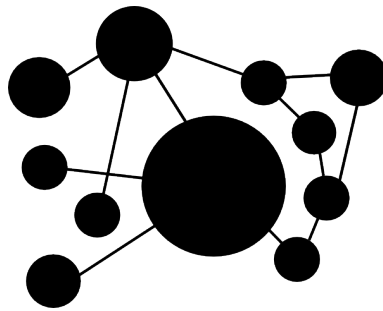


# **Seminararbeit**

## **Prognose von Zeitreihen mit Hilfe von künstlichen neuronalen Netzen am Beispiel von Börsenprognosen**



Sebastian Schötteler – Matrikelnummer 24 29 289

Benedikt Hofrichter – Matrikelnummer 22 72 198

13. Dezember 2015



**TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG**  
GEORG SIMON OHM

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>IV</b>
<b>Formelverzeichnis</b>	<b>V</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>VI</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation . . . . .	1
1.2 Ziel der Arbeit . . . . .	2
<b>2 Konzeption</b>	<b>3</b>
2.1 Konzeption der Anwendung . . . . .	3
2.1.1 Grundidee . . . . .	3
2.1.2 Mockup . . . . .	3
2.1.3 Das Neuroph Framework . . . . .	3
2.2 Konzeption des künstlichen neuronalen Netzes . . . . .	3
2.2.1 Wahl des Netztyps . . . . .	4
2.2.2 Wahl der Topologie . . . . .	8
2.2.3 Wahl des Lernverfahrens . . . . .	10
<b>3 Umsetzung</b>	<b>11</b>
3.1 Umsetzung der Anwendung . . . . .	11
3.2 Umsetzung des künstlichen neuronalen Netzes mit Neuroph . . . . .	11
3.3 Optimierung des künstlichen neuronalen Netzes . . . . .	12
3.3.1 Optimierung der Topologie . . . . .	12
3.3.2 Wahl der optimalen Transferfunktion . . . . .	13
3.3.3 Wahl der optimalen Lernregel . . . . .	13

3.3.4 Wahl der optimalen Lernrate . . . . .	14
3.4 Die endgültigen künstlichen neuronalen Netze . . . . .	15
3.5 Zusammenführung der Komponenten . . . . .	15
<b>4 Beschreibung der Anwendung</b>	<b>16</b>
4.1 Architektur der Anwendung . . . . .	16
4.2 Elemente der GUI . . . . .	17
<b>5 Analyse</b>	<b>20</b>
<b>6 Fazit</b>	<b>22</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>24</b>

## Abbildungsverzeichnis

2.1	Bildliche Erläuterung der linearen Separierbarkeit . . . . .	5
2.2	Beispielperzeptron zur Darstellung des XOR-Problems . . . . .	6
2.3	Grundlegendes Konzept des KNN . . . . .	7
2.4	Grundlegendes Konzept des KNN . . . . .	7
2.5	Grundlegendes Konzept des KNN . . . . .	9
3.1	Die Sigmoidfunktion und die Tanh Funktion im Vergleich . . . . .	13

## Tabellenverzeichnis

3.1	Jeweilige Topologien & korrespondierende MSE . . . . .	12
3.2	Jeweilige Transferfunktionen & korrespondierende MSE . . . . .	13
3.3	Jeweilige Lernregeln & korrespondierende MSE . . . . .	14

## Formelverzeichnis

Formel 2.1 Optimale Anzahl Neuronen in der versteckten Schicht . . . . .	9
Formel 2.2 Optimale Anzahl Neuronen in der versteckten Schicht . . . . .	9
Formel 3.1 Normalisierungsformel . . . . .	11
Formel 3.2 Sigmoidale Funktion sowie Tanh Funktion . . . . .	13
Formel 3.3 MSE zur Berechnung der Abweichung . . . . .	14

## Abkürzungsverzeichnis

<b>KNN</b>	Künstliches neuronales Netz .....	8
<b>DAX</b>	Deutscher Aktienindex	

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Die Untersuchung und Extrapolation von Zeitreihen ist ein bedeutendes Thema in zahlreichen Gebieten. Typische Anwendungsbereiche sind zum Beispiel die Prognose von Wetterdaten, von Therapieverläufen in der Medizin, von Arbeitslosenzahlen auf dem Arbeitsmarkt sowie von Börsenkursen. Um eine Zeitreihe möglichst genau zu extrapolieren, wird auf mehrere Hilfsmittel zurückgegriffen. Eins dieser Hilfsmittel können künstliche neuronale Netze (KNN) sein.

Bei KNN handelt es sich um Netzwerke mit künstlichen Neuronen als Knoten, die mittels gerichteter Verbindungen Eingaben einlesen, weiterverarbeiten und die daraus resultierenden Ergebnisse an weitere Neuronen weiterleiten oder als Ergebnis ausgeben. Bei der Terminologie von KNN wird bewusst auf Begriffe der Biologie zurückgegriffen, da KNN das biologische Gehirn als Vorbild nutzen und dessen Herangehensweise auf analoger Weise umzusetzen zu versuchen. Man nennt das Verfahren dieser Netze aus diesem Grunde auch *naturanaloge Verfahren*.

Warum sind diese Netze nun so interessant für Prognosen? Das Erstellen von zum Beispiel Börsenprognosen basiert in der Regel auf Auswertungen von Informationen verschiedener Quellen. Die Art von Auswertungen, wie Börsenexperten sie vornehmen, ist weder vollständig formalisierbar noch besonders exakt, da uneinheitlich und in weiten Zügen intuitiv. Besonders schwer ist hier das Ermitteln von *nichtlinearen Zusammenhängen*. Ein KNN ist jedoch in der Lage, diese Zusammenhänge zu finden und diese objektiv und vorurteilsfrei zu bewerten. Somit sind diese prinzipiell in der Lage, jedes beliebige Muster in jedem beliebigen Markt zu erkennen - auch solche, die noch nie zuvor von irgend jemand entdeckt wurden.



Ob und wie gut KNN zur Prognose geeignet sind, ist pauschal nicht zu beantworten. In manchen Gebieten mag die Prognosefähigkeit durchaus ausreichen. Je höher die geforderte Genauigkeit jedoch wird, desto diskutabler wird ein Einsatz von KNN. Eine typische Grauzone ist hier wieder die Prognose von Börsenkursen. Während Befürworter auf die Eigenschaft von KNN hinweisen, nichtlineare Muster zu erkennen und entsprechend zu behandeln, argumentieren Kritiker, dass ein System, das dem menschlichen Lernen nachempfunden wurde, die gleichen Fehler machen wird wie der Mensch. Generell ist jedoch zu sagen, dass die Prognosequalität von KNN über die Jahre stets angestiegen ist.

## 1.2 Ziel der Arbeit

In dieser Seminararbeit sollen KNN erschaffen werden, die in der Lage sind, Börsenkurse zu prognostizieren. Konkret sollen jeweils ein KNN zur Prognose des Kurses vom DAX, vom Nikkei sowie vom Dow Jones konzeptioniert und umgesetzt werden. Diese KNN sollen anschließend in einer Webanwendung überführt werden. Diese soll die Prognosefähigkeit der KNN visualisieren und Vergleiche zwischen einzelnen Prognosen ermöglichen. In dieser Seminararbeit liegt der Fokus auf das Erlangen eines Grundverständnisses über KNN, und nicht auf das komplette Ausreizen der Prognosefähigkeit von KNN. Trotzdem spielt die Prognosequalität der erstellten KNN eine wichtige Rolle in dieser Seminararbeit.

## **2 Konzeption**

### **2.1 Konzeption der Anwendung**

«Benedikt»

#### **2.1.1 Grundidee**

«Benedikt»

#### **2.1.2 Mockup**

«Benedikt»

#### **2.1.3 Das Neuroph Framework**

«Benedikt»

### **2.2 Konzeption des künstlichen neuronalen Netzes**

In den folgenden Abschnitten wird ein KNN konzeptioniert, dass als Vorlage für alle zu erstellenden KNN zur Prognose von Börsenkursen dienen soll.

### 2.2.1 Wahl des Netztyps

Zunächst ist zu ermitteln, welche Netztypen sich zur Prognose von Börsenkursen grundsätzlich eignen. Nicht jeder Netztyp ist gleichermaßen zur Prognose geeignet. Bestimmte KNN sind beispielsweise überhaupt nicht in der Lage, Prognosen zu erstellen.

Grundsätzlich lassen sich KNN in zwei Oberklassen unterteilen. Es gibt hetero-assoziative Netze sowie die auto-assoziative Netze. Hetero-assoziative Netze bilden einen Vektor  $A$  der Länge  $n$  auf einem Vektor  $B$  einer meist kürzeren Länge  $m$   $\{m \in \mathbb{N} | m \leq n\}$  ab. Auto-assoziative Netze wiederum bilden einen Eingabevektor der Länge  $n$  auf einem Ausgabevektor der gleichen Länge ab. Innerhalb dieser zwei Klassen lassen sich KNN wiederum in mehrere Netztypen aufteilen. Die folgende Tabelle liefert hierzu eine Übersicht:

Hetero-assoziative Netzmodelle	Auto-assoziative Netzmodelle
(M)Adaline	Hopfield-Netze
Perzeptron	Boltzmann Maschinen
Multilayerperzeptron	-

Das KNN soll mithilfe von mehreren vorhergehenden Börsenkursen den zukünftigen Börsenkurs prognostizieren. Da es sich bei den zu prognostizierenden Börsenkurs um einen skalaren Wert handelt, ist die Anzahl der Eingabeneuronen (und damit die Anzahl der Elemente des Eingabevektors) höher als die Anzahl der Ausgabeneuronen (und damit höher als die Anzahl der Elemente des Ausgabevektors). Somit sind für diese Seminararbeit nur hetero-assoziative Netze von Relevanz.

Aus der Menge der hetero-assoziativen Netze ist nun der Netztyp zu ermitteln, der für die Anwendung am geeignetsten ist.

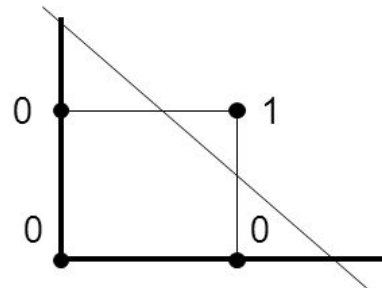
Zur Wahl eines geeigneten Netztyps kann zunächst die Lineare Separierbarkeit betrachtet werden:

**Definition 1.** *Definition der linearen Separierbarkeit*

Seien  $X_0$  and  $X_1$  zwei Datenmengen im  $n$ -dimensionalen euklidischen Raum. Dann sind die Mengen  $X_0$  and  $X_1$  genau dann „linear separierbar“, wenn es  $n + 1$  Werte  $w_1, w_2, \dots, w_n, k$ , gibt, sodass jeder Punkt  $x \in X_0$  die Bedingung  $\sum_{i=1}^n w_i x_i > k$  erfüllt und jeder Punkt  $x \in X_1$  die Bedingung  $\sum_{i=1}^n w_i x_i < k$  erfüllt.

Um das Verständnis der oben genannten Definition zu erleichtern, kann die folgende Abbildung betrachtet werden:

Logisches AND ist  
linear separierbar



Logisches XOR ist nicht  
linear separierbar

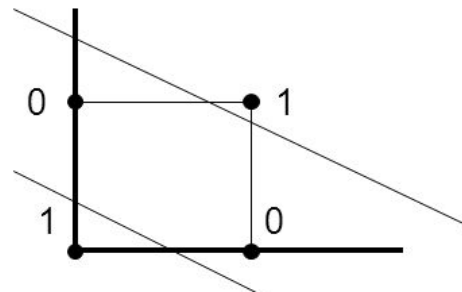


Abbildung 2.1: Bildliche Erläuterung der linearen Separierbarkeit

Man erkennt also, dass eine zweidimensionale Funktion dann als linear separierbar gilt, wenn zwischen zwei Ergebnismengen der Funktion eine Gerade gelegt werden kann. Analog setzt sich dies in Funktionen höherer Dimensionen fort. Ist die Funktion zum Beispiel dreidimensional, erfolgt die Separierung durch eine Ebene.

Es ist bewiesen, dass einschichtige KNN nur in der Lage sind, linear separierbare Funktionen zu berechnen. Den Konkreten Beweis dazu liefern Minski & Papert am Beispiel des XOR-Problems:

**Beweis 1.** Beweis der Eingeschränkten Fähigkeit von KNN anhand des XOR-Problems

Gegeben sind:

Ein Perzeptron der folgenden Bauart:

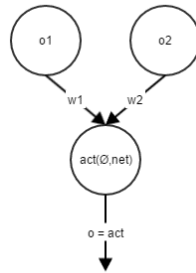


Abbildung 2.2: Beispielperzeptron zur Darstellung des XOR-Problems

und folgende Rahmenbedingungen:

$$w_1 \cdot 1 + w_2 \cdot 2 = net$$

$$f_{act}(o) = id$$

$\emptyset$  = Schwellenwert

Dann gilt folgendes:

a)  $w_1 \cdot 0 + w_2 \cdot 0 \leq \emptyset$  Bei einem Inputvektor (0,0) liefert der Output 0.

b)  $w_1 \cdot 0 + w_2 \cdot 1 \geq \emptyset$  Bei einem Inputvektor (0,1) liefert der Output 1.

c)  $w_1 \cdot 1 + w_2 \cdot 0 \geq \emptyset$  Bei einem Inputvektor (1,0) liefert der Output 1.

d)  $w_1 \cdot 1 + w_2 \cdot 1 \leq \emptyset$  Bei einem Inputvektor (1,1) liefert der Output 0.

Der Widerspruch ergibt sich wie folgt:

$$(b + c) : w_1 + w_2 \geq \emptyset \wedge (d) w_1 + w_2 \leq \emptyset$$

Dieser Beweis kann ebenfalls auf andere nicht linear separierbare Funktionen angewandt werden. Somit steht fest, dass ein einschichtiges Perzeptron nicht in der Lage sein kann, nicht linear separierbare Funktionen zu approximieren.

Auf Basis der oben genannten Tatsache kann ermittelt werden, ob ein einschichtiges Perzeptron zur Approximation von Börsenkursen geeignet ist. Dafür wurde ein ein Perzeptron folgender Bauart entwickelt und untersucht, ob dieses Konvergiert.

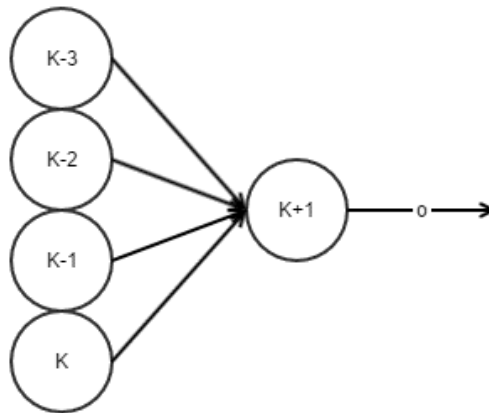


Abbildung 2.3: Grundlegendes Konzept des KNN

Bei Betrachtung des Netzwerkfehlers des Perzeptrons erkennt man, dass das Perzeptron nicht konvergiert:

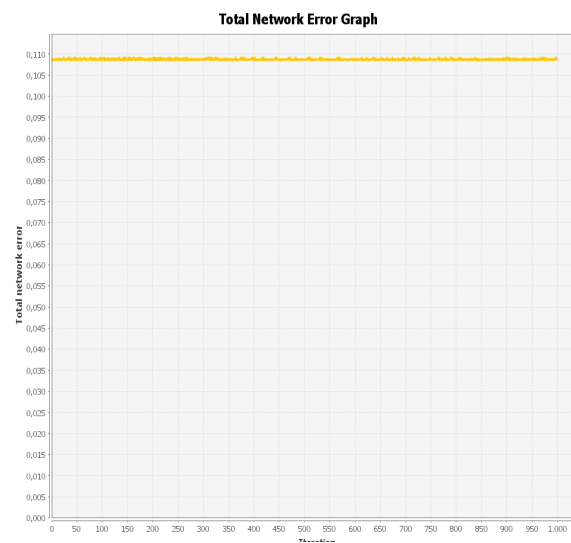


Abbildung 2.4: Grundlegendes Konzept des KNN

Der Netzwerkfehler des Perzeptrons bleibt über alle Iterationen konstant auf einen Niveau von circa 0,10.

Nun ist es sinnvoll, folgendes Theorem zu berücksichtigen:

**Theorem 1.** *Konvergenztheorem von Rosenblatt*

*Der Lernalgorithmus des Perzeptrons konvergiert in endlicher Zeit, d.h. das Perzeptron kann in endlicher Zeit alles lernen, was es repräsentieren kann.*

Betrachtet man alle oben genannten mathematischen Gegebenheiten, ergibt sich die folgende Relation:

Perzeptron konvergiert  $\rightarrow$  Funktion Linear separierbar  $\rightarrow$  Perzeptron geeignet. und natürlich analog: Perzeptron konvergiert nicht  $\rightarrow$  Funktion nicht Linear separierbar  $\rightarrow$  Perzeptron nicht geeignet.

Folglich bleibt nur noch das Multilayerperzeptron als Mögliche Auswahl übrig. Das dieses Künstliches neuronales Netz (KNN) tatsächlich zur Prognose geeignet ist, belegt das folgende Theorem:

**Theorem 2.** *Theorem von Kolmogorov*

*Für  $n \in \mathbb{N} | n > 2$  lässt sich jede reellwertige Funktion  $f : [0; 1]^n \rightarrow [0; 1]$  durch ein dreischichtiges vorwärtsverknüpftes Netz mit maximal  $n$  Einheiten in der Eingabeschicht,  $(2n + 1)$  Einheiten in der Zwischenschicht und  $2n + 1$  Einheiten in der Ausgabeschicht berechnen.*

Ein Börsenkurs kann prinzipiell jede beliebige Funktion annehmen. Durch das obige Theorem ist jedoch sichergestellt, dass das mehrschichtige vorwärtsgerichtete Netz in der Lage ist, diese Funktionen zu approximieren, da ein Multilayerperzeptron als universeller Approximator fungiert.

## 2.2.2 Wahl der Topologie

Zur Prognose des Börsenkurses sollen die letzten vier Börsenkurse als Input dienen. Durch diesen Input soll der Börsenkurs am nächsten Tag prognostiziert werden. Zur richtigen Dimensionierung der inneren Schicht können einige Richtlinien berücksichtigt werden:

- Die Anzahl der versteckten Neuronen in der inneren Schicht sollte nicht zu groß gewählt werden, damit das Netz das antrainierte Verhalten nicht “auswendig”lernt und dieses dann nur bereits trainierte Muster anwenden kann und es somit die Generalisierungsfähigkeit verliert. Man spricht in diesem Fall von Overfittin.g
- Die Anzahl der versteckten Neuronen in der inneren Schicht sollte auch nicht zu klein gewählt werden, da eine gewisse Menge an Neuronen wichtig sind, um sich Regeln merken zu können.
- Eine grobe Annäherung zur Bestimmung der Obergrenze der Anzahl von Neuronen in der versteckten Schicht liefert die folgende Formel:

$$N_h = \frac{N_d}{10 * (N_i + N_o)} \quad (2.1)$$

$N_h$  ist hierbei die Obergrenze,  $N_i$  ist die Anzahl der Inputneuronen und  $N_o$  die Anzahl der Outputneuronen. Da 450 Trainingsdaten verwendet werden. Bedeutet das für diese SEminararbeit konkret:

$$N_h = \frac{450}{10 * (4 + 1)} = 9 \quad (2.2)$$

Somit ergibt sich insgesamt die folgende Topologie:

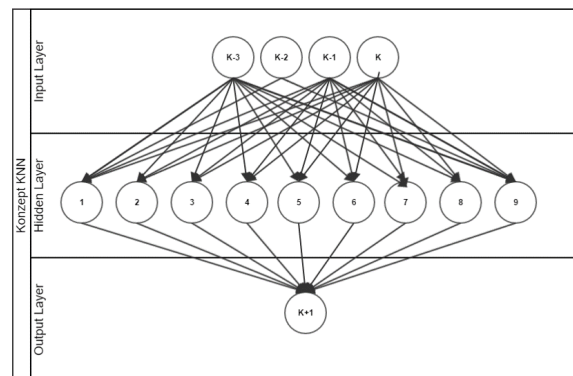


Abbildung 2.5: Grundlegendes Konzept des KNN



Die oben abgebildete Topologie stellt ein solides Grundkonstrukt dar, das in der Umsetzungsphase noch weiter optimiert werden kann.

### 2.2.3 Wahl des Lernverfahrens

Grundsätzlich gibt es drei grobe Klassifikation von Lernverfahren. In diesem Abschnitt werden alle drei Lernverfahren näher vorgestellt und anschließend eine Begründete Auswahl der Lernverfahrens getroffen.

- **Überwachtes Lernen:** Beim überwachten Lernen sind sowohl die Eingabedaten sowie die dazugehörigen Ausgabedaten bekannt. Mit Hilfe dieser Daten kann das KNN dann trainiert werden. Die berechneten Ausgabedaten können anschließend mit den tatsächlichen Ausgabedaten verglichen werden. Dieser Fehler wird dann genutzt, um die Verbindungsgewichte des KNN anzupassen. Typische Vertreter dieses Lernverfahrens sind die sogenannten Backpropagation-Lernverfahren.
- **Bestärkendes Lernen** Ähnlich wie das überwachte Lernen, jedoch biologisch motivierter ist das sogenannte bestärkende Lernen. Hier sind dem KNN die Eingabewerte zwar bekannt, aber die dazugehörigen Ausgabewerte nur zum Teil oder gar nicht. Das KNN wird lediglich darüber informiert, das Ergebnis richtig bzw. falsch war. Es ist ein sehr Zeitaufwändiges Lernverfahren, da es die Gewichte auf Grund der spärlichen Information nur sehr langsam anpassen kann. Dieser Verfahren kann als Mischung aus überwachtes Lernen und unüberwachtes Lernen gesehen werden.
- **Unüberwachtes Lernen** Das unüberwachte Lernen ist biologisch gesehen am plausibelsten. Bei diesem Lernverfahren existieren nur Eingabemuster, es existieren keine erwünschten Ausgaben oder Angaben, ob das Netz die Eingaben richtig oder falsch klassifiziert hat. Stattdessen versucht der Lernalgorithmus selbständig, Gruppen ähnlicher Eingabevektoren zu identifizieren und diese auf Gruppen ähnlicher oder benachbarter Neuronen abzubilden.

Da sowohl die Eingabewerte als auch die Ausgabewerte der zu verwendenden Datensätze bekannt sind, bietet sich das überwachte Lernen an. Verglichen mit den anderen Lernverfahren ist dies die effizienteste Lernmethode. Sie verfügt zwar über kein biologisches Vorbild, dieser Umstand hat aber für diese Seminararbