}

};

};

Abbildung 8: nextStates im Schiebepuzzle (SetlX)

def next\_states(state):

directions = [(1, 0), (-1 ,0), (0, 1), (0, -1)]

(row, col) = find\_blank(state)

ns = [move\_dir(state, row, col, (dx, dy))

for (dx, dy) in directions

if 0 <= row + dx <= 2 and 0 <= col + dy <= 2]

return ns

Abbildung 9: next\_states im Schiebepuzzle (Python)

In find\_path muss, für die Ermittlung der möglichen Pfade, die Funktion next\_states aufgerufen werden. Diese gibt eine Liste zurück, die alle erreichbaren Zustände vom Zustand state, der als Parameter übergeben wird, enthält. In SetlX wird diese Liste als Menge zurückgegeben, allerdings werden Listen in diesem Fall bevorzugt, da sie in Python geläufiger verwendet werden und keine Mengeneigenschaften in dieser Situation benötigt werden. Die Richtungen werden allerdings nicht wie im SetlX-Programm als Menge von Listen, sondern als Liste von Tupeln definiert, da Tupel in Python, so wie Listen in SetlX, unzipped werden können. Eine Änderung, die an der Vorlage unternommen wurde ist, dass die Bewegung von einer Variable move auf zwei Variablen dx und dy aufgeteilt wurden.

moveDir := procedure(state, row, col, dir) {

[dx, dy] := dir;

nextState := state;

nextState[row ][col ] := state[row + dx][col + dy];

nextState[row + dx][col + dy] := 0;

return nextState;

};

Abbildung 10: movDir im Schiebepuzzle (SetlX)

def move\_dir(state, row, col, direction):

(dx, dy) = direction

next\_state = [list(x) for x in state]

next\_state[row][col] = next\_state[row + dx][col + dy]

next\_state[row + dx][col + dy] = 0

return next\_state

Abbildung 11: mov\_dir im Schiebepuzzle (Python)

Die Methode move\_dir erhält dieselben Parameter wie in der Vorlage und gibt den nächsten Zustand zurück, nachdem vom derzeitigen Zustand aus eine Bewegung in entweder die x- oder die y-Achse erfolgt. Einer der Unterschiede zur ursprünglichen Umsetzung ist hier, wie zuvor bereits erwähnt wurde, dass die Richtung als Tupel und nicht als Liste gewertet wird.

Ein erheblicher Unterschied zwischen den beiden Implementierungen ist das initiale Setzen der Variable next\_state. Während in SetlX der Parameter state dafür verwendet wird und eine einfache Zuweisung erfolgt, muss in Python die list() Funktion auf alle Listen in state verwendet werden. Grund dafür ist, dass ansonsten die Referenzen übergeben werden und somit dann die Werte von state ebenfalls geändert werden, wenn sie in next\_state bearbeitet werden. Durch die list()-Funktion wird eine Kopie erzeugt und somit sind next\_state und state zwei unabhängige Listen. SetlX erkennt an dieser Stelle intern, ob ein Objekt geändert wurde und erstellt eine Kopie falls nötig. Deshalb wird dieser Aufruf nur in der Python-Version benötigt.

findBlank := procedure(state) {

for (row in [1 .. 3]){

for (col in [1 .. 3]){

if (state[row][col] == 0){

return [row, col];

}

}

}

};

Abbildung 12: findBlank im Schiebepuzzle (SetlX)

def find\_blank(state):

for row in range(3):

for col in range(3):

if state[row][col] == 0:

return (row, col)

Abbildung 13: find\_blank im Schiebepuzzle

Damit in next\_states eine Zahl „bewegt“ werden kann, muss über find\_blank das freie Feld gefunden werden. In der Vorlage wird in findBlank eine Menge erzeugt, die alle Reihen-Zeilen-Kombinationen enthält und aus dieser einer der Werte, an denen der übergebene Zustand die 0 enthält, zurückgegeben. In dieser Arbeit wird nur ein Tupel mit einem Reihen- und einem Zeilenwert, an denen der Zustand die Null enthält zurückgegeben. Zu Vergleichszwecken ist die Funktion, so wie sie in Python geschrieben wurde, auch in SetlX implementiert. In SetlX merkt man keine Unterschiede in der Performance. Diese Methode zeigt wie ähnlich der Code in SetlX und Python sein kann.

Nachdem die Funktionen alle definiert sind ist der Ablauf komplett identisch zur Vorlage. Es wird die Zeitmessung begonnen, der Start- und End-Zustand definiert, daraufhin der Pfad ermittelt und die Zeitmessung beendet. Abschließend werden der Lösungspfad und die Zeitmessungsergebnisse ausgegeben.

