

Titel der Arbeit auf Deutsch

English Title

Autor

Bachelor-Abschlussarbeit

Betreuer: Titel Vorname Name

Ort, Abgabedatum

Vorwort

Ein Vorwort ist nicht unbedingt nötig. Falls Sie ein Vorwort schreiben, so ist dies der Platz, um z.B. die Firma vorzustellen, in der diese Arbeit entstanden ist, oder einigen Leuten zu danken, die in irgendeiner Form positiv zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen haben. Auf keinen Fall sollten Sie im Vorwort die Aufgabenstellung näher erläutern oder vertieft auf technische Sachverhalte eingehen.

Kurzfassung

In der Kurzfassung soll in kurzer und prägnanter Weise der wesentliche Inhalt der Arbeit beschrieben werden. Dazu zählen vor allem eine kurze Aufgabenbeschreibung, der Lösungsansatz sowie die wesentlichen Ergebnisse der Arbeit. Ein häufiger Fehler für die Kurzfassung ist, dass lediglich die Aufgabenbeschreibung (d.h. das Problem) in Kurzform vorgelegt wird. Die Kurzfassung soll aber die gesamte Arbeit widerspiegeln. Deshalb sind vor allem die erzielten Ergebnisse darzustellen. Die Kurzfassung soll etwa eine halbe bis ganze DIN-A4-Seite umfassen.

Hinweis: Schreiben Sie die Kurzfassung am Ende der Arbeit, denn eventuell ist Ihnen beim Schreiben erst vollends klar geworden, was das Wesentliche der Arbeit ist bzw. welche Schwerpunkte Sie bei der Arbeit gesetzt haben. Andernfalls laufen Sie Gefahr, dass die Kurzfassung nicht zum Rest der Arbeit passt.

The same in english.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Problemstellung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Ziele und Forschungsfragen	1
1.3	Methodische Vorgehensweise	1
2	Theoretische Grundlagen	2
2.1	Gliome	2
2.2	Bildgebende Verfahren	2
2.2.1	Nuklearmedizinische Bildgebung	3
2.2.2	Radionuklid	3
2.2.3	SPECT	4
2.3	DICOM	5
2.4	Deep Learning	5
3	Weitere Kapitel	6
4	LaTeX-Bausteine	7
4.1	Abschnitt	7
4.1.1	Unterabschnitt	7
4.2	Abbildungen und Tabellen	8
4.3	Mathematische Formel	8
4.4	Sätze, Lemmas und Definitionen	9
4.5	Fußnoten	10
4.6	Literaturverweise	10
5	Beispiel-Kapitel	11
5.1	Warum existieren unterschiedliche Konsistenzmodelle?	11
5.2	Klassifizierung eines Konsistenzmodells	12
5.3	Linearisierbarkeit (atomic consistency)	12
6	Zusammenfassung und Ausblick	14
	Literaturverzeichnis	15

Glossar	16
Erklärung der Kandidatin / des Kandidaten	17

Abbildungsverzeichnis

2.1	Übersicht über die verschiedenen bildgebenden Verfahren in der Medizin	3
2.2	SPECT-Systeme.....	4
4.1	Bezeichnung der Abbildung	8

Tabellenverzeichnis

4.1	Bezeichnung der Tabelle	9
5.1	Linearisierbarkeit ist erfüllt	13
5.2	Linearisierbarkeit ist verletzt, sequentielle Konsistenz ist erfüllt.	13
5.3	Linearisierbarkeit und sequentielle Konsistenz sind verletzt.	13

Einleitung und Problemstellung

Begonnen werden soll mit einer Einleitung zum Thema, also Hintergrund und Ziel erläutert werden.

Weiterhin wird das vorliegende Problem diskutiert: Was ist zu lösen, warum ist es wichtig, dass man dieses Problem löst und welche Lösungsansätze gibt es bereits. Der Bezug auf vorhandene oder eben bisher fehlende Lösungen begründet auch die Intention und Bedeutung dieser Arbeit. Dies können allgemeine Gesichtspunkte sein: Man liefert einen Beitrag für ein generelles Problem oder man hat eine spezielle Systemumgebung oder ein spezielles Produkt (z.B. in einem Unternehmen), woraus sich dieses noch zu lösende Problem ergibt.

Im weiteren Verlauf wird die Problemstellung konkret dargestellt: Was ist spezifisch zu lösen? Welche Randbedingungen sind gegeben und was ist die Zielsetzung? Letztere soll das beschreiben, was man mit dieser Arbeit (mindestens) erreichen möchte.

1.1 Motivation

Im Jahr 2016 starben 7.430 Menschen an Krebstumoren des Zentralen Nervensystems. Durchschnittlich erkrankten im Jahr 2016 in Deutschland 9,8 (Männer) bzw. 8,3 (Frauen) von 100.000 Menschen an einem bösartigen primären Hirntumor und dabei überleben nur etwa zwanzig Prozent die nächsten fünf Jahre. Trotz konventioneller Behandlung kann ein Wiederauftreten des Tumors (Rezidiv) nicht verhindert werden.

1.2 Ziele und Forschungsfragen

Segmentieren, klassifizieren overall survival

1.3 Methodische Vorgehensweise

Theoretische Grundlagen

2.1 Gliome

In Deutschland erkrankten etwa 3.460 Frauen und 3.970 Männer an bösartigen Hirntumoren, auch hochmaligne Gliome genannt [fK19]. Sie entstehen aus bösartigen veränderten Zellen von Gehirn und Rückenmark und werden deshalb auch als primäre Hirntumore bezeichnet. Primäre Hirntumore werden unterschieden in Astrozytome, Oligodendrogliome und Ependymome. Mit ca. 75%, sind die Glioblastome die am häufigsten vertretene Tumorgruppe und stammen aus den astrozytären Gliomen ab. Die WHO teilt die Gliome in vier verschiedene Malignitätsgrade, nach biologischem Verhalten und nach ihrer Histopathologie ein. Trotz Forschung ist der Auslöser der verschiedenen Hirntumoren weitgehend unklar.

Behandelt werden die Patienten erst nach der Abwägung von Risiken und Nutzen. Im Falle, dass der Tumor operativ erreichbar ist und ohne neurologisches Defizit entfernt werden kann, wird eine möglichst vollständige neurochirurgische Resektion (Operation) angesetzt. Im Falle eines Grad I Glioms, ist eine kurative Resektion, also eine Operation mit anschließender vollständiger Heilung möglich. Anschließend wird je nach Grad des Tumors und des Ausmaßes der Resektion, die postoperative Strahlentherapie (RT) und die medikamentöse Tumorthherapie eingesetzt [SH19].

Nur ungefähr 20% der erkrankten Frauen und Männer überleben fünf Jahre. Noch schlechter sehen die Überlebenschancen bei einem Krankheitsrückfall (Rezidiv) aus. Selbst bei Tumor befreiten Patienten, kommt es meist zu unerwünschten Nebenwirkungen und Spätschäden. Jedoch wurden erst kürzlich erfolgversprechende Tests von Impfungen an Hirntumoren durchgeführt. Diese soll auf bestimmte Mutationen der diffusen Gliome abzielen. Dabei erreichte der Impfstoff eine 93%ige Erfolgsrate. Zur Erkennung von Tumoren kommen in der Medizin bildgebende Verfahren zum Einsatz.

2.2 Bildgebende Verfahren

Es gibt zahlreiche bildgebende Verfahren in der Medizin (siehe Tabelle ??). Jedoch beschränkt sich diese Arbeit auf die nuklearmedizinische Bildgebung mit

Hauptaugenmerk auf das Thallium-SPECT Verfahren, aufgrund der Herkunft des Datensatzes für das Deep Learning Verfahren.

Projektionsröntgen	Tomosynthese
Computertomographie	Impedanztomographie
Szintigraphie	Abbildung bioelektrischer Ströme
Single Photon Emission Comp. Tomography SPECT	
Positronen Emissions Tomographie PET	Phasenkontrast-Röntgen
Magnetresonanztomographie MRT	Magnetic Particle Imaging MPI
Ultraschallbildgebung US	Mikrowellen- und Terahertz-Bildgebung
Endoskopie	Thermographie
Optische Kohärenztomographie OCT	Diffuse optische Bildgebung
Operationsmikroskopie	akustooptische & optoakustische Bildgebung

Abb. 2.1. Übersicht über die verschiedenen bildgebenden Verfahren in der Medizin

2.2.1 Nuklearmedizinische Bildgebung

Das Thallium-Single-Photon-Emission-Computer-Tomographie Verfahren (SPECT) gehört mit der Szintigraphie und der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) zu den nuklearmedizinischen bildgebenden Diagnostiken und zeigen die Radioaktivitätsverteilung auf. Dreidimensionale Bilder können durch das SPECT und PET Verfahren erzeugt werden. Zu Beginn der Untersuchung wird bei allen Verfahren ein Radiopharmakon in den Körper gebracht. Durch Injektion in die Blutbahn, durch Schlucken in den Magen-Darm-Trakt oder durch das Inhalieren über die Lunge wird das Medikament in die Blutbahn befördert. (Kap 8.3) Anschließend wird die Verteilung der Radioaktivität mit geeigneten Messgeräten aufgenommen und am Computer dargestellt.

