Sudoku

Schwierigkeitseinstufung und Generator

Projektarbeit IP-5



Studiengang Informatik

Betreuer: Manfred Vogel, Lucas Brönnimann

Auftraggeber: Rätsel Agentur AG

Verfasser: Matthias Keller, Simon Beck

Brugg, 20.01.2017

# Abstract

Notwendig.

Die Zusammenfassung richtet sich an Interessierte, die sich einen raschen Überblick über den Inhalt eines Berichts

verschaffen wollen. Die Zusammenfassung soll dazu die folgenden drei Aspekte beleuchten:

 Problemstellung

 Vorgehen (gemeint ist ein knapper Hinweis auf die Art der Problembearbeitung, Methodik1)

 Hauptergebnisse (sollen ca. zwei Drittel der Zusammenfassung ausmachen)

Statt einer Zusammenfassung oder zusätzlich dazu kann ein Abstract gefordert sein (vor allem bei

wissenschaftlichen Fachartikeln anzutreffen). Ein Abstract umfasst ca. 10 Zeilen mit wenigen searchable keywords

(das sind Stichwörter/Schlagwörter in englischer Sprache), es enthält aber keine Resultate.

Zusätzlich zu einer Zusammenfassung enthält ein Technischer Bericht ein Management oder Executive

Summary. Ein Management Summary richtet sich in der Regel an Mitglieder des Managements, an Personen

also, die Entscheidungen treffen. Es informiert sachlich, kompakt und präzise (eine bis höchsten zwei A4-

Seiten), aber lesefreundlich über:

1 Zum Beispiel: Literaturrecherche, Analyse, Befragung, Konstruktion, Test, Messungen, Experimente etc.

Leitfaden Berichte 160107 6

 Ausgangslage: Es werden Thema, Auftraggeber und Problemstellung skizziert und die daraus

erwachsenden Aufgaben und zu erreichenden Ziele

 Vorgehen: Darlegen der Vorgehensweise, der eingesetzten Methoden zur Problemlösung, so dass

nachvollziehbar wird, wie die Ergebnisse erreicht wurden

 Hauptergebnisse: Sie bilden den zentralen Teil. Die konkreten (auch unerwarteten) Resultate des

Projektes sind konkret zu nennen und einzuordnen. Welche Resultate sind warum positiv, welche

warum negativ?

 Ausblick: Er werden Empfehlungen abgegeben und mögliche nächste Schritte skizziert: In

welcher Weise kann der Auftraggeber die Ergebnisse und Lösungsvorschläge verwenden? Welche

alternativen Entscheide sind möglich? Welche Probleme bleiben? Welche Risiken bestehen? Wie

geht es weiter?

Zusammenfassung der Arbeit auf einer halben bis max. einer ganzen Seite:

1. Was wurde erreicht?

2. Welche weiteren Informationen findet ein Leser/eine Leserin im

Dokument?

Betrachten Sie das Abstract als eigenständigen Werbetext, der auf einer

Webseite steht. Anhand dieses Textes sollen interessierte Personen motiviert

werden, ihren ganzen Text zu lesen.

Das Abstract wird erst am Schluss geschrieben. Es ist aber enorm wichtig für den

ersten Eindruck.

# Vorwort

Fakultativ.

Im Gegensatz zur Einleitung ist das Vorwort kein eigentlicher Bestandteil des Textes. Es nimmt alles auf, was

nicht zwingend in die Untersuchung gehört: Erläuterungen zur Entstehung des Berichts, Danksagung für geistige

und materielle Förderung etc. Als persönlicher Teil eines Berichtes wird es oft persönlich signiert und datiert.

# Inhaltsverzeichnis

[1 Abstract 2](#_Toc472621724)

[2 Vorwort 3](#_Toc472621725)

[3 Inhaltsverzeichnis 4](#_Toc472621726)

[4 Einleitung 6](#_Toc472621727)

[5 Konzepte 7](#_Toc472621728)

[5.1 Anwendungsdomäne/Umfeld 9](#_Toc472621729)

[5.1.1 Herkunft 9](#_Toc472621730)

[5.1.2 Aufbau und Regeln 10](#_Toc472621731)

[5.2 Solving 10](#_Toc472621732)

[5.2.1 Lösungsmethoden die Werte setzen 11](#_Toc472621733)

[5.2.2 Lösungsmethoden die Pencilmarks verringern 12](#_Toc472621734)

[5.3 Schwierigkeitseinstufung 13](#_Toc472621735)

[5.3.1 Modell 14](#_Toc472621736)

[5.4 Generierung 15](#_Toc472621737)

[6 Technische Umsetzung 15](#_Toc472621738)

[6.1 Technologien 15](#_Toc472621739)

[6.2 Abbildung des Sudoku-Spielfelds 16](#_Toc472621740)

[6.3 Datensätze 16](#_Toc472621741)

[6.4 Lösungsmethoden 18](#_Toc472621742)

[6.5 Schwierigkeitseinstufung 18](#_Toc472621743)

[6.5.1 Ausarbeiten der Features 18](#_Toc472621744)

[6.5.2 Verwendetes Netzwerk 19](#_Toc472621745)

[6.6 Generierung 19](#_Toc472621746)

[7 Resultate 19](#_Toc472621747)

[7.1 Lösungsmethoden 19](#_Toc472621748)

[7.2 Schwierigkeitseinstufung 19](#_Toc472621749)

[7.3 Generierung 21](#_Toc472621750)

[8 Schluss 21](#_Toc472621751)

[9 Literaturverzeichnis 22](#_Toc472621752)

[10 Anhang 23](#_Toc472621753)

[11 Ehrlichkeitserklärung 24](#_Toc472621754)

# Einleitung

Notwendig.

Die Einleitung schildert die Ausgangslage einer wissenschaftlichen Arbeit oder eines technischen Berichts. Sie

führt zu einer Ausgangsthese oder einer Problemstellung hin. Es ist zu klären, ob die Aufgabenstellung integral

im Original in der Einleitung erscheinen oder im Anhang aufgeführt werden soll, letzteres scheint uns geeigneter.

Zwingend ist die Auftragsanalyse (Systemabgrenzung, Definition von Schlüsselbegriffen, vorhersehbare Schwierigkeiten

u. a.), ferner sind das Lasten- und Pflichtenheft zu reflektieren (auch diese gehören in den Anhang)

sowie – wenn textsortenspezifisch erfordert – eine Projektvereinbarung oder ein Projektauftrag (ebenfalls im Anhang).

Die Einleitung erläutert und begründet die gewählte Methodik sowie Quellenlage und Forschungsstand. Sie bildet

damit einen wesentlichen Teil der eigentlichen Untersuchung. Eine Konzepterläuterung (wie ist der Hauptteil

aufgebaut?) leitet zum Hauptteil über.

Detailliertere Zusammenfassung der Arbeit (ca. 2-4 Seiten):

**Beschreiben Sie was Sie erreicht haben.**

Der Weg wie Sie dazu gekommen sind interessiert im Normalfall

niemanden (wenn Sie eine Pizza essen interessiert es Sie auch nicht, dass

der Koch morgens um 5 keinen Thunfisch auf dem Markt fand).

Teil 1: **Was** wurde erreicht?

Was macht Ihre Applikation/Ihr Algorithmus?

Welches generische Problem löst Ihre Applikation/Ihr Algorithmus?

Bei Forschungsfragen: was ist die Frage? Welches sind Ihre Erkenntnisse?

Oft hilfreich ist eine Grafik.

Zeigen Sie bereits hier einen Screenshot der finalen Lösung.

Teil 2: **Warum** wurde es gemacht?

Was ist die Problemstellung? Kurz und in eigenen Worten. Keine

Repetition der Original-Aufgabenstellung.

Welches Bedürfnis wird befriedigt?

Evtl.: was ist das Umfeld?

Teil 3. **Wie** wurde es gemacht?

Wie wurde das Problem gelöst?

z.B. Grobe Systemarchitektur,

Teil 4. **Leserführung**:

Wie ist der Rest des Dokumentes aufgebaut?

Was

Einlesen, schwierigkeiten kategorisieren, sudokus generieren

Wie

1. //parsing -> lösen -> schwierigkeit lernen.
2. Generierung aus 17er -> schwierigkeit einstufen -> verwefen/behalten.

Aufgabenstellung einbinden

# Konzepte

Notwendig.

Jeder wissenschaftliche Text oder technische Bericht muss eine sinnvolle innere Gliederung aufweisen. Eine

entsprechende Ordnung in einen Stoff zu bringen gehört zu den Herausforderungen, vor denen Schreibende

und Dokumentierende immer wieder von neuem stehen. Jeder Stoff erfordert eine spezifische Ordnung oder

Struktur. Auf keinen Fall soll der Hauptteil erzählende Teile enthalten, also keine Vorgänge schildern, sondern

Ergebnisse beschreibend und objektiv festhalten. Das können zum Beispiel Rechercheergebnisse, Analyseergebnisse,

Konzeptergebnisse, Umsetzungsergebnisse, Test- oder Messergebnisse sein. Der Hauptteil soll ausserdem

leicht nachvollziehbar, transparent und ausgewogen gegliedert sein, das gilt insbesondere für den Aufbau von

Experimenten, für die gewählten Konzepte und methodischen Lösungswege. Die gewonnenen Resultate

müssen diskutiert, d. h. kommentiert und interpretiert werden.

Auf zu viele Gliederungsebenen ist zu verzichten. Ein Unterkapitel soll mindestens einen Abschnitt enthalten.

Hauptkapitel beginnen auf einer neuen Seite.

**Theoretischer Teil**

Mögliche Kapitel (nicht vollständig). Dies sieht je nach Text anders aus:

Beschreibung des Umfelds, bzw. der Anwendungsdomäne

Stand der Forschung/“state of the art“ (Ansätze, Theorien, Modelle)

Literaturstudien

Beschreibung der verwendeten Methoden

Vergleichbare Arbeiten

Feldstudien, Umfragen

Folgende Fragen können hilfreich sein:

Welche ähnlichen Probleme gibt es?

Wie lösen andere das Problem?  
Was ist die Anwendungsdomäne? Beschreiben Sie diese so, dass

Aussenstehende sie auch verstehen.

Nach welchen Methoden sind sie vorgegangen beim Lösen des Problems?

**Praktischer Teil**

Je nach Aufgabenstellung sieht dieser Teil sehr verschieden aus. Hier einige

Fragen:

Wie ist Ihre Lösung aufgebaut (Architektur)?

Gibt es Teile die speziell sind und genau dokumentiert werden müssen

(z.B. UML-Diagramme)?

Performancemessungen, falls vorhanden.

Wie ist die Skalierbarkeit der Lösung?

Haben Sie Daten erfasst? Wie sehen diese im Detail aus?

Welche Punkte müssen bei einer allfälligen Erweiterung berücksichtigt

werden?

Wie sind Sie bei der Lösung vorgegangen (falls das überhaupt von

Interesse ist, z.B. im Interface-Design)?

Welche Alternativen haben Sie geprüft? Weshalb haben Sie sich für die

aktuelle Lösung entschieden?

Benutzerhandbuch, falls notwendig (aber besser im Anhang).

Skalierbarkeit

Idee -> Umsetzung

Erweiterbarkeit/Verbesserungsvorschläge/Änderungsvorschläge-ansätze

## Anwendungsdomäne/Umfeld

### Herkunft

<https://www.theguardian.com/media/2005/may/15/pressandpublishing.usnews>

<http://www.sudokudragon.com/sudokuhistory.htm>

Sudoku ist ein weltweit sehr beliebtes Zahlenrätsel. Da zur Lösung nur Logik und keine komplexen arithmetischen Berechnungen nötig sind, ist es für jeden verständlich.

In seiner Grundform basiert es auf den lateinischen Quadraten des Schweizer Mathematikers Leonhard Euler. Das Heute als Sudoku bekannte Rätsel wurde Ende der 1970er Jahre im New Yorker «Dell Puzzle Magazine» unter dem Namen «Number Place» veröffentlicht. Das Rätsel verbreitete sich ins rätselbegeisterte Japan und wurde dort mit dem Namen «Sudoku» versehen, wobei «Su» Nummer und «Doku» einzeln bedeuten.

Nach mehreren Jahren hoher Popularität im Land der aufgehenden Sonne verbreiteten sich Sudokus mit der Zeit in der ganzen Welt.

Seit 2006 werden jährlich Sudoku-Weltmeisterschaften abgehalten, wobei im Jahr 2016 213 Rätsel-Liebhaber aus 33 verschiedenen Ländern teilgenommen haben.

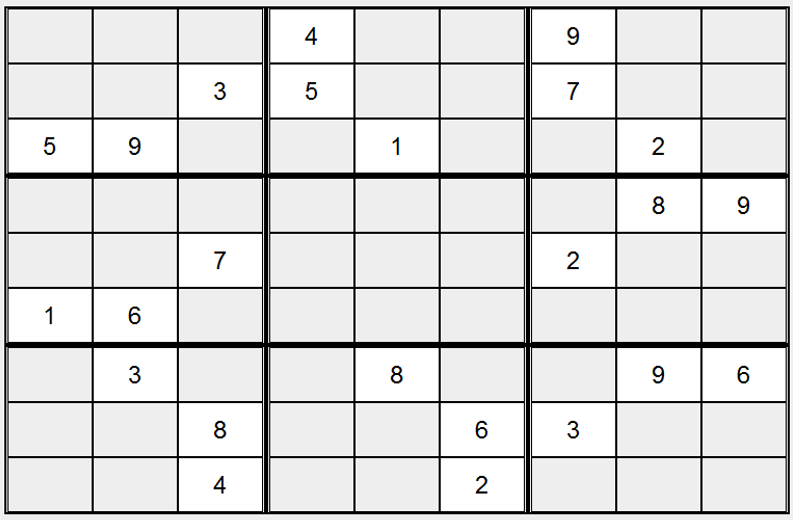
Unser Projekt wird als Informatikprojekt 5 an der Fachhochschule Nordwestschweiz durchgeführt. Das Projekt befindet sich im Kontext eines KTI Projektes des Institutes für 4D Technologien. Das Gesamtprojekt hat ein Webportal zum Ziel, mit welchem sich verschiedene Rätselarten generieren lassen. Ein anderes Studentenprojekt hat sich mit weiteren Logikrätseln befasst.

Der Kunde des Projektes ist die Rätsel Agentur AG, welche Rätsel für viele verschiedene Print- und Onlinemedien vertreibt. Unter ihren Kunden befinden sich «20 Minuten» und der «Blick am Abend».

Bisher hat die Rätsel Agentur AG ihre Rätsel von externen Anbietern eingekauft.

Das Ziel unseres Projektes ist es, einen Generator hervorzubringen, welcher verschiedene Sudokus in gewünschten Schwierigkeitsstufen generiert. Um dieses Ziel zu erreichen, haben wir als ersten Schritt menschliche Lösungsmethoden für Sudokus in ein Lösungsprogramm implementiert.

### Aufbau und Regeln



Spalte

Zeile

Box

Am weitesten verbreitet sind Sudokus, welche aus einem 9x9 Gitter bestehen. Dieses ist zu Beginn mit einigen Ziffern von 1 bis 9 gefüllt.

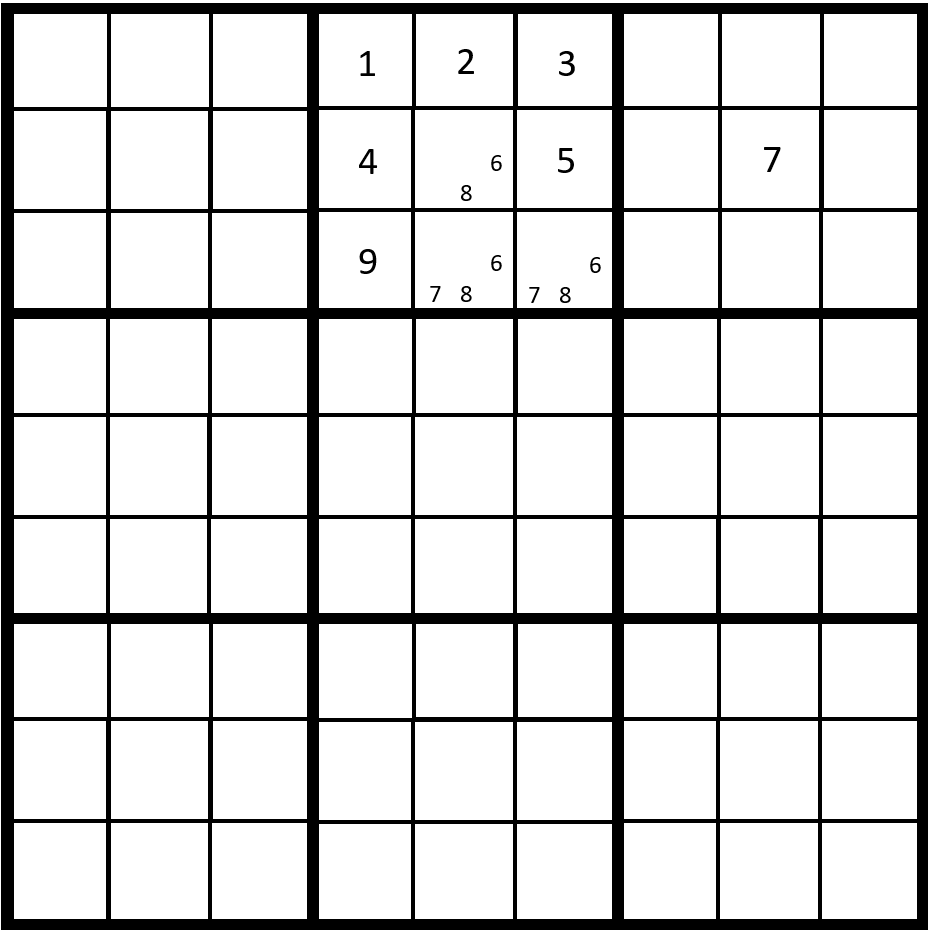
Ziel des Rätsels ist es, das gesamte Gitter mit Ziffern zu füllen, wobei nur eine einzige einfache Regel beachtet werden muss.

In jeder Zeile, Spalte und jeder Box (3x3 Untergitter) muss jede Ziffer von 1 bis 9 genau ein einziges Mal vorkommen.

## Lösen von Sudokus

Zur Lösung von Sudokus haben sich diverse Lösungsmethoden etabliert. Diese Lösungsmethoden sind sogenannte menschliche Lösungsmethoden. Der Begriff menschliche Lösungsmethoden wurde so gewählt, weil diese Techniken von Menschen, welche Sudokus lösen, benutzt werden.

Zum Lösen von Sudokus werden häufig Markierungen (engl. Pencilmarks) verwendet. Pencilmarks sind kleine Notationen pro Zelle, welche die noch möglichen Zahlen für diese Zelle repräsentieren. **Abb.1**



Pencilmarks werden durch das Anwenden diverser Lösungsmethoden immer weiter verringert, bis nur noch eine Markierung in einer Zelle vorhanden ist. Ist dies der Fall, kann der Zelle der Wert der übriggebliebenen Pencilmark zugewiesen werden, da diese Zahl die einzige ist, die in dieser Zelle noch möglich ist.

Lösungsmethoden können in zwei Kategorien unterteilt werden, Techniken die den Zellen einen Wert zuweisen und solche die die Pencilmarks diverser Zellen verringern. Die meisten Menschen wissen nicht, dass ihr Vorgehen beim Lösen eines Sudokus in spezielle Methoden eingeteilt werden kann. Folgend werden jene Lösungsmethoden beschrieben, welche wir in unserer Arbeit verwendet haben.

### Lösungsmethoden welche Werte setzen

#### Naked Single

Ein Naked Single ist eine Zelle die nur noch eine einzige Pencilmark hat und somit der Wert der Zelle auf den der Pencilmark gesetzt werden kann.

Bild

#### Hidden Single

Ein Hidden Single entsteht, falls in einem Container, d.h. in einer Zeile, Spalte oder einer Box ein Wert nur noch in einer einzigen Zelle möglich ist. In diesem Fall kann die Zelle mit jenem Wert ergänzt werden, unabhängig davon wie viele Pencilmarks die Zelle noch hatte.

Bild

### Lösungsmethoden welche Pencilmarks verringern

#### Naked Subset

Ein Naked Subset beschreibt den Fall, wenn innerhalb einer Zeile, Spalte oder Box eine Anzahl von Werten nur in derselben Anzahl von Zellen gesetzt werden können und in diesen Zellen sonst keine Zahlen vorkommen können. Dies hat zur Folge, dass jene Werte in diesen Zellen vorkommen müssen und in allen anderen Zellen der Zeile, Spalte oder Box, jene Zahlen nicht erscheinen dürfen. Folglich können in den restlichen Zellen die Pencilmarks für diese Werte entfernt werden.

Bild

#### Hidden Subset

Ein Hidden Subset liegt vor, falls innerhalb einer Zeile, Spalte oder Box eine Anzahl von Werten nur in genau derselben Anzahl Zellen vorkommen können. Daraus folgt, dass in diesen Zellen zwingend einer Werte gesetzt werden muss, da diese Werte nirgends sonst im jeweiligen Container vorhanden sein können. Somit können für die betroffenen Zellen alle Pencilmarks, die nicht zum gefunden Subset an Werten gehören, entfernt werden.

Bild

#### Block-Line Interactions

Block-Line Interactions, auch «Locked Candidates» genannt, ist eine Technik bei der die Auswirkungen einer Box auf eine Zeile oder Spalte betrachtet werden. Kommen in einer Box alle Pencilmarks für einen Wert auf derselben Zeile oder Spalten vor, so muss dieser Wert in einer diesen Zellen vorkommen und deckt somit den Platz für diesen Wert in der Zeile oder Spalte ab. Deshalb können in allen anderen Zellen der Zeile oder Spalte (die nicht mit der Box überlappen) die Pencilmarks für diesen Wert entfernt werden.

Bild

#### X-Wing

asdf

## Schwierigkeitseinstufung

Die Rätsel Agentur AG hat ihre Sudokus in sieben verschiedene Schwierigkeitsklassen unterteilt. Die Schwierigkeitsstufen lauten folgendermassen:

* Very Easy
* Easy
* Medium
* Hard
* Very Hard
* Very Hard Expert
* Evil/Exotic

Die letzte Schwierigkeitsstufe wird nicht aktiv produziert und muss von uns auch nicht mit dem Generator erreicht werden.

Wir haben diese Schwierigkeitsstufen übernommen und teilen schlussendlich unsere generierten Sudokus in diese Stufen ein.

Um Sudokus in eine Schwierigkeitsklasse einzustufen haben wir Machine Learning verwendet. Mithilfe eines neuralen Netzwerkes beurteilen wir anhand gewissen Eigenschaften, welcher Schwierigkeitsstufe ein gegebenes Sudoku entspricht.

Zu Beginn findet eine Anlernphase statt, in welcher dem neuralen Netzwerk einige Sudokus gezeigt werden, welche bereits in eine Schwierigkeitsklasse eingestuft wurden. Anhand dieser Daten lernt das Netzwerk, was ein Sudoku einer gewissen Schwierigkeit ausmacht.

Als nächstes wird mit weiteren bereits eingestuften Sudokus getestet, wie genau das Netzwerk neue Sudokus in die verschiedenen Schwierigkeitsstufen einteilt.

Sind nach der Testphase die gewünschten Werte erreicht, kann das Netzwerk zur Einstufung neuer Sudokus verwendet werden.

### Modell

Das neurale Netzwerk beurteilt die Sudokus anhand mehrerer Features.

Da nur die Methoden Naked und Hidden Single Zahlen in das Feld einsetzen, werden diese nicht als absolute Werte verwendet. Die Anzahl der jeweils verwendeten Methoden wird mit den noch fehlenden Zahlen ins Verhältnis gesetzt.

Wir beachten nur die Naked und Hidden Subsets, welche eine Grösse von zwei, drei oder vier haben, da ein menschlicher Löser grössere Subsets nur extrem schwer finden kann.

Ebenfalls wird die Anzahl der Verwendungen der anderen beiden Lösungsmethoden Block Line Interactions und X-Wing als Feature im Modell verwendet.

Neben den Lösungsmethoden haben wir weitere Features gewählt, welche auf die Einstufung einen Einfluss haben. Hierzu gehört die Anzahl der vorgegebenen Zahlen, sowie die Anzahl der möglichen Startpositionen, an welcher mittels der Naked oder Hidden Single Methoden als erstes eine Zahl gesetzt werden kann. Für jede der verschiedenen Ziffern wird die Anzahl möglicher Startpunkte als einzelnes Feature verwendet. Als weiteres Feature wird die gesamte Anzahl der Pencilmarks im Sudoku ins Modell hinzugenommen. Die Markierungen zeigen für jede Zelle, welche Ziffern noch nicht ausgeschlossen wurden. Als letztes kommt hinzu, ob das Sudoku mit unseren Lösungsmethoden lösbar war (1) oder ob es mit Backtracking gelöst werden musste (0).

Diese von uns gewählten Features führen zu folgendem Modell:

* Anz. Naked Singles / Anz. fehlende Ziffern
* Anz. Hidden Singles / Anz. fehlende Ziffern
* Anz. Naked Subsets der Grösse zwei bis vier
* Anz. Hidden Subsets der Grösse zwei bis vier
* Anz. Block Line Interactions
* Anz. X-Wing
* Anz. gegebener Ziffern
* Anz. möglicher Startpositionen für jede Ziffer
* Anz. Pencilmarks
* Lösbar mit Lösungsmethoden

## Generierung

Korpus 17er Sudokus

Symmetrien

Lösungen verändern (Spalten/Zeilen/Drehungen)

# Technische Umsetzung

## Technologien

Für die Realisierung unseres Projekts haben wir die Programmiersprache Java gewählt. Das Gesamtprojekt des Institutes für 4D Technologien baut auf der Java Virtual Machine auf und es wurde uns nahegelegt, eine Programmiersprache zu wählen, welche auch auf der JVM zu Hause ist. Wir haben schon viel mit Java gearbeitet und haben so die Einarbeitungszeit in die Grundfeatures der Sprache auslassen können.