Im Allgemeinen ist der Code in beiden Programmiersprachen sehr ähnlich und der Ablauf, so wie die Syntax, teilweise sogar identisch. Einige Ausdrücke sehen auf Grund der Programmiersprache unterschiedlich aus, erfüllen aber denselben Zweck. Bei der Zeitmessung beispielsweise wird in SetlX nur die Methode now() aufgerufen, während in Python timeit.default\_timer() aufgerufen wird und sogar ein Import dafür notwendig ist. Andere Abweichungen sind unterschiedliche Datentypen, die in Python gewählt wurden. Diese werden verwendet, um die Laufzeit etwas zu verbessern, weil die Implementierung, die für Mengen verwendet werden muss, nicht so effizient wie die SetlX-Implementierung ist. An einigen Stellen sind aber auch keine Mengen notwendig und werden deshalb durch Listen ersetzt.

Die genaue Zeit, wie lange das Programm für die Berechnung gebraucht hat, wird in der Kommandozeile ausgegeben. Somit wird den Studenten klar, dass selbst der Rechner diese Berechnungen nicht sofort liefern kann. Um einen Vergleich der Performance von SetlX zu Python zu haben, wird auch die Berechnungszeit der Python-Implementierung aufgeführt. Die Eigenschaften des Rechners, mit dem die Berechnungen durchgeführt wurden sind:

* Prozessor: Intel i7 6700hq 2,6-3,1 GHz
* Hauptspeicher: 8 GB DDR4

Das SetlX-Programm lief in 17,4 Sekunden, während das Python-Skript 46,6 Sekunden für die Berechnung benötigte. Auffällig ist, dass in SetlX die Ausführung über doppelt so schnell wie bei der Python-Implementierung ist. Grund hierfür ist, dass die virtuelle Maschine, in der Java ausgeführt wird, etwas effizienter als die virtuelle Maschine von Python ist. Da SetlX auf Java basiert, wird die Effizienz von Java zu Python verglichen. Außer dem Unterschied bei den virtuellen Maschinen, unterstützt die Programmiersprache Java zusätzlich eine statische Typisierung. Python hingegen unterstützt, wie es für Skriptsprachen üblich ist, eine dynamische Typisierung, die etwas ineffizienter ist. Eine statische Typisierung ist effizienter da der Rechenaufwand für eine Typüberprüfung wegfällt. Der allgemeine Leistungsunterschied der Sprachen ist unter <https://benchmarksgame.alioth.debian.org/u64q/python.html> zu sehen. Python schneidet in fast allen Tests deutlich schlechter ab als Java. Eine unterschiedliche Implementierung der für diese Arbeit entwickelten Mengen und der Mengen, die in SetlX verwendet werden, kann nicht die Ursache für diese Abweichungen in der Performanz sein. Die Sets des Python-Moduls „lecture“ wurden basierend auf die Implementierung, wie die in SetlX verwendet wird, umgesetzt.

### Watson

Oftmals werden Rechner für einfachere Rechenoperationen verwendet, für die ein Mensch bereits die Überlegungen zur Logik getätigt hat. Für die Entwickler wird es interessant, wenn der Rechner auch komplexe Zusammenhänge erkennen soll. Dieses Umfeld ist als künstliche Intelligenz bekannt und stellt neue Herausforderungen dar.

Die Aufgabe Watson soll anhand von gegebenen Tatsachen den oder die Täter aus drei Verdächtigen herausfinden.

evaluate := procedure(f, i) {

match (f) {

case true: return true;

case false: return false;

case ^variable(p): return i[p];

case !g: return !evaluate(g, i);

case g && h: return evaluate(g, i) && evaluate(h, i);

case g || h: return evaluate(g, i) || evaluate(h, i);

case g => h: return evaluate(g, i) => evaluate(h, i);

case g <==> h: return evaluate(g, i) == evaluate(h, i);

default: abort("syntax error in evaluate($f$, $i$)");

}

};

Abbildung 14: evaluate in Watson (SetlX)

def evaluate(f, i):

match = Match()

if match.is\_variable(f):

return i[f]

elif match.match('!g', f):

return not evaluate(match.values['g'], i)

elif match.match('g && h', f):

return evaluate(match.values['g'], i) and

evaluate(match.values['h'], i)

elif match.match('g || h', f):

return evaluate(match.values['g'], i) or

evaluate(match.values['h'], i)

elif match.match('g => h', f):

return not(evaluate(match.values['g'], i)) or

evaluate(match.values['h'], i)

elif match.match('g <==> h', f):

return evaluate(match.values['g'], i) ==

evaluate(match.values['h'], i)

else:

raise SyntaxError('Syntax error in evaluate(%s,%s)' %

(f, i))

Abbildung 15: evaluate in Watson (Python)

Die Methode evaluate wird bereits am Anfang des Programms definiert und gibt an, wie verschiedene Ausdrücke ausgewertet werden sollen. Es sind ein paar kleine Unterschiede in beiden Umsetzungen zu erkennen.