2.2.2 Radionuklid

Das Wort Radionuklid setzt sich aus den lateinischen Wörtern ?radiare? (strahlen) und ?nucleus? (Zellkern) zusammen und zeigt die Aktivität des Zellkerns auf. Der Zellkern emittiert Strahlung aus dem Kern heraus, aufgrund des Ungleichgewichts der Kernmasse. Im neutralen Atom stimmt die Anzahl der Elektronen mit der Anzahl der Neutronen in der Hülle überein. Isotope sind Atomkerne mit gleicher Protonenzahl aber unterschiedlicher Anzahl von Neutronen. Radioaktive Isotope werden über einen Kernreaktor, durch die Kernspaltung oder den Neutronenbeschuss gewonnen. Ein Teilchenbeschleuniger, z.B. am Zyklotron, kann durch den Beschuss mit geladenen Teilchen radioaktive Isotope erschaffen. (Formel Aktivität)?

Da die Radionuklide meist eine Halbwertszeit zwischen einigen Sekunden und mehreren Stunden haben, werden sie direkt in den Kliniken mit sogenannte ?Baby-

Zyklotrons? produziert. Diese Geräte passen heute in einen 30m² Raum. Anschließend wird das Radionuklid eventuell mit einer nichtradioaktiven Substanz oder einem Pharmazeutikum vermischt (Radiopharmakon) oder direkt in den Körper gegeben. Je nach Scanvariante gibt es unterschiedlich typisch eingesetzte Radionuklide. Für das SPECT Verfahren werden hauptsächlich Technetium-99m, Iod-123 und Thallium-201 genutzt.

2.2.3 SPECT

Die Single-Photon-Emissions-Computer-Tomographie wurde bereits zehn Jahre vor der klinischen Anwendung der Röntgen-Computer-Tomographie (CT) von Kuhl u. Edwards 1963 beschrieben[KE63]. Diese hatten zu Beginn jedoch nicht den Erfolg, da die räumliche Auflösung noch zu gering war. Im Gegensatz zu der heutigen SPECT-Untersuchung in welcher der Patient liegend von beweglichen Kameras gescannt wird, musste der Patient sich vor der Kamera drehen [HR05]. Es gibt verschiedene SPECT-Systeme, mit einem und bis zu drei Messköpfen auf einem kreisförmigem oder elliptischem Orbit (siehe Tabelle 2.2). Bei den Doppelkopf-SPECT-Systemen stehen die Gamma-Kameras auch oft in einem 90° Winkel zueinander. Systeme mit mehreren Messköpfen verbessern das Signal-Rausch-Verhältnis, da mehrere Projektionen gleichzeitig aufgenommen werden können. Mit einem elliptischen Orbit kann die räumliche Auflösung verbessert werden, weil der Abstand zwischen Detektor und Quelle nochmals verringert wird.

