

# **Untersuchung der Lernfähigkeit verschiedener Verfahren am Beispiel von Computerspielen**

**Abschlussarbeit  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Bachelor of Science (B.Sc.)**

5

Thilo Stegemann  
s0539757  
Angewandte Informatik

18. Dezember 2016



**Hochschule für Technik  
und Wirtschaft Berlin**

*University of Applied Sciences*

Erstprüfer: Prof. Dr. Burkhard Messer  
Zweitprüferin: Prof. Dr. Adrianna Alexander

10

# Inhaltsverzeichnis

|    |   |           |
|----|---|-----------|
|    | <b>Einführung</b>   | <b>1</b>  |
|    | <b>1 Grundlagen</b>   | <b>3</b>  |
| 15 | 1.1 Spielentwicklung . . . . .                                  | 3         |
|    | 1.2 Lineare Algebra . . . . .                                   | 3         |
|    | 1.3 Heuristik . . . . .   | 3         |
|    | 1.4 Lernfähige Algorithmen . . . . .                            | 3         |
|    | <b>2 Entwurf und Anforderungen</b>                              | <b>4</b>  |
| 20 | 2.1 Computerspiele . . . . .                                    | 4         |
|    | 2.1.1 Tic Tac Toe . . . . .                                     | 4         |
|    | 2.1.2 Vier Gewinnt . . . . .                                    | 6         |
|    | 2.1.3 Black Jack . . . . .                                      | 8         |
|    | 2.2 Lernverfahren . . . . .                                     | 9         |
| 25 | 2.2.1 Analyse und Auswahl der lernfähigen Algorithmen . . . . . | 9         |
|    | 2.2.2 Anwendung der Algorithmen auf Computerspiele . . . . .    | 9         |
|    | 2.2.3 Konzeptuelles Training der Algorithmen . . . . .          | 9         |
|    | 2.2.4 Persistenz der Trainingsdaten . . . . .                   | 9         |
|    | <b>3 Implementierung</b>  | <b>10</b> |
| 30 | 3.1 Computerspiele . . . . .                                    | 10        |
|    | 3.2 Lernverfahren . . . . .                                     | 10        |
|    | 3.3 Alternative Lernverfahren . . . . .                         | 10        |
|    | <b>4 Validierung</b>  | <b>11</b> |
|    | 4.1 Computerspiele . . . . .                                    | 11        |
| 35 | 4.1.1 Siegesbedingungen . . . . .                               | 11        |
|    | 4.1.2 Spielregeln . . . . .                                     | 11        |
|    | 4.1.3 Benutzerschnittstellen . . . . .                          | 11        |
|    | 4.1.4 Grafische Oberfläche . . . . .                            | 11        |
|    | 4.2 Lernverfahren . . . . .                                     | 11        |
| 40 | 4.2.1 Messbare Testkriterien entwickeln . . . . .               | 11        |
|    | 4.2.2 Empirisches Protokoll . . . . .                           | 11        |
|    | 4.2.3 Belastbarkeit und Grenzen . . . . .                       | 11        |
|    | 4.2.4 Optimale Anwendungsgebiete . . . . .                      | 11        |

|          |   |           |    |
|----------|---|-----------|----|
| <b>5</b> | <b>Text elements</b>                    | <b>12</b> |    |
| 5.1      | Math . . . . .                          | 12        | 45 |
| 5.2      | References . . . . .                    | 13        |    |
| 5.3      | Units . . . . .                         | 13        |    |
| 5.4      | Figures . . . . .                       | 13        |    |
| <b>A</b> | <b>I am an appendix!</b>                | <b>17</b> |    |
| A.1      | Section in appendix! . . . . .          | 17        | 50 |
| <b>B</b> | <b>Another appendix? What the heck?</b> | <b>19</b> |    |
| B.1      | Section in appendix! . . . . .          | 19        |    |

# Einführung

## Motivation

55 Sind Sie ein (angehender) Softwareentwickler und programmieren aktuell ein Computerspiel, welches lernfähige Verfahren unterstützen soll? Benötigen Sie innerhalb einer beliebigen Anwendung einen lernfähigen Algorithmus und Sie kennen die Schwächen, Stärken, Grenzen und Anwendungsgebiete der Lernverfahren nicht?