In der Python-Implementierung werden True und False nicht als Ausdrücke behandelt. Das liegt daran, dass die Schlüsselwörter „True“ und „False“ in der Match-Implementierung nicht eingetragen sind. Außerdem hat das Herauslassen dieser beiden Fälle keine Auswirkungen auf die Ausführung des Skripts.

Wenn der Ausdruck g => h gelesen wird, wird in SetlX die eingebaute Implikation aufgerufen. Da Python keinen Implikations-Operator besitzt, wird an dieser Stelle die Umschreibung für diesen Junktor verwendet. Die Implikation von g und h kann auch als geschrieben werden.

createValuation := procedure(m, v) {

return { [ x, x in m ] : x in v };

};

Abbildung 16: createValuation in Watson (SetlX)

def create\_valuation(m, v):

return [(x, x in m) for x in v]

Abbildung 17: create\_valuation in Watson (Python)

Die Methode createValuation gibt eine Menge mit Tupeln, die für jedes Element in v angeben, ob es sich auch in m befindet, zurück. In create\_valuation wird das gleiche Resultat geliefert, allerdings befinden sich die Tupel in einer Liste. Die Struktur wurde so gewählt, da zu einem späteren Verlauf aus einer solchen Menge/Liste der Wahrheitswert (x in m) durch das Aufrufen aus der Liste, anhand der Bezeichnung des Elements abgefragt wird. In Python ist das mit einem Dictionary möglich, jedoch unterstützt Python eine Sortierung von Dictionaries nicht, weshalb diese nicht in die Sets eingefügt werden können. Das heißt dass keine Dictionaries in Sets möglich sind. Die Struktur, Key-Value-Paare (zweistellige Tupel) in einer Liste zu hinterlegen, kann allerdings über den dict()-Befehl in ein Dictionary konvertiert werden. Somit wird die Liste zum Abspeichern in einem Set verwendet und sobald die Valuation wieder ausgelesen wird, wird diese als Dictionary weiterverwendet.

Nun werden die Tatsachen, die zu dem Mordfall bekannt sind, als Strings von Bedingungen eingelesen. In SetlX werden diese über den parse-Befehl in Variablen gelesen, während in Python die Strings direkt in die Variablen f1 bis f6 gespeichert werden.

fs := { f1, f2, f3, f4, f5, f6 };

v := { "a", "b", "c" };

p := 2 \*\* v;

print("p = ", p);

b := { createValuation(m, v) : m in p };

s := { i : i in b | forall (f in fs | evaluate(f, i)) };

print("Set of all valuations satisfying all facts: ", s);

if (#s == 1) {

i := arb(s);

offenders := { x : x in v | i[x] };

print("Set of offenders: ", offenders);

}

Abbildung 18: Lösung von Watson (SetlX)

fs = [f1, f2, f3, f4, f5, f6]

v = Set('a', 'b', 'c')

p = 2 \*\* v

print('p = ', p)

b = Set(create\_valuation(m, v) for m in p)

s = [dict(i) for i in b if all(evaluate(f, dict(i)) for f in fs)]

print('List of all valuations satisfying all facts: ', s)

if len(s) == 1:

i = s[0]

offenders = [x for x in v if i[x]]

print('List of offenders: ', offenders)

Abbildung 19: Lösung von Watson (Python)

Die Tatsachen werden alle in einer Liste/Menge gespeichert und die Täter, als Buchstaben „a“, „b“ und „c“, in einer Menge abgelegt. Daraufhin wird die Potenzmenge der Täter gebildet, in der alle möglichen Täter-Kombinationen enthalten sind und Wahrheitswerte den Variablen zugewiesen. Bei der Ermittlung, welche Täterkombinationen möglich sind, wird in SetlX die Funktion forall und in Python all verwendet. Beide Funktionen geben nur dann True zurück, wenn alle Elemente der angegebenen Liste/Menge ebenfalls den Wahrheitswert True besitzen. In Python werden die erzeugten Tupel in Dictionaries gespeichert, um den Aufruf für evaluate und die Ausgabe zu erleichtern. Zuletzt wird das Ergebnis noch ausgegeben.

### Wolf Ziege Kohl

Bei der Wolf-Ziege-Kohl-Aufgabe besteht die Herausforderung darin, dass ein Bauer einen Wolf, eine Ziege und einen Kohl von einer Seite eines Flusses auf die andere bringen möchte. Das Problem dabei ist, dass er nur ein Element auf einmal transportieren kann. Wenn er den Wolf mit der Ziege alleine lässt, so frisst der Wolf die Ziege und wenn er die Ziege mit dem Kohl alleine lässt so frisst die Ziege den Kohl. Diese Problemstellung sollen die Studenten anhand eines Programms lösen. Die Aufgabe wird auch als wolf-goat-cabbage (wgc) bezeichnet.

findPath := procedure(x, y, r) {

p := { [x] };

while (true) {

oldP := p;

p := p + pathProduct(p, r);

found := { l : l in p | l[-1] == y };

if (found != {}) {

return arb(found);

}

if (p == oldP) {

return;

}

}

};

Abbildung 20: findPath in wgc (SetlX)

def find\_path(x, y, r):

p = Set([x])

while True:

old\_p = p

p = p + path\_product(p, r)

found = Set(l for l in p if l[-1] == y)

if found:

return found.arb()

if p == old\_p:

return

Abbildung 21: find\_path in wgc (Python)

Die Funktion find\_path ermittelt, ob es einen Pfad vom Knoten x zum Knoten y innerhalb von r gibt und gibt diesen zurück, sofern er vorhanden ist. In der Variable p befinden sich alle möglichen Pfade, die gefunden werden. Pro Schleifendurchgang werden die nächst möglichen Pfadschritte berechnet und geprüft, ob die Lösung sich danach bereits in p befindet. Die erste Abbruchbedingung tritt ein, wenn die Lösung gefunden wurde. In dem Fall wird die Lösung zurückgegeben. Die zweite Abbruchbedingung ist, wenn bei der Ermittlung des nächsten Schritts keine neuen Pfade entdeckt wurden. In diesem Fall gibt die Methode keinen Wert zurück.

Die Abläufe und sind in beiden Programmiersprachen nahezu identisch. Die erste Abbruchbedingung wird syntaktisch anders formuliert. Während in SetlX geprüft wird, ob die Menge found nicht leer ist (Abbildung 20 Zeile 7), wird in Python geprüft ob found Elemente enthält (Abbildung 21 Zeile 7). Diese beiden Aussagen sind logischerweise dieselben.

pathProduct := procedure(p, q) {

return { add(x,y) : x in p, y in q |

x[-1] == y[1] && noCycle(x,y) };

};

Abbildung 22: pathProduct in wgc (SetlX)

def path\_product(p, q):

return Set(add(x, y) for x in p for y in q

if x[-1] == y[0] and no\_cycle(x, y))

Abbildung 23: path\_product in wgc (Python)

In path\_product werden die nächsten Schritte, die von p aus nach q erreichbar sind zurückgegeben.

Wie sich leicht erkennen lässt, sind diese beiden Implementierungen gleich. Das einzige, das zu beachten ist, ist, dass das erste Element einer Liste in SetlX den Index 1 besitzt, während es in Python unter dem Index 0 zu finden ist.

noCycle := procedure(l1, l2) {

return #({ x : x in l1 } \* { x : x in l2 }) == 1;

};

Abbildung 24: noCycle in wgc (SetlX)

def no\_cycle(l1, l2):

length = len(Set(x for x in l1) \* Set(x for x in l2))

return length == 1

Abbildung 25: no\_cycle in wgc (Python)

Die Funktion no\_cycle prüft, ob es zu Zyklen kommen kann, indem geprüft wird wie viele gleiche Elemente in l1 und l2 enthalten sind. Nur wenn es nur ein Element, das in beiden Listen enthalten ist, gibt, tritt kein Zyklus auf.

Hier fällt auf, dass es nur syntaktische Unterschiede zwischen den beiden Implementierungen gibt.

add := procedure(p, q) {

return p + [ q[2] ];

};

Abbildung 26: add in wgc (SetlX)

def add(p, q):

return p + [q[1]]

Abbildung 27: add in wgc (Python)

Die Rückgabe von add ist die Summe der Mengen p und q, wobei das erste Element von q das letzte von p sein muss.

An dieser Stelle muss wieder auf die unterschiedliche Indexierung der beiden Sprachen verwiesen werden. Beide Methoden greifen auf das zweite Element von q zu, benötigen aber dafür unterschiedliche Indizes.

Wgc ist in drei Bereiche aufgeteilt. Der erste Teil, der aus den eben beschriebenen Funktionen besteht, beinhaltet die Methoden, die zur Problemlösung benötigt werden. Der zweite Teil, der im Nachfolgenden beschrieben wird, beinhaltet den problemspezifischen Code. Der letzte Teil behandelt die visuelle Darstellung der Lösung. Auf diesen Teil wird nicht genauer eingegangen, da nur die Lösung von Problemen in der theoretischen Informatik im Vordergrund steht.

problem := procedure(s) {

return !("farmer" in s) &&

("goat" in s && "cabbage" in s ||

"wolf" in s && "goat" in s);

};

Abbildung 28: problem in wgc (SetlX)

def problem(s):

return not 'farmer' in s and \

(('goat' in s and 'cabbage' in s) or

('wolf' in s and 'goat' in s))

Abbildung 29: problem in wgc (Python)

Die Methode problem prüft, ob es bei dem Pfad s zu Problemen kommen kann. Mit Problemen sind die Restriktionen in der Aufgabenstellung, wie beispielsweise der Wolf und die Ziege dürfen nicht unbeaufsichtigt alleine sein, gemeint.

Hierzu ist nicht viel zu sagen, da beide Implementierungen bis auf die Syntax komplett gleich sind.

all := { "farmer", "wolf", "goat", "cabbage" };

p := { s : s in 2 \*\* all | !problem(s) && !problem(all - s) };

r1 := { [s, s - b]: s in p, b in 2 \*\* s

| s - b in p && "farmer" in b && #b <= 2

};

r2 := { [y, x] : [x, y] in r1 };

r := r1 + r2;

start := all;

goal := {};

path := findPath(start, goal, r);

Abbildung 30: Lösung des wgc-Problems (SetlX)

wgc\_all = Set('farmer', 'wolf', 'goat', 'cabbage')

p = Set(s for s in 2 \*\* wgc\_all if not problem(s)

and not problem(wgc\_all - s))

r1 = Set([s, s - b] for s in p for b in 2 \*\* s

if (s - b) in p and 'farmer' in b and

len(b) <= 2)

r2 = Set([y, x] for [x, y] in r1)

r = r1 + r2

start = wgc\_all

goal = Set()

path = find\_path(start, goal, r)

Abbildung 31: Lösung des wgc-Problems (Python)

Da nun alle benötigten Funktionen definiert sind, kann das Problem in Angriff genommen werden. Die Menge wgc\_all wurde anders benannt als in SetlX, da all() bereits eine eingebaute Funktion in Python ist. In der Menge befinden sich die Bezeichnungen der Elemente, die in der Problemstellung beschrieben wurden. In p werden daraufhin alle möglichen Kombinationen der Elemente in wgc\_all, die zu keinen Problemen führen, festgehalten. In r1 findet man alle Möglichkeiten, in denen der Bauer eine Situation in p mit einem weiteren Element oder alleine verlässt. Die Menge r wird aus einer Vereinigung von r1 und r2 (dem Inversen von r1) gebildet. Nun kann ein möglicher Lösungspfad mit find\_path() ermittelt werden, indem als Start wgc\_all, als Ziel eine leere Menge und als mögliche Pfade r übergeben werden.

Im Allgemeinen kann gesagt werden, dass dieses Programm mit Hilfe der Set-Implementierung sehr gut in Python nachkonstruiert werden konnte. Im Python-Skript sind nur wenige Abweichungen auffindbar.

### 8 Damen Problem

Das 8 Damen Problem beschäftigt sich mit der Frage, wie acht Damen auf ein Schachbrett gestellt werden können, ohne sich gegenseitig schlagen zu können. Als Hinführung zu diesem Problem wird den Studenten zuvor das Davis-Putnam-Verfahren vorgestellt. Nachdem das Davis-Putnam-Verfahren implementiert wurde, soll anhand dessen das 8 Damen Problem gelöst werden.

davisPutnam := procedure(clauses, literals) {

clauses := saturate(clauses);

if ({} in clauses) {

return { {} };

}

if (forall (c in clauses | #c == 1)) {

return clauses;

}

l := selectLiteral(clauses, literals);

notL := negateLiteral(l);

r := davisPutnam(clauses + {{l}}, literals + {l, notL});

if (r != { {} }) {

return r;

}

return davisPutnam(clauses + {{notL}}, literals + {l, notL});

};

Abbildung 32: davisPutnam in Davis Putnam (SetlX)

def davis\_putnam(clauses, literals):

s = saturate(clauses)

if Set() in s:

return Set(Set())

if all(len(c) == 1 for c in s):

return s

l = select\_literal(s, literals)

not\_l = negate\_literal(l)

r = davis\_putnam(s + Set(Set(l)), literals + Set(l, not\_l))

if r != Set(Set()):

return r

return davis\_putnam(s + Set(Set(not\_l)), literals +

Set(l, not\_l))

Abbildung 33: davis\_putnam in Davis Putnam (Python)

Zu Beginn der davis\_putnam-Funktion wird die saturate-Methode auf die Menge clauses ausgeführt. Das Ergebnis wird in die Variable s gespeichert, während in SetlX dafür die Variable clauses überschrieben wird. Daraufhin wird geprüft, ob die ermittelte Menge eine leere Menge enthält, da in diesem Fall das Ergebnis ein Falsum wäre. Dadurch würde eine leere Menge in einer leeren Menge zurückgegeben werden. Wenn in s nur Unit-Klauseln enthalten sind, so ist das Ergebnis auch bereits ermittelt und es wird s zurückgegeben. Auch wenn beide if-Abfragen leicht unterschiedlich aussehen führen sie jedoch die gleiche Abfrage aus. Danach wird ein beliebiges Literal aus s, das sich nicht in literals befindet gewählt und in einer weiteren Variable negiert. Nun folgt ein rekursiver Aufruf, bei dem s mit l addiert und literals mit sowohl l als auch not\_l addiert als Parameter übergeben werden. Wenn das Ergebnis keine Menge einer leeren Menge ist, wird es zurückgegeben. Anderen Falls wird das Ergebnis des rekursiven Aufrufs mit not\_l anstelle von l zurückgegeben.

Zwischen den beiden Implementierungen ist kein bedeutender Unterschied zu bemerken. Das Einzige, das bei der Übersetzung bedacht werden muss ist, dass Funktionen wie len oder all bzw. einzeilige for-Schleifen in beiden Sprachen unterschiedlich dargestellt werden.

saturate := procedure(s) {

units := { k : k in s | #k == 1 };

used := {};

while (units != {}) {

unit := arb(units);

used += { unit };

l := arb(unit);

s := reduce(s, l);

units := { k : k in s | #k == 1 } - used;

}

return s;

};

Abbildung 34: saturate in Davis Putnam (SetlX)

def saturate(s):

units = Set(k for k in s if len(k) == 1)

used = Set()

while len(units) != 0:

unit = units.arb()

used += Set(unit)

l = unit.arb()

s = \_reduce(s, l)

units = Set(k for k in s if len(k) == 1) - used

return s

Abbildung 35: saturate in Davis Putnam (Python)

In saturate werden alle Klauseln, die mit Unit-Schnitten aus s ableitbar sind zurückgegeben. Hierbei werden die Klauseln, auf denen ein Unit-Schnitt bereits durchgeführt wurde, aus s entfernt.

Hier ist auch wieder zu erkennen wie groß die Ähnlichkeit der beiden Implementierungen ist. Bis auf syntaktische Unterschiede, wie beispielsweise der Aufruf von arb in Zeile 5 beider Umsetzungen, gibt es keine Unterschiede. Die Methoden \_reduce, select\_literal, is\_positive und negate\_literal sind ebenfalls nahezu identisch. Die enthaltenen Unterschiede, wie die Match-Syntax, wurden bereits bei vorherigen Code-Schnipseln gezeigt und somit an dieser Stelle nicht wiederholt durchleuchtet. Die Methode \_reduce hat einen Unterstrich als erstes Zeichen, da es in Python bereits eine Funktion mit der Bezeichnung reduce gibt. Bei der Implementierung des Skriptes ist aufgefallen, dass der Algorithmus stark von der Sortierung der Mengen abhängt. Bei den SetlX Mengen liegt eine andere Sortierung vor als bei den Python Mengen, zufälligerweise war die Sortierung der SetlX besser auf den Algorithmus ausgelegt. Das führte dazu, dass die Berechnung der *queens.stlx* einige Sekunden in Anspruch nahm, während hingegen in Python eine halbe Stunde gewartet werden musste. Um die Sortierung der Python Mengen anzupassen wurden bei der Auswahl der Literale lediglich positive Literale zugelassen und der arb()-Befehl an den von SetlX angepasst, sodass in der saturate() Funktion nun nicht mehr ausschließlich das erste Element gewählt wurde. Dies führte, auch mit Python Mengen, innerhalb einiger Sekunden zu einem Ergebnis. Es wurde ebenfalls in SetlX der Einsatz von first() getestet, dieser ergab jedoch keine Nennenswerten Unterschiede in der Dauer der Berechnung, weshalb die Sortierung der Mengen selbst ausschlaggebend zu sein scheint. Eine grundsätzliche Verwendung von Random in der saturate() Funktion wurden ebenfalls in Erwägung gezogen, jedoch führte diese bereits in einigen Testfällen zu mehreren ausschlagenden Werten mit einer Verschlechterung um einen Faktor von Zehn. Somit ist für den weiteren Einsatz der Sets immer die Stabilität von Algorithmen zu beachten sowie eine Betrachtung der Sortierung nötig.

Da damit der Davis-Putnam-Algorithmus implementiert ist, kann dieser nun in Queens (8 Damen Problem) verwendet werden.

atMostOne := procedure(s) {

return { { !p, !q } : p in s, q in s | p != q };

};

Abbildung 36: atMostOne in Queens (SetlX)

def at\_most\_one(s):

return Set(Set("!" + p, "!" + q) for p in s for q in s

if p != q)

Abbildung 37: at\_most\_one in Queens (Python)

Bei der Betrachtung der at\_most\_one Methode fällt auf, dass in Python Strings verwendet werden, während in SetlX eine einfache Negierung stattfindet. Dies liegt daran, dass in SetlX für die Feldpositionen Variablen erzeugt werden, was jedoch in Python nicht möglich ist. Die Lösung mit den Strings erschwert zwar teilweise die Schreibweise, erfüllt jedoch denselben Zweck wie die Lösung in SetlX.

atMostOneInRow := procedure(row, n) {

return atMostOne({ Var(row, column) : column in [1 .. n] });

};

Abbildung 38: atMostOneInRow in Queens (SetlX)

def at\_most\_one\_in\_row(row, n):

return at\_most\_one(Set("varr%sc%s" % (str(row), str(column))

for column in range(n)))

Abbildung 39: at\_most\_one in Queens (Python)

In der Funktion at\_most\_one\_in\_row kann gesehen werden, wie die „Variablen“ in Python dargestellt werden. Das Präfix „var“ steht für Variable, nach dem „r“ kommt die Reihennummer (row) und nach dem „c“ die Zeilennummer (column). An dieser Stelle wird wieder, wie bereits zuvor, die automatische Generierung einer Liste in SetlX über den range-Befehl in Python gelöst.

Die Funktion one\_in\_column ist sehr ähnlich zu at\_most\_one\_in\_row und gleich aufgebaut. Deshalb wird die Methode an dieser Stelle nicht dargestellt. Anstatt die Rückgabe von at\_most\_one zurückzugeben, wird hier eine Menge zurückgegeben.

atMostOneInLowerDiagonal := procedure(k, n) {

s := { Var(r, c) : c in [1..n], r in [1..n] | r - c == k };

return atMostOne(s);

};

Abbildung 40: atMostOneInLowerDiagonal in Queens (SetlX)

def at\_most\_one\_in\_lower\_diagonal(k, n):

return at\_most\_one(

Set(

"varr%sc%s" % (str(row), str(column))

for row in range(n)

for column in range(n)

if (row+1) – (column+1) == k

)

)

Abbildung 41: at\_most\_one\_in\_lower\_diagonal in Queens (Python)

In at\_most\_one\_in\_lower\_diagonal lässt sich wieder erkennen, dass, bis auf die Eigenart des Strings als Variable, beide Implementierungen derselben Struktur folgen. Die Implementierungen sind sehr gut gegenüberstellbar.

In at\_most\_one\_in\_upper\_diagonal ist die Umsetzung analog zu der in at\_most\_one\_in\_lower\_diagonal.

allClauses := procedure(n) {

return +/ {atMostOneInRow(row, n) : row in {1..n}}

+ +/ {atMostOneInLowerDiagonal(k, n) : k in {-(n-2) .. n-2}}

+ +/ {atMostOneInUpperDiagonal(k, n) : k in {3 .. 2\*n - 1}}

+ +/ {oneInColumn(column, n) : column in {1 .. n}};

};

Abbildung 42: allClauses in Queens (SetlX)

def all\_clauses(n):

return Set(at\_most\_one\_in\_row(row, n)

for row in range(n)).sum() + \

Set(at\_most\_one\_in\_lower\_diagonal(k, n)

for k in range(-(n-2), n-2)).sum() + \

Set(at\_most\_one\_in\_upper\_diagonal(k, n)

for k in range(3, 2\*n - 1)).sum() + \

Set(one\_in\_column(column, n)

for column in range(n)).sum()

Abbildung 43: all\_clauses in Queens (Python)

Beide Ausführungen von all\_clauses weisen wieder große Ähnlichkeiten auf. Allerdings wird zur Ermittlung der Summe einer Menge in SetlX der Operator „+/“ verwendet, während in Python die Methode sum eingesetzt wird.

solve := procedure(n) {

clauses := allClauses(n);

print(clauses);

solution := davisPutnam(clauses, {});

if (solution != { {} }) {

printBoard(solution, n);

} else {

print("The problem is not solvable for $n$ queens!");

print("Try to increase the number of queens.");

}

};

Abbildung 44: solve in Queens (SetlX)

def solve(n):

clauses = all\_clauses(n)

print(clauses)

solution = davis\_putnam(clauses, Set())

if solution != Set(Set()):

print\_board(solution, n)

else:

print("The problem is not solvable for %s queens!"

% str(n))

print("Try to increase the number of queens.")

Abbildung 45: solve in Queens (Python)

Da nun alle benötigten Methoden definiert wurden, kann die Lösung ermittelt werden. Zuerst werden alle Klauseln mit dem all\_clauses-Befehl erstellt. Diese werden daraufhin ausgegeben und dann das Problem anhand von davis\_putnam gelöst. Zuletzt wird, sofern ein Ergebnis vorhanden ist, dieses Ausgegeben, oder eine Fehlermeldung ausgegeben.

Die Zeit für *queens.py* wird, wie beim Schiebepuzzle, gemessen. Die nachfolgenden Messwerte wurden mit demselben Rechner, wie er in *4.3.1* beschrieben wurde, ermittelt. Während das SetlX-Programm in ca. 500-600 Millisekunden durchläuft, werden beim Python-Skript Zeiten von 1,7-6 Sekunden gemessen. Prüfungen mit einem Profiler ergaben, dass vergleichbar viele Aufrufe von Methoden in beiden Sprachen getätigt werden. Hier scheint erneut die Java Virtual Machine, welche in SetlX genutzt wird, der Python Virtual Machine weit überlegen.

# Fazit

Prinzipiell kann gesagt werden, dass in den meisten Fällen die SetlX-Programme, mit Hilfe des lecture-Moduls, in Python ähnlich programmiert werden können. Die Syntax beider Sprachen unterscheidet sich stellenweise und manchmal muss ein Ausdruck nach einem anderen Schema aufgebaut werden. Jedoch bieten beide Sprachen für viele Aufgaben geeignete Methoden die eine einfache Problemlösung ermöglichen.

Eine Umstellung der Programmiersprache in der Vorlesung wäre durchaus möglich. Die Performance-Differenzen, die in zwei der umgesetzten Implementierungen aufgetreten sind, sind zwar ärgerlich, jedoch befinden sich die Laufzeiten noch in akzeptablen Bereichen. Der Wechsel der Programmiersprache würde einer der Intentionen von SetlX, den Studenten eine Sprache näherbringen, die eine sehr ähnliche Syntax wie die Sprachen Java und C besitzt, nicht mehr verfolgen. Allerdings wäre Python eine stärker verbreitete Programmiersprache und die Studenten würden somit auch die möglichen Unterschiede zwischen Programmiersprachen erkennen. Das wäre auch eine gute Vorbereitung auf die Praxis, da dort häufig eine Vielzahl an verschiedenen Programmiersprachen Einsatz findet. Ein weiteres Problem wäre, dass die sehr mathematische Notation von SetlX nicht mehr vorhanden wäre. In Python werden häufig Wörter als Operatoren anstatt mathematischen Operatoren verwendet. Im Gegenzug dazu könnten sich Anfänger, die noch nie Kontakt mit einer Programmiersprache den Code leichter lesen, da anfangs weniger mathematische Operatoren gelernt werden müssen um den Code verstehen zu können.

# Literaturverzeichnis

Guo, P. (2014, Juli 7). *Python is Now the Most Popular Introductory Teaching Language at Top U.S. Universities | blog@CACM | Communications of the ACM*. Retrieved from Communications of the ACM: http://cacm.acm.org/blogs/blog-cacm/176450-python-is-now-the-most-popular-introductory-teaching-language-at-top-us-universities/fulltext

Stroetmann, K., & Herrmann, T. (2015, Juli 30). SetlX - A Tutorial. Mannheim, Stuttgart, Baden-Württemberg, Deutschland.

1. <http://www.tiobe.com/tiobe_index> [↑](#footnote-ref-2)
2. <http://www.codingdojo.com/blog/9-most-in-demand-programming-languages-of-2016/> [↑](#footnote-ref-3)
3. Stand 09.05.2016 [↑](#footnote-ref-4)