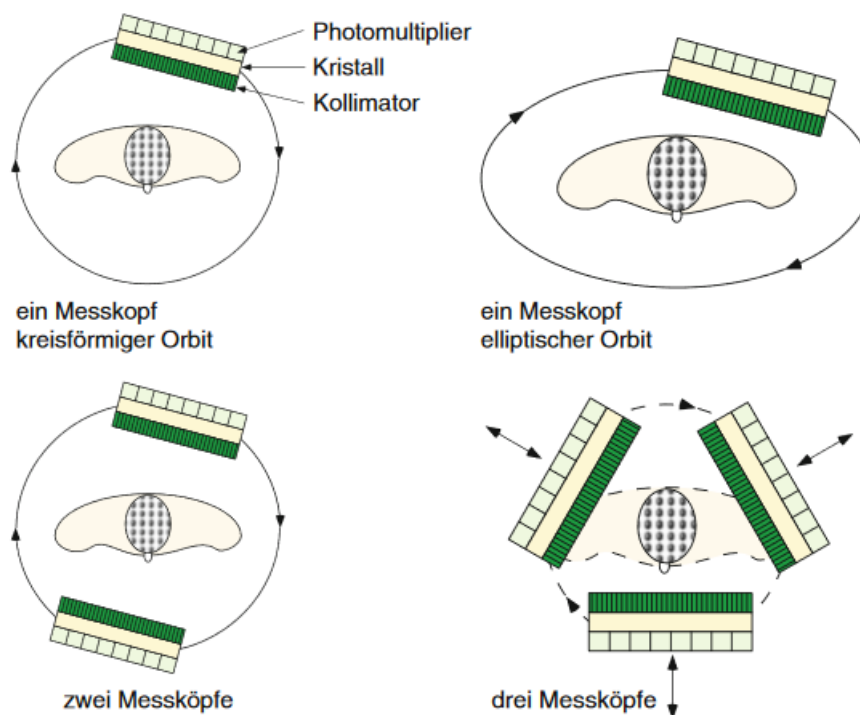


Abb. 2.2. SPECT-Systeme

Zusammen setzt sich das SPECT-System aus Untersuchungs-liege, den Gammakameras und einer Recheneinheit. Die Gamma-Kamera baut sich aus den hintereinander angeordneten Kollimatoren, Szintillationskristall, Photomultiplier und Widerstandsmatrix auf. Anschließend wird das Signal an der Widerstandsmatrix nochmals verarbeitet und mit Rekonstruktionsalgorithmen am Computer dargestellt. Im Folgenden werden die Elemente nochmal genauer betrachtet.

Der mechanische Kollimator sorgt dafür, dass nur Gamma-Quanten weitergeleitet werden, die senkrecht eintreffen. Durch die Vielzahl paralleler Löcher, auf dem aus Blei bestehende Kollimator-Platte, werden alle anderen Strahlen absorbiert. Je nach Ziel des Scans, kann eine "High Resolution" oder "High Sensitivity" Platte eingesetzt werden. Der Szintillationskristall besteht meist aus Natriumjodid mit Thallium (NaI(Tl)) oder aus Wismutgermanat (BGO). Der Kristall absorbiert den Gamma-Quant und erzeugt dabei sichtbare Photonen. Dabei ist die Zahl der Photonen proportional zur abgegebenen Energie des Gamma-Quants. Durch ein Bündel aus Lichtleitfasern wird das Licht an die Photokathode eines Photomultipliers übermittelt. Innerhalb dessen wird das Lichtsignal in einen elektrischen Impuls. Das Signal wird über die Widerstandsmatrix auf vier Ausgänge verteilt und über den Computer berechnet. Die typischen Matrizen liegen bei 128×128 .

2.3 DICOM

"Digital Imaging and Communication in Medicine" (DICOM) ist ein seit 1993 etablierter Standard für den Datenaustausch von diagnostischen und therapeutischen Informationen, medizinischen Bildern und assoziierter Daten. In solch einer Datenstruktur werden medizinisch erfasste Bilder aus fast allen Geräten der Radiologie, der kardiologischen Bildgebung und der Strahlentherapie (Röntgen, CT, SPECT, MRT usw.) implementiert, sowie die dazugehörigen Informationen. [MWBE05]

2.4 Deep Learning

Weitere Kapitel

Die Gliederung hängt natürlich vom Thema und von der Lösungsstrategie ab. Als nützliche Anhaltspunkte können die Entwicklungsstufen oder -schritte z.B. der Softwareentwicklung betrachtet werden. Nützliche Gesichtspunkte erhält und erkennt man, wenn man sich

- in die Rolle des Lesers oder
- in die Rolle des Entwicklers, der die Arbeit z.B. fortsetzen, ergänzen oder pflegen soll,

versetzt. In der Regel wird vorausgesetzt, dass die Leser einen fachlichen Hintergrund haben - z.B. Informatik studiert haben. D.h. nur in besonderen, abgesprochenen Fällen schreibt man in populärer Sprache, so dass auch Nicht-Fachleute die Ausarbeitung prinzipiell lesen und verstehen können.

Die äußere Gestaltung der Ausarbeitung hinsichtlich Abschnittformate, Abbildungen, mathematische Formeln usw. wird in Kapitel 4 kurz dargestellt.

LaTeX-Bausteine

Der Text wird in bis zu drei Ebenen gegliedert:

1. Kapitel (`\chapter{Kapitel}`),
2. Unterkapitel (`\section{Abschnitt}`) und
3. Unterunterkapitel (`\subsection{Unterabschnitte}`).

4.1 Abschnitt

Text der Gliederungsebene 2.

4.1.1 Unterabschnitt

Text der Gliederungsebene 3. Text Text Text Text Text Text Text Text Text Text
Text Text Text Text Text Beispiel für Quelltext

```
1      Prozess 1:
2
3      Acquire();
4          a := 1;
5      Release();
6      ...
7      Acquire();
8      if (b == 0)
9      {
10         c := 3;
11         d := a;
12     }
13     Release();
```

```

1   Prozess 2:
2
3   Acquire();
4   b := 1;
5   Release();
6   ...
7   Acquire();
8   if(a == 0)
9   {
10      c := 5;
11      d := b;
12  }
13  Release();

```

Größere Code-Fragmente sollten im Anhang eingefügt werden.