Ein weiterer Punkt, welcher für die Wahl von Java spricht sind die vielen Ressourcen, welche im Netz erhältlich sind. Ebenfalls gibt es eine grosse Anzahl an Frameworks, welche Open Source verfügbar sind.

Zur Verwaltung und Versionierung unseres Quellcodes verwenden wir Git.

Das neurale Netzwerk wurde in Matlab traininert und getestet. Für die Umsetzung des Netzwerkes in Java haben wir das Framework Neuroph verwendet.

## Abbildung des Sudoku-Spielfelds

Einfacher String,

Mögliche erweiterung/problematik unseres Formats (Speicherung als einfacher string, keine möglichkeit zu mehr als 10 ziffern, keine unterscheidung zwischen Sudoku und Sudokulösung, kein Index in file usw) Evtl diesen Teil in Resultate auslagern

Board/Row/Column/Box/Cell

Um unser Spielfeld persistent abzulegen, schreiben wir es in ein String, welcher in eine «.sudoku» Datei abgelegt wird.

Der Feldstring ist folgendermassen aufgebaut:

[Feldhöhe] [Feldbreite] [Boxhöhe] [Boxbreite] [Alle Positionen] {Schwierigkeitsstufe}

Die Schwierigkeitsstufe ist nur im String enthalten, wenn diese bereits ermittelt wurde.



Abb. : Speicherformat der Sudokus

Updater

## Datensätze

Zum Anlernen des neuralen Netzwerkes haben wir zwei Datenpakete erhalten. Das erste Paket besteht aus Sudokus, welche die Rätsel Agentur AG eingekauft hat, das zweite Paket stammt aus Eigenproduktion. Die erhaltenen Sudokus sind in unterschiedlichen Formaten (siehe Abb. 2 und 3 abgespeichert. Wir haben die Sudokus mittels eines Parsers in unser eigenes «.sudoku» Datenformat (siehe Abb. 1) umgewandelt und so zur weiteren Verwendung abgespeichert.



Abb. : Format des ersten Datenpaketes



Abb. : Format des zweiten Datenpaketes

### Datenaufbereitung für Statistik

Um Statistiken für die Analyse und Klassifizierung zu erstellen, gehen wir folgendermassen vor. Wir lesen die gewünschten Sudokus in unser Programm ein. Danach wird jedes Sudoku gelöst, wobei die verwendeten Lösungsmethoden für jedes Sudoku gespeichert werden. Ebenfalls werden die anderen benötigten Daten wie die Anzahl der gegebenen Ziffern, die Anzahl der möglichen Startpositionen und die Anzahl der Pencilmarks aus dem Sudoku ausgelesen.

Die Daten aller Sudokus werden danach Komma-getrennt in die gewünschte Datei geschrieben.

### Datenanalyse

Vergleicht man die beiden Pakete, fallen einige gröbere Unterschiede auf.

Der erste Datensatz enthält keine Sudokus der Stufe very hard und der zweite Datensatz keine Sudokus der Stufe evil/exotic. Ebenfalls fällt auf, dass im zweiten Datensatz bereits ab der Schwierigkeitsstufe easy gewisse Sudokus nicht mehr mit unseren Lösungsmethoden gelöst werden können und auf Backtracking zurückgegriffen werden müssen. Die Abbildungen 4 und 5 zeigen dies anschaulich auf.



Abb. : Datenpaket 1, prozentuale Anzahl gelöster Sudokus



Abb. : Datenpaket 2, prozentuale Anzahl gelöster Sudokus

Weiterhin sieht man auf Abbildung 6 gut, dass die durchschnittliche Anzahl der vorgegebenen Ziffern im ersten Datenpaket von very easy bis hard abfällt. Im zweiten Datenpaket (Abb. 7) sieht man jedoch gar keine solche Veränderungen.



Abb. : Datenpaket 1, durchschnittliche Anzahl vorgegebener Ziffern



Abb. : Datenpaket 2, durchschnittliche Anzahl vorgegebener Ziffern

Aufgrund dieser Ungereimtheiten, welche auch beim trainieren des Netzwerkes zu Schwierigkeiten führten, haben wir uns entschieden, nur mit dem ersten Datenpakt zu arbeiten.

Diese Entscheidung hat jedoch zur Folge, dass keine Sudokus der Schwierigkeitsstufe very hard generiert werden, weil das erste Datenpaket keine solchen enthält.

## Lösungsmethoden

Erklären mithilfe Board/Row/Column

## Schwierigkeitseinstufung

### Matlab

Die Daten, welche Matlab verwenden soll, müssen aus der generierten Statistik-Datei importiert werden. Weiterhin führen wir vor der Verwendung der Daten ein Preprocessing durch. Die absolute Anzahl von Naked und Hidden Singles wird mit der Anzahl auszufüllenden Felder ins Verhältnis gesetzt. Ebenfalls werden alle Features mittels Logarithmus auf ein ähnliches Level angepasst. Wir haben uns für die Anpassung der Daten mittels Logarithmus entschieden, damit wir auch ein einzelnes Sudoku unabhängig beurteilen können. Die Datensätze wurden für das Training sowie für die Tests nicht weiter normalisiert.

Die Funktion zur Klassifizierung der Sudokus wurde in einer Anlernphase mit dem ersten Datenpaket mittels der Matlab-App «Neural Network Fitting» erstellt.

Es werden 80% der Sudokus verwendet, um diese Funktion zu erstellen.

In der App wird 5% als Validation und 10% als Test Set verwendet. Wir erstellen ein Netzwerk mit einemeinzigen Hidden Layer, welcher aus 50 Hidden Neurons besteht. Als Trainingsalgorithmus haben wir Levenberg-Marquardt gewählt.

Nach der Anlernphase führen wir mit den restlichen 20% der Sudokus einen eigenen Test durch, welcher zur Konfusionsmatrix in Abb. 8 führt.



Abb. : Konfusionsmatrix des ersten Datensatzes

Die generierten Sudokus können mithilfe von Matlab klassifiziert werden. Sie müssen wie zu Beginn des Kapitels beschrieben importiert werden.

Die generierten Sudokus werden danach vom trainierten Netzwerk klassifiziert. Die Zuordnung zwischen Sudoku und Schwierigkeitsstufe wird in einer Matrix (results) abgespeichert.

### Neuroph

Es ist nicht benutzerfreundlich, wenn zur Klassifizierung der Sudokus immer eine Statistik-Datei generiert, sowie Matlab gestartet werden muss.

Aus diesem Grund haben wir unser neurales Netzwerk mithilfe des Frameworks Neuroph in Java abgebildet.

Da wir die genauen angelernten Werte des Netzwerkes nicht direkt aus Matlab übernehmen können, erstellen wir ein neues Netzwerk, welches auf den Erkenntnissen aus Matlab basiert.

Wir verwenden einen MultiLayerPerceptron, welcher auch aus einem Hidden Layer aus 50 Nodes besteht. Zum Trainieren des Netzwerkes werden 80% der Sudokus des ersten Datensatzes verwendet, zum Testen die restlichen 20%.

Die Aufbereitung von der Statistik zum endgültigen Feature-Vektor wird auch komplett in Java durchgeführt.

## Generierung

# Resultate

## Lösungsmethoden

Welche zus. Lösungsmethoden könnten brauchbar sein?

«Unnötige» methoden implementiert?

Wechsel subset all zu 2-4 erklären mit begründung

## Schwierigkeitseinstufung

Die Einstufung der Schwierigkeit mittels Machine Learning anhand menschlicher Lösungsmethoden hat sich komplexer erwiesen als zuerst angenommen. Die Genauigkeit dieser Einstufung hängt sehr stark mit der Qualität der Trainingsdaten zusammen.

Wir verwenden nur die Daten des ersten Datenpakets als Trainingsgrundlage, da beim zweiten Datenpaket zu viele Ungereimtheiten aufgefallen sind. Da das erste Paket keine Sudokus der Schwierigkeitsstufe 6 enthält, werden Sudokus dieser Stufe, wie auf **Abb. 3** ersichtlich, immer falsch eingestuft. In Abb. 3 werden 20% aller Sudokus aus Datenpaket 1 und 2 durch unser Netzwerk eingestuft.



Abb. : Verteilung der Test-Sudokus, welche aus 20% aller Sudokus bestehen

Unsere Lösung versucht momentan, die generierten Sudokus in die Schwierigkeitsstufen des ersten Datenpakets einzuteilen. Dies führt dazu, dass die Einstufung des ersten Datenpakets nachgebildet und nicht eine komplett neue Einteilung vorgenommen wird.

Für eine allgemeinere Einstufung von Sudokus sind mehr Trainingsdaten notwendig, welche auch nachweislich dem Empfinden von Sudokulösern entsprechen.

Ein allgemeiner Test, wie gut die Einstufung von Sudokus dem menschlichen Schwierigkeitsempfinden entspricht ist nicht einfach möglich, da nicht jede Person ein Sudoku gleich beurteilt.

Ein solcher Test kann als weiterführende Massnahme zur Qualität der generierten Sudokus durchgeführt werden. Es muss beachtet werden, dass generierte Sudokus aller verschiedenen Schwierigkeiten mehreren Personen mit möglichst breit gefächertem Sudoku-Vorwissen vorgelegt werden. Es muss beachtet werden, dass auch zwei Personen, welche gleich gut Sudokus lösen, nicht jedes Sudoku gleich beurteilen. Es kann passieren, dass die eine Person eine geeignete Startposition übersieht und danach komplexere Lösungsmethoden anwenden muss, was wiederum dazu führt, dass sie das Sudoku als schwer einstuft.

Um also die Einstufung unserer Lösung zu verifizieren, müssen viele generierte Sudokus gelöst werden. Führt dies zum Resultat, dass unsere Sudokus nicht den Ansichten der Löser entsprechen, so muss mit weiteren Trainingsdaten neu trainiert werden. Die neuen Trainingsdaten müssen von den ersten beiden Datenpaketen unabhängig sein.

Möglichkeit zu unsupervised learning, problem dabei

Library (Neuroph) brauchbar?

## Generierung

17er korpus sinnvoll als basis?

Permutationen hilfreich?

Analyse generierter sudokus (verhältnis generiert : schwierigkeitsstufe, anzahl «nutzloser» sudokus

Evtl. Kommentar zu «unbrauchbaren» sudokus, ansprechen, dass mehr lösungsmethoden auch zu mehr generierten (schwierigen) sudokus führen könnten.

# Schluss

Notwendig.

Analog zur Einleitung soll eine wissenschaftliche Arbeit, ein technischer Bericht einen abrundenden Abschluss

aufweisen. Der Schluss ist nicht nur mit den Schlussfolgerungen gleichzusetzen; er kann das Thema zusätzlich

auch in einen grösseren Zusammenhang stellen, weiterführende Perspektiven aufzeigen, das weitere Vorgehen

skizzieren oder in Form einer Diskussion oder einer Reflexion ein Fazit vorlegen. Seine Hauptaufgabe besteht

indessen zentral darin, die Ergebnisse klar und prägnant zusammenzufassen. Dabei sollen Einleitung und

Schluss zusammengelesen werden können. Sie bilden eine Klammer.

Zusammenfassung **was** Sie **wie** erreicht haben.

Was sind Ihre Erkenntnisse aus der Arbeit?

Vergleich mit der Aufgabenstellung, Projektklärung.

Potentielle Erweiterungen, Vorschläge für nächste Schritte.

Was würden Sie in der nächsten Version anders machen?

Erklärungen, warum zum Beispiel Teilziele nicht erreicht wurden (z.B.

falsche Zeiteinschätzung).

**Achtung**: Persönliche Erfahrungen und Danksagungen gehören nicht

hierhin, sondern, wenn überhaupt, in ein Vorwort.

Viele einflüsse auf einstufung

Höhere Lösungsmethoden für «normale» sudokus unwichtig

Evtl. Zf von erweiterungen

Probleme Generierung

Machine Learning bastelei

# Literaturverzeichnis

Notwendig.

Das Literaturverzeichnis ist Teil des Hauptteils, folgt nach dem Schluss (siehe hier 3.3) und enthält in

alphabetischer Reihenfolge die vollständigen bibliographischen Angaben zur gesamten benutzten Literatur.

Nach der IEEE-Methode fällt das alphabetisch aufgeführte Literaturverzeichnis zugunsten der am Schluss in

eckigen Klammern chronologisch referenzierten Quellen weg. Mehr zu Inhalt und Gestaltung von einzelnen

Literaturhinweisen im Kapitel 6.

# Abbildungsverzeichnis

[Abb. 1: Speicherformat der Sudokus 16](#_Toc472699998)

[Abb. 2: Format des ersten Datenpaketes 16](#_Toc472699999)

[Abb. 3: Format des zweiten Datenpaketes 17](#_Toc472700000)

[Abb. 4: Datenpaket 1, prozentuale Anzahl gelöster Sudokus 17](#_Toc472700001)

[Abb. 5: Datenpaket 2, prozentuale Anzahl gelöster Sudokus 18](#_Toc472700002)

[Abb. 6: Datenpaket 1, durchschnittliche Anzahl vorgegebener Ziffern 18](#_Toc472700003)

[Abb. 7: Datenpaket 2, durchschnittliche Anzahl vorgegebener Ziffern 18](#_Toc472700004)

[Abb. 8: Verteilung der Test-Sudokus, welche aus 20% aller Sudokus bestehen 20](#_Toc472700005)

# Anhang

Fakultativ, in naturwissenschaftlichen oder technischen Arbeiten jedoch oft zweckdienlich und erforderlich, in

umfangreichen Projektarbeiten oft unumgänglich.

Der Anhang enthält Zusatzmaterialien, die für bestimmte Zielgruppen relevant sind. Alles, was für das

Verständnis des Textes unmittelbar notwendig ist, gehört in den Text selbst. Ein Anhang kann Skizzen, Pläne,

detaillierte Berechnungen, Laborauswertungen, Interviewprotokolle, Fragebogen, Übersichtstafeln, Glossare,

Programmcode, Statistiken etc. enthalten.

Das Projektmanagement kann ebenfalls im Anhang Platz finden. Der Anhang kann also Verträge (Lasten- und

Pflichtenheft), Projektpläne mit Meilensteinen, sowie Zeiterfassungen und dergleichen enthalten.

Teil des Anhangs können auch Anleitungen für Personen sein, die ein Gerät benützen, montieren, warten. Also:

Gebrauchsanleitung, Montageanleitung, Wartungsanleitung.

Alle wichtigen Informationen gehören in den ausgedruckten Anhang. Die unwichtigeren oder zu umfangreiche

Informationen, beispielsweise Software-Code, sollen nicht ausgedruckt werden; sie gehören auf ein Speichermedium,

beispielweise auf eine DVD, oder können auf einem Laufwerk der Schule oder Server einer Firma

abgelegt werden – das ist unumgänglich bei grossen Datenmengen.

# Ehrlichkeitserklärung

Notwendig.

Schreibende bestätigen mit ihrer Unterschrift, dass sie die Arbeit ohne fremde Hilfe und unter Einhaltung der

gebotenen Regeln erstellt haben. Meist wird dazu folgender Standardsatz verwendet:

«Hiermit erkläre ich, die vorliegende x2 selbständig, ohne Hilfe Dritter und nur unter Benutzung der

angegebenen Quellen verfasst zu haben.»

Dieser Satz ist mit der handschriftlichen Unterschrift sowie Angaben zu Ort und Datum zu begleiten.