60 Haben Sie sich auch schon mal eine der nachfolgenden Fragen gestellt oder interessieren Sie diese Fragen generell?

Wie lernt ein Programm Strategien? Was sind die elementaren Schritte die ein Programm während des Lernprozesses durchläuft? Wie anwendbar und leistungsfähig sind die Lernverfahren hinsichtlich verschiedener Spielgrundlagen? In wie fern wird ein Lernverfahren von einem Computerspiel angereizt? Wenn zwei unterschiedliche Lernverfahren untersucht und verglichen werden, welches Lernverfahren ist dann effizienter, schneller oder besser?

70 Diese wissenschaftliche Arbeit könnte dann sehr interessant für Sie sein. Innerhalb dieser Arbeit werden bestimmte Lernverfahren, am Beispiel verschiedener Computerspiele, auf Ihre Funktionsweise, Schwächen, Stärken und Grenzen untersucht, implementiert, und getestet.

## Vorläufige Zielsetzung

75 Das Ziel der Arbeit ist die Untersuchung des Lernverhaltens, der Grenzen, der Schwächen und der Stärken verschiedener Lernverfahren am Beispiel von mindestens zwei eigens implementierten Computerspielen. Die Lernverfahren sollen trainiert werden und dadurch mehr oder weniger eigenständige Siegesstrategien und Spielzugmuster entwickeln. Die Lernverfahren könnten sich gegenseitig trainieren oder sie trainieren indem sie gegen einen Menschen spielen. Der Fokus der wissenschaftlichen Arbeit liegt hierbei auf der Untersuchung der verschiedenen Lernverfahren und nicht auf der Implementierung besonders komplexer Computerspiele, daher sollen nur sehr simple Computerspiele implementiert werden. Ein vollständi-

diges Dame Spiel wird zum Beispiel nicht implementiert, aber eine absichtlich verkleinerte Dame Variante mit veränderten Spielregeln, für ein schnelleres Spielende, wäre durchaus möglich. Zudem wären auch ein vier mal vier Tic-Tac-Toe ein Vier Gewinnt oder ein Black Jack Computerspiel

85

## Kapitel 1

# Grundlagen

<sup>90</sup> In diesem Kapitel: //TODO schreiben der Einführung

### 1.1 Spielentwicklung

### 1.2 Lineare Algebra

### 1.3 Heuristik

### 1.4 Lernfähige Algorithmen

# Entwurf und Anforderungen

In diesem Kapitel: //TODO Einführung in das Kapitel

## 2.1 Computerspiele

### 2.1.1 Tic Tac Toe

Das klassische Tic Tac Toe ist ein Spiel, welches mit genau zwei Spielern gespielt wird. Jeder dieser Spieler zeichnet abwechselnd entweder ein Kreuz oder einen Kreis in eine Matrix auf ein Blatt Papier. Während eines gesamten Spiels darf ein Spieler nur Kreuze zeichnen und der andere Spieler nur Kreise. Das Spielfeld ist eine drei mal drei große Matrix, also können maximal neun Symbole in diese Matrix eingetragen werden. Um die Anzahl der möglichen Spielzüge zu erhöhen wird das Spielfeld des klassischen Tic Tac Toe auf eine vier mal vier Matrix erweitert.

### Spielregeln

Ziel des Spiels ist es vier Kreuze oder vier Kreise in einer bestimmten Position anzuordnen. Im nachfolgenden wird davon ausgegangen, dass der menschliche Spieler Kreuze verwendet und der Computergegner Kreise. Die Kreise und Kreuze sind Spielfiguren, welche den jeweiligen Spieler repräsentieren. Der menschliche Spieler hat zusätzlich, in den Nachfolgenden Siegesszenarien, das Anrecht auf den ersten Zug. Es existieren drei unterschiedliche Anordnungen von Spielfiguren, die das Spiel beenden und einen Sieg herbeiführen. Gewinnt ein Spieler mit einer Siegesanordnung seiner Spielfiguren, dann verliert der andere Spieler dadurch automatisch.