4.2 Abbildungen und Tabellen

Abbildung und Tabellen werden zentriert eingefügt. Grundsätzlich sollen sie erst dann erscheinen, nach dem sie im Text angesprochen wurden (siehe Abb. 4.1). Abbildungen und Tabellen (siehe Tabelle 4.1) können im (fließenden) Text (**here**), am Seitenanfang (**top**), am Seitenende (**bottom**) oder auch gesammelt auf einer nachfolgenden Seite (**page**) oder auch ganz am Ende der Ausarbeitung erscheinen. Letzteres sollte man nur dann wählen, wenn die Bilder günstig zusammen zu betrachten sind und die Ausarbeitung nicht zu lang ist (< 20 Seiten).

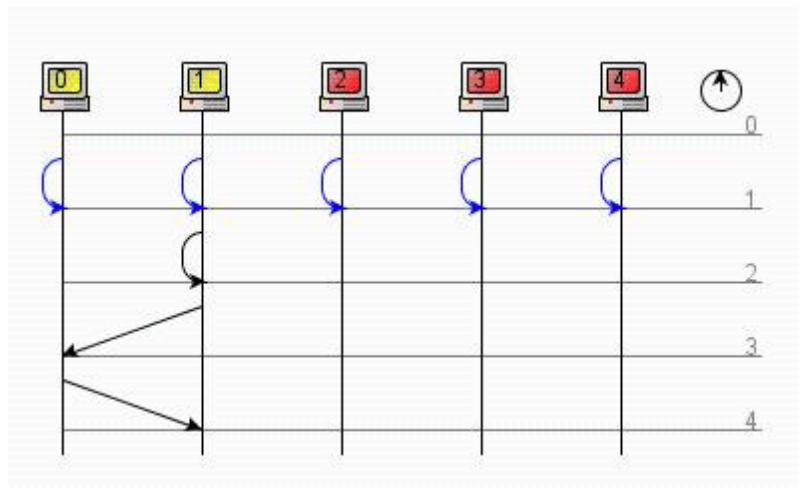


Abb. 4.1. Bezeichnung der Abbildung

4.3 Mathematische Formel

Mathematische Formeln bzw. Formulierungen können sowohl im laufenden Text (z.B. $y = x^2$) oder abgesetzt und zentriert im Text erscheinen. Gleichungen sollten für Referenzierungen nummeriert werden (siehe Formel 4.1).

Prozesse	Zeit \rightarrow
P_1	$W(x)1$
P_2	$W(x)2$
P_3	$R(x)2 \quad R(x)1$
P_4	$R(x)2 \quad R(x)1$

Tabelle 4.1. Bezeichnung der Tabelle

$$e_i = \sum_{i=1}^n w_i x_i \quad (4.1)$$

Entscheidungsformel:

$$\psi(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < \frac{1}{2} \\ -1 & \frac{1}{2} \leq t < 1 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (4.2)$$

Matrix:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (4.3)$$

Vektor:

$$\bar{a} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} \quad (4.4)$$

4.4 Sätze, Lemmas und Definitionen

Sätze, Lemmas, Definitionen, Beweise, Beispiele können in speziell dafür vorgesehenen Umgebungen erstellt werden.

Definition 4.1. (*Optimierungsproblem*)

Ein Optimierungsproblem \mathcal{P} ist festgelegt durch ein Tupel $(I_{\mathcal{P}}, sol_{\mathcal{P}}, m_{\mathcal{P}}, goal)$ wobei gilt

1. $I_{\mathcal{P}}$ ist die Menge der Instanzen,
2. $sol_{\mathcal{P}} : I_{\mathcal{P}} \mapsto \mathbb{P}(S_{\mathcal{P}})$ ist eine Funktion, die jeder Instanz $x \in I_{\mathcal{P}}$ eine Menge zulässiger Lösungen zuweist,
3. $m_{\mathcal{P}} : I_{\mathcal{P}} \times S_{\mathcal{P}} \mapsto \mathbb{N}$ ist eine Funktion, die jedem Paar $(x, y(x))$ mit $x \in I_{\mathcal{P}}$ und $y(x) \in sol_{\mathcal{P}}(x)$ eine Zahl $m_{\mathcal{P}}(x, y(x)) \in \mathbb{N}$ zuordnet (= Maß für die Lösung $y(x)$ der Instanz x), und
4. $goal \in \{min, max\}$.

Beispiel 4.2. MINIMUM TRAVELING SALESMAN (MIN-TSP)

- $I_{MIN-TSP} =_{def} \text{s.o.}$, ebenso $S_{MIN-TSP}$
- $sol_{MIN-TSP}(m, D) =_{def} S_{MIN-TSP} \cap \mathbb{N}^m$
- $m_{MIN-TSP}((m, D), (c_1, \dots, c_m)) =_{def} \sum_{i=1}^{m-1} D(c_i, c_{i+1}) + D(c_m, c_1)$
- $goal_{MIN-TSP} =_{def} \min$

□

Satz 4.3. Sei \mathcal{P} ein **NP**-hartes Optimierungsproblem. Wenn $\mathcal{P} \in \mathbf{PO}$, dann ist $\mathbf{P} = \mathbf{NP}$.

Beweis. Um zu zeigen, dass $\mathbf{P} = \mathbf{NP}$ gilt, genügt es wegen Satz A.30 zu zeigen, dass ein einziges **NP**-vollständiges Problem in \mathbf{P} liegt. Sei also \mathcal{P}' ein beliebiges **NP**-vollständiges Problem.

Weil \mathcal{P} nach Voraussetzung **NP**-hart ist, gilt insbesondere $\mathcal{P}' \leq_T \mathcal{P}$. Sei R der zugehörige Polynomialzeit-Algorithmus dieser Turing-Reduktion. Weiter ist $\mathcal{P} \in \mathbf{PO}$ vorausgesetzt, etwa vermöge eines Polynomialzeit-Algorithmus A . Aus den beiden Polynomialzeit-Algorithmen R und A erhält man nun leicht einen effizienten Algorithmus für \mathcal{P}' : Ersetzt man in R das Orakel durch A , ergibt dies insgesamt eine polynomielle Laufzeit. □

Lemma 4.4. Aus $\mathbf{PO} = \mathbf{NPO}$ folgt $\mathbf{P} = \mathbf{NP}$.

Beweis. Es genügt zu zeigen, dass unter der angegebenen Voraussetzung $\text{KNAPSACK} \in \mathbf{P}$ ist.

Nach Voraussetzung ist $\text{MAXIMUM KNAPSACK} \in \mathbf{PO}$, d.h. die Berechnung von $m^*(x)$ für jede Instanz x ist in Polynomialzeit möglich. Um KNAPSACK bei Eingabe (x, k) zu entscheiden, müssen wir nur noch $m^*(x) \geq k$ prüfen. Ist das der Fall, geben wir 1, sonst 0 aus. Dies bleibt insgesamt ein Polynomialzeit-Algorithmus.

□

4.5 Fußnoten

In einer Fußnote können ergänzende Informationen¹ angegeben werden. Außerdem kann eine Fußnote auch Links enthalten. Wird in der Arbeit eine Software (zum Beispiel Java-API²) eingesetzt, so kann die Quelle, die diese Software zur Verfügung stellt in der Fußnote angegeben werden.

4.6 Literaturverweise

Alle benutzte Literatur wird im Literaturverzeichnis angegeben³. Alle angegebene Literatur sollte mindestens einmal im Text referenziert werden[?].

¹ Informationen die für die Arbeit zweitrangig sind, jedoch für den Leser interessant sein könnten.

² <http://java.sun.com/>

³ Dazu wird ein sogenannter bib-File, literatur.bib verwendet.

Beispiel-Kapitel

In diesem Kapitel wird beschrieben, warum es unterschiedliche Konsistenzmodelle gibt. Außerdem werden die Unterschiede zwischen strengen Konsistenzmodellen (Linearisierbarkeit, sequentielle Konsistenz) und schwachen Konsistenzmodellen (schwache Konsistenz, Freigabekonsistenz) erläutert. Es wird geklärt, was Strenge und Kosten (billig, teuer) in Zusammenhang mit Konsistenzmodellen bedeuten.

5.1 Warum existieren unterschiedliche Konsistenzmodelle?

Laut [?] sind mit der Replikation von Daten immer zwei gegensätzliche Ziele verbunden: die Erhöhung der Verfügbarkeit und die Sicherung der Konsistenz der Daten. Die Form der Konsistenzsicherung bestimmt dabei, inwiefern das eine Kriterium erfüllt und das andere dementsprechend nicht erfüllt ist (Trade-off zwischen Verfügbarkeit und der Konsistenz der Daten). Stark konsistente Daten sind stabil, das heißt, falls mehrere Kopien der Daten existieren, dürfen keine Abweichungen auftreten. Die Verfügbarkeit der Daten ist hier jedoch stark eingeschränkt. Je schwächer die Konsistenz wird, desto mehr Abweichungen können zwischen verschiedenen Kopien einer Datei auftreten, wobei die Konsistenz nur an bestimmten Synchronisationspunkten gewährleistet wird. Dafür steigt aber die Verfügbarkeit der Daten, weil sie sich leichter replizieren lassen.

Nach [?] kann die Performanzsteigerung der schwächeren Konsistenzmodelle wegen der Optimierung (Pufferung, Code-Scheduling, Pipelines) 10-40 Prozent betragen. Wenn man bedenkt, dass mit der Nutzung der vorhandenen Synchronisierungsmechanismen schwächere Konsistenzmodelle den Anforderungen der strengen Konsistenz genügen, stellt sich der höhere programmiertechnische Aufwand bei der Implementierung der schwächeren Konsistenzmodelle als ihr einziges Manko dar.

In [?] ist beschrieben, wie man sich Formen von DSM vorstellen könnte, für die ein beachtliches Maß an Inkonsistenz akzeptabel wäre. Beispielsweise könnte DSM verwendet werden, um die Auslastung von Computern in einem Netzwerk zu speichern, so dass Clients für die Ausführung ihrer Applikationen die am wenigsten ausgelasteten Computer auswählen können. Weil die Informationen dieser Art innerhalb kürzester Zeit ungenau werden können (und durch die Verwendung

der veralteten Daten keine großen Nachteile entstehen können), wäre es vergebliche Mühe, sie ständig für alle Computer im System konsistent zu halten [?]. Die meisten Applikationen stellen jedoch strengere Konsistenzanforderungen.

5.2 Klassifizierung eines Konsistenzmodells

Die zentrale Frage, die für die Klassifizierung (streng oder schwach) eines Konsistenzmodells von Bedeutung ist [?]: wenn ein Lesezugriff auf eine Speicherposition erfolgt, welche Werte von Schreibzugriffen auf diese Position sollen dann dem Lesevorgang bereitgestellt werden? Die Antwort für das schwächste Konsistenzmodell lautet: von jedem Schreibvorgang, der vor dem Lesen erfolgt ist, oder in der „nahen“ Zukunft, innerhalb des definierten Betrachtungsraums, erfolgt wird. Also irgendein Wert, der vor oder nach dem Lesen geschrieben wurde.

Für das strengste Konsistenzmodell, Linearisierbarkeit (atomic consistency), stehen alle geschriebenen Werte allen Prozessoren sofort zur Verfügung: eine Lese-Operation gibt den aktuellsten Wert zurück, der geschrieben wurde, bevor das Lesen stattfand. Diese Definition ist aber in zweierlei Hinsicht problematisch. Erstens treten weder Schreib- noch Lese-Operationen zu genau einem Zeitpunkt auf, deshalb ist die Bedeutung von „aktuellsten“ nicht immer klar. Zweitens ist es nicht immer möglich, genau festzustellen, ob ein Ereignis vor einem anderen stattgefunden hat, da es Begrenzungen dafür gibt, wie genau Uhren in einem verteilten System synchronisiert werden können.

Nachfolgend werden einige Konsistenzmodelle absteigend nach ihrer Strenge vorgestellt. Zuvor müssen wir allerdings klären, wie die Lese- und Schreib-Operationen in dieser Ausarbeitung dargestellt werden.

Sei x eine Speicherposition, dann können Instanzen dieser Operationen wie folgt ausgedrückt werden:

- $R(x)a$ - eine Lese-Operation, die den Wert a von der Position x liest.
- $W(x)b$ - eine Schreib-Operation, die den Wert b an der Position x speichert.

5.3 Linearisierbarkeit (atomic consistency)

Die Linearisierbarkeit im Zusammenhang mit DSM kann wie folgt definiert werden:

- Die verzahnte Operationsabfolge findet so statt: wenn $R(x)a$ in der Folge vorkommt, dann ist die letzte Schreib-Operation, die vor ihr in der verzahnten Abfolge auftritt, $W(x)a$, oder es tritt keine Schreib-Operation vor ihr auf und a ist der Anfangswert von x . Das bedeutet, dass eine Variable nur durch eine Schreib-Operation geändert werden kann.
- Die Reihenfolge der Operationen in der Verzahnung ist konsistent zu den Echtzeiten, zu denen die Operationen bei der tatsächlichen Ausführung aufgetreten sind.

Prozesse	Zeit \rightarrow
P_1	$W(x)1$ $W(y)2$
P_2	$R(x)1$ $R(y)2$

Tabelle 5.1. Linearisierbarkeit ist erfüllt

Die Bedeutung dieser Definition kann an folgendem Beispiel (Tabelle 5.1) nachvollzogen werden. Es sei angenommen, dass alle Werte mit 0 vorinitialisiert sind.

Hier sind beide Bedingungen erfüllt, da die Lese-Operationen den zuletzt geschriebenen Wert zurückliefern. Interessanter ist es, zu sehen, wann die Linearisierbarkeit verletzt ist.

Prozesse	Zeit \rightarrow
P_1	$W(x)1$ $W(x)2$
P_2	$R(x)0$ $R(x)2$

Tabelle 5.2. Linearisierbarkeit ist verletzt, sequentielle Konsistenz ist erfüllt.

In diesem Beispiel (Tabelle 5.2) ist die Echtzeit-Anforderung verletzt, da der Prozess P_2 immer noch den alten Wert liest, obwohl er von Prozess P_1 bereits geändert wurde. Diese Ausführung wäre aber sequentiell konsistent (siehe kom-mender Abschnitt), da es eine Verzahnung der Operationen gibt, die diese Werte liefern könnte ($R(x)0$, $W(x)1$, $W(x)2$, $R(y)2$). Würde man beide Lese-Operationen des 2. Prozesses vertauschen, wie in der Tabelle 5.3 dargestellt, so wäre keine sinn-volle Verzahnung mehr möglich.

Prozesse	Zeit \rightarrow
P_1	$W(x)1$ $W(x)2$
P_2	$R(x)2$ $R(x)0$

Tabelle 5.3. Linearisierbarkeit und sequentielle Konsistenz sind verletzt.

In diesem Beispiel sind beide Bedingungen verletzt. Selbst wenn die Echtzeit, zu der die Operationen stattgefunden haben, ignoriert wird, gibt es keine Verzahnung einzelner Operationen, die der Definition entsprechen würde.

Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Kapitel soll die Arbeit noch einmal kurz zusammengefasst werden. Insbesondere sollen die wesentlichen Ergebnisse Ihrer Arbeit herausgehoben werden. Erfahrungen, die z.B. Benutzer mit der Mensch-Maschine-Schnittstelle gemacht haben oder Ergebnisse von Leistungsmessungen sollen an dieser Stelle präsentiert werden. Sie können in diesem Kapitel auch die Ergebnisse oder das Arbeitsumfeld Ihrer Arbeit kritisch bewerten. Wünschenswerte Erweiterungen sollen als Hinweise auf weiterführende Arbeiten erwähnt werden.

Literaturverzeichnis

- fK19. KREBSREGISTERDATEN, ZENTRUM FÄ₄R: *Krebs des Zentralen Nervensystems*. 17.12.2019.
- HR05. HERZOG, HANS und FRANK RÄ₁SCH: *PET- und SPECT-Technik: Chemie und Physik der Bildgebung*. Pharmazie in unserer Zeit, 34(6):468–473, nov 2005.
- KE63. KUHL, DAVID E. und ROY Q. EDWARDS: *Image Separation Radioisotope Scanning*. Radiology, 80(4):653–662, apr 1963.
- MWBE05. MILDENBERGER, P., B. WEIN, H.-P. BURSIG und M. EICHELBERG: *Aktuelle Entwicklungen von DICOM und IHE*. Der Radiologe, 45(8):682–689, aug 2005.
- SH19. SILVIA HOFER, LARS BULLINGER, JUDITH DIERLAMM ANCA-LIGIA GROSU PETER HAU JÄ₁RG HENSE TOBIAS PFLUGSHAUPT MATTHIAS PREUSSER MARTIN PROESCHOLDT TOBIAS PUKROP ELISABETH JANE RUSHING MARIANNE SINN BERNHARD WÄ₁RMANN: *Gliome im Erwachsenenalter*. 03.2019.

A

Glossar

DisASter	DisASter (Distributed Algorithms Simulation Terrain), A platform for the Implementation of Distributed Algorithms
DSM	Distributed Shared Memory
AC	Linearisierbarkeit (atomic consistency)
SC	Sequentielle Konsistenz (sequential consistency)
WC	Schwache Konsistenz (weak consistency)
RC	Freigabekonsistenz (release consistency)

B

Erklärung der Kandidatin / des Kandidaten

☐ Die Arbeit habe ich selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet.

☐ Die Arbeit wurde als Gruppenarbeit angefertigt. Meine eigene Leistung ist ...

Diesen Teil habe ich selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet.

Namen der Mitverfasser: ...

Datum

Unterschrift der Kandidatin / des Kandidaten