Eine horizontale Siegesanordnung entsteht, wenn vier Spielfiguren eines Spielers in einer horizontalen Reihe, veranschaulicht in Abbildung 2.1, angeordnet sind. In jeder Reihe des Spielbretts ist ein horizontaler Sieg möglich.

In Abbildung 2.2 gewinnt der menschliche Spieler knapp gegen den Computergegner mit einer ununterbrochenen vertikalen Reihe. Der Computergegner hätte

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| X | X | X | X |
|   | O |   |   |
|   |   | O |   |
|   |   |   | O |

**Abbildung 2.1** Horizontale Siegesanordnung der 'X' Spielfiguren beim Tic Tac Toe.

fast eine diagonale Reihe aus Kreisen verbunden, die jedoch von dem menschlichen Spieler mit einer Spielfigur geblockt wurde. Zudem hätte der Computergegner auch fast eine vertikale Reihe ohne Unterbrechungen vervollständigt.

125

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| O | X |   |   |
|   | X | O | X |
|   | X | O | X |
|   | X | O | O |

**Abbildung 2.2** Vertikale Siegesanordnung der 'X' Spielfiguren beim Tic Tac Toe.

Die dritte und letzte Anordnungsvariante der Spielfiguren, welche zu einem Sieg eines Spielers führt, ist die diagonale Verbindung von vier Spielfiguren eines Spielers. In Abbildung 2.3 gewinnt der Computergegner mit einer diagonalen Anordnung von vier Spielfiguren ohne Unterbrechung einer gegnerischen Spielfigur.

Insgesamt existieren vier vertikale, vier horizontale und zwei diagonale Anordnungen der Spielfiguren, welche einen Sieg herbeiführen würden, also zehn verschiedene Siegesanordnungen. Was passiert jedoch, wenn keine der zehn möglichen Siegesanordnungen auftritt?

130



|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| X |   | X | O |
|   | X | O |   |
|   | O | X |   |
| O |   | X | O |

**Abbildung 2.3** Diagonale Siegesanordnung der 'O' Spielfiguren beim Tic Tac Toe.

Dann gewinnt bzw. verliert keiner der beiden Spieler und es entsteht ein Unentschieden. Sind die beiden Kontrahenten gleich gut, erfahren oder verwenden die selben Strategien, dann tritt ein Unentschieden möglicherweise öfter oder andauernd ein.

135

## Benutzerschnittstellen

Der Benutzer kann seine Kreuze auf das Spielbrett setzen indem er ein vorher vom Spiel definiertes Zahlentupel über die Tastatur eingibt. Welche Zahlentupel ein Kreuz an welche Stelle setzt ist in Abbildung 2.4 definiert. Sollte der menschliche Spieler keines der erlaubten Zahlentupel eingeben, dann wird er darauf hingewiesen, welche Steuerungsmöglichkeiten zum setzen der Spielfiguren ihm zur Verfügung stehen.

140

145

## Zusammenfassung in Anforderungen

### Analyse möglicher Siegesstrategien

#### 2.1.2 Vier Gewinnt

150

#### Spielprinzipien

**Tabelle 2.1** Anforderungen für das Tic Tac Toe Computerspiel

| <b>Anforderung</b>          | <b>Beschreibung</b>  |
|-----------------------------|--|
| Spielfeld                   | Das Spielfeld soll eine Matrix mit vier Zeilen und vier Spalten, also eine vier mal vier Matrix, sein.   |
| Spielzug                    | Jeder Spieler soll nacheinander eine Spielfigur in die vier mal vier Matrix setzen.  |
| Sieg und Niederlage         | Der Spieler der zuerst eine der möglichen Siegesanordnungen vervollständigt soll das Spiel gewinnen und der andere Spieler soll somit automatisch verlieren.   |
| Siegesanordnungen           | Es sollen drei verschiedene Siegesanordnungen möglich sein. Die horizontale, die vertikale und die diagonale Siegesanordnung.  |
| Horizontale Siegesanordnung | Vier Spielsteine eines Spielers befinden sich in genau einer Zeile der vier mal vier Matrix. Beispiel siehe Abbildung 2.1.   |
| Vertikale Siegesanordnung   | Vier Spielsteine eines Spielers befinden sich in genau einer Spalte der vier mal vier Matrix. Beispiel siehe Abbildung 2.2.  |
| Diagonale Siegesanordnung   | Vier Spielsteine eines Spielers befinden sich in einer Diagonalen der vier mal vier Matrix. Beispiel siehe Abbildung 2.3.  |
| Unentschieden               | Sind alle Felder der vier mal vier Matrix mit Spielfiguren belegt und keine der möglichen Siegesanordnungen der Spielfiguren ist aufgetreten, dann soll keiner der beiden Spieler gewinnen bzw. verlieren und ein Unentschieden tritt ein.   |
| Steuerung                   | Die Spieler sollen ihre Spielfiguren mit der Tasteingabe der Indizes der vier mal vier Matrix setzen. Das Zahlentupel '00' soll die Spielfigur des Spielers in die obere linke Ecke der Matrix setzen und das Zahlentupel '33' setzt die Spielfigur in die untere rechte Ecke der Matrix. Die gesamten Matrix Indizes, zum setzen der Spielfiguren, sind in Abbildung 2.4 definiert. |

|    |    |    |    |
|----|----|----|----|
| 00 | 01 | 02 | 03 |
| 10 | 11 | 12 | 13 |
| 20 | 21 | 22 | 23 |
| 30 | 31 | 32 | 33 |

**Abbildung 2.4** Steuerung des Setzen der Spielfiguren auf dem Tic Tac Toe Spielbrett.

### **Spielregeln**

### **Benutzerschnittstellen**

155

## **2.1.3 Black Jack**

### **Spielprinzipien**

### **Spielregeln**

160

### **Benutzerschnittstellen**

## **2.2 Lernverfahren**

### **165 2.2.1 Analyse und Auswahl der lernfähigen Algorithmen**

### **2.2.2 Anwendung der Algorithmen auf Computerspiele**

### **2.2.3 Konzeptuelles Training der Algorithmen**

### **2.2.4 Persistenz der Trainingsdaten**

# Implementierung

170

In diesem Kapitel: //TODO Einführung in das Kapitel

## 3.1 Computerspiele

## 3.2 Lernverfahren

## 3.3 Alternative Lernverfahren

# **Validierung**

In diesem Kapitel: //TODO Einführung in das Kapitel

## **4.1 Computerspiele**

### **4.1.1 Siegesbedingungen**

### **180 4.1.2 Spielregeln**

### **4.1.3 Benutzerschnittstellen**

### **4.1.4 Grafische Oberfläche**

## **4.2 Lernverfahren**

### **4.2.1 Messbare Testkriterien entwickeln**

### **185 4.2.2 Empirisches Protokoll**

### **4.2.3 Belastbarkeit und Grenzen**

### **4.2.4 Optimale Anwendungsgebiete**

## Text elements

In this chapter, some textual elements are shown, like figures, tables, lists, equations, etc. Also, bananas. At this point, to try it out, I will cite [a] different articles [a; b; c], as can be read in Ref. [b]. 190

### 5.1 Math

Far far away, behind the word mountains, far from the countries Vokalia and Consonantia, there live the blind texts. Separated they live in Bookmarksgrove right at the coast of the Semantics, a large language ocean. A small river named Duden flows by their place and supplies it with the necessary regelialia. It is a paradisiatic country, in which roasted parts of sentences fly into your mouth. Even the all-powerful Pointing has no control about the blind texts it is an almost unorthographic life One day however a small line of blind text by the name of Lorem Ipsum decided to leave for the far World of Grammar.

$$g(\varepsilon) = \frac{N}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{\varepsilon^2}{2\sigma^2}\right) \exp\left[-\frac{\varepsilon^2}{2\sigma^2}\right] \exp\left\{-\frac{\varepsilon^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (5.1)$$

Far far away, behind the word mountains, far from the countries Vokalia and Consonantia, there live the blind texts. Separated they live in Bookmarksgrove right at the coast of the Semantics, a large language ocean. A small river named Duden flows by their place and supplies it with the necessary regelialia. It is a paradisiatic country, in which roasted parts of sentences fly into your mouth. Even the all-powerful Pointing has no control about the blind texts it is an almost unorthographic life One day however a small line of blind text by the name of Lorem Ipsum decided to leave for the far World of Grammar.

$$\sum_{n=a}^b x_n = \int_0^{2\pi} r \cdot \cos(\theta) d\theta \quad (5.2)$$

## 5.2 References

195 The `cleveref` package is extremely useful to simplify references. In Section 5.3 occurs the Figure 5.1 and the Equation (5.1)?

## 5.3 Units

Let us try out *siunitx*:

12 345.678 90

200  $1 \pm 2i$

$0.3 \times 10^{45}$

$1.654 \times 2.34 \times 3.430$

$\text{kg m s}^{-1}$

$\text{kg m s}^{-1}$

205  $\text{kg m/s}$

$\text{kg m/(A s)}$

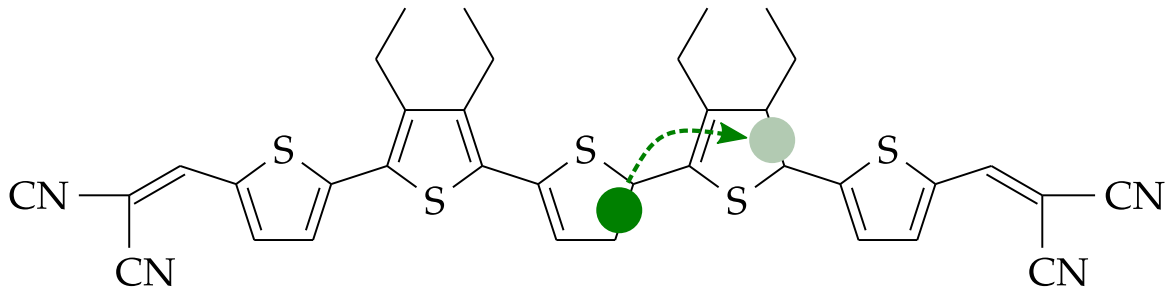
Far far away, behind the word mountains, far from the countries Vokalia and Consonantia, there live the blind texts. Separated they live in Bookmarksgrove right at the coast of the Semantics, a large language ocean. A small river named Duden flows by their place and supplies it with the necessary regelialia. It is a paradise-  
 210 matic country, in which roasted parts of sentences fly into your mouth. Even the all-powerful Pointing has no control about the blind texts it is an almost unorthographic life One day however a small line of blind text by the name of Lorem Ipsum decided to leave for the far World of Grammar.

## 215 5.4 Figures

Far far away, behind the word mountains, far from the countries Vokalia and Consonantia, there live the blind texts. Separated they live in Bookmarksgrove right at the coast of the Semantics, a large language ocean. A small river named Duden flows by their place and supplies it with the necessary regelialia. It is a paradise-  
 220 matic country, in which roasted parts of sentences fly into your mouth. Even the all-powerful Pointing has no control about the blind texts it is an almost unorthographic life One day however a small line of blind text by the name of Lorem Ipsum decided to leave for the far World of Grammar.

Far far away, behind the word mountains, far from the countries Vokalia and Consonantia, there live the blind texts. Separated they live in Bookmarksgrove right at the coast of the Semantics, a large language ocean. A small river named Duden flows by their place and supplies it with the necessary regelialia. It is a paradise-  
 225 matic country, in which roasted parts of sentences fly into your mouth. Even the

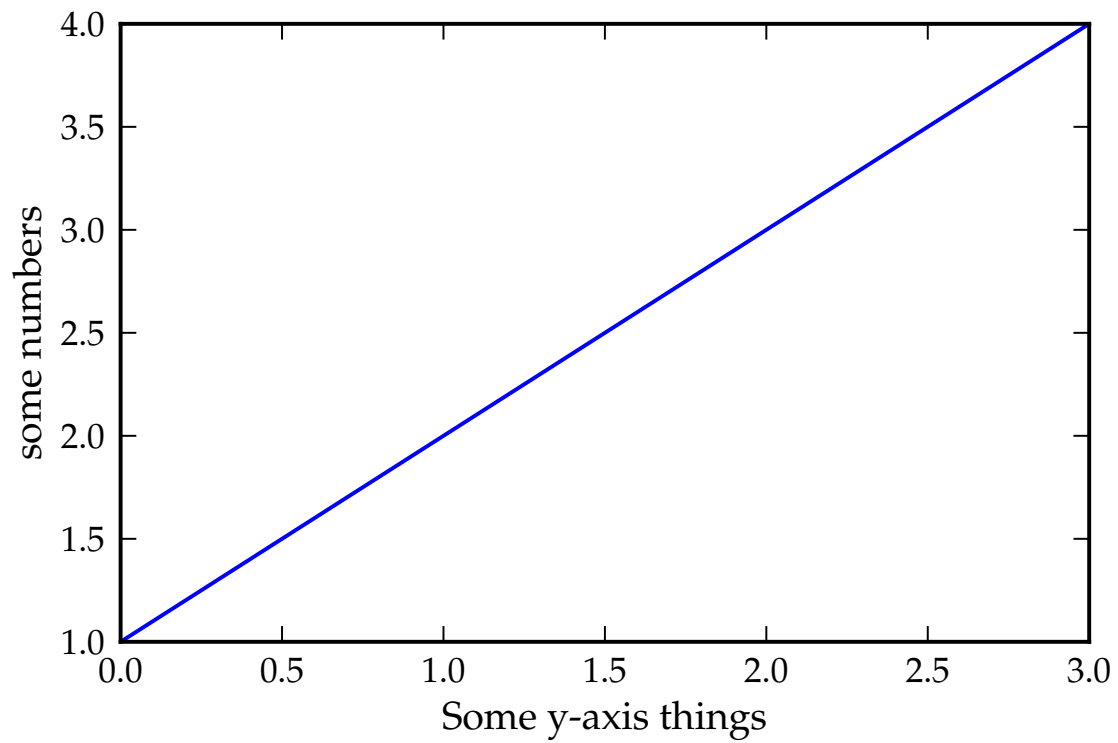




**Abbildung 5.1** I am a caption with  $a = b$  math!

all-powerful Pointing has no control about the blind texts it is an almost unorthographic life One day however a small line of blind text by the name of Lorem Ipsum decided to leave for the far World of Grammar. 230

Far far away, behind the word mountains, far from the countries Vokalia and Consonantia, there live the blind texts. Separated they live in Bookmarksgrove right at the coast of the Semantics, a large language ocean. A small river named Duden flows by their place and supplies it with the necessary regelialia. It is a paradisiatic country, in which roasted parts of sentences fly into your mouth. Even the all-powerful Pointing has no control about the blind texts it is an almost unorthographic life One day however a small line of blind text by the name of Lorem Ipsum decided to leave for the far World of Grammar. 235



**Abbildung 5.2** I am a much longer caption. This is because my father used to eat a lot of spinage and became rather tall and my mother was a giant. Also, there is  $\sum_{n=a}^b a_n$  math.

# Literatur

240

- [Alp08] Ethem Alpaydm. *Maschinelles Lernen*. 1. Aufl. Oldenbourg, 2008.
- [Bei14] Christoph Beierle. *Methoden wissensbasierter Systeme: Grundlagen, Algorithmen, Anwendungen*. 5. Aufl. Springer, 2014.
- [Ert16] Wolfgang Ertel. *Grundkurs Künstliche Intelligenz: Eine prakmatische Einführung*. 4. Aufl. Springer, 2016. 245
- [Har12] Peter Harrington. *Machine Learning: IN ACTION*. 1. Aufl. Manning, 2012.
- [Lö93] Jan Löschner. *Künstliche Intelligenz: Ein Handwörterbuch für Ingenieure*. 1. Aufl. VDI, 1993.
- [Ras16] Sebastian Raschka. *Machine Learning mit Python*. 1. Aufl. MIT Press, 2016.
- [Rus12] Stuart J. Russell. *Künstliche Intelligenz: Ein moderner Ansatz*. 3. Aufl. Pear- 250  
son, 2012.

# I am an appendix!

255 Far far away, behind the word mountains, far from the countries Vokalia and Con-  
sonantia, there live the blind texts. Separated they live in Bookmarksgrove right  
at the coast of the Semantics, a large language ocean. A small river named Duden  
flows by their place and supplies it with the necessary regelialia. It is a paradise-  
matic country, in which roasted parts of sentences fly into your mouth. Even the  
all-powerful Pointing has no control about the blind texts it is an almost unortho-  
260 graphic life One day however a small line of blind text by the name of Lorem Ipsum  
decided to leave for the far World of Grammar. The Big Oxmox advised her not to  
do so, because there were thousands of bad Commas, wild Question Marks and  
devious Semikoli, but the Little Blind Text didn't listen. She packed her seven ver-  
salia, put her initial into the belt and made herself on the way. When she reached  
265 the first hills of the Italic Mountains, she had a last view back on the skyline of her  
hometown Bookmarksgrove, the headline of Alphabet Village and the subline of  
her own road, the Line Lane. Pityful a rethoric question ran over her cheek, then

## A.1 Section in appendix!

270 Far far away, behind the word mountains, far from the countries Vokalia and Con-  
sonantia, there live the blind texts. Separated they live in Bookmarksgrove right  
at the coast of the Semantics, a large language ocean. A small river named Duden  
flows by their place and supplies it with the necessary regelialia. It is a paradise-  
matic country, in which roasted parts of sentences fly into your mouth. Even the  
all-powerful Pointing has no control about the blind texts it is an almost unortho-  
275 graphic life One day however a small line of blind text by the name of Lorem Ipsum  
decided to leave for the far World of Grammar. The Big Oxmox advised her not to  
do so, because there were thousands of bad Commas, wild Question Marks and  
devious Semikoli, but the Little Blind Text didn't listen. She packed her seven ver-  
salia, put her initial into the belt and made herself on the way. When she reached  
280 the first hills of the Italic Mountains, she had a last view back on the skyline of her

*Anhang A:* I am an appendix!

hometown Bookmarksgrove, the headline of Alphabet Village and the subline of her own road, the Line Lane. Pityful a rethoric question ran over her cheek, then

# Another appendix? What the heck?

## B.1 Section in appendix!

Far far away, behind the word mountains, far from the countries Vokalia and Consonantia, there live the blind texts. Separated they live in Bookmarksgrove right at the coast of the Semantics, a large language ocean. A small river named Duden flows by their place and supplies it with the necessary regalia. It is a paradisiacal country, in which roasted parts of sentences fly into your mouth. Even the all-powerful Pointing has no control about the blind texts it is an almost unorthographic life One day however a small line of blind text by the name of Lorem Ipsum decided to leave for the far World of Grammar. The Big Oxmox advised her not to do so, because there were thousands of bad Commas, wild Question Marks and devious Semikoli, but the Little Blind Text didn't listen. She packed her seven versalia, put her initial into the belt and made herself on the way. When she reached the first hills of the Italic Mountains, she had a last view back on the skyline of her hometown Bookmarksgrove, the headline of Alphabet Village and the subline of her own road, the Line Lane. Pityful a rethoric question ran over her cheek, then



## **Acknowledgements**

Acknowledgements go to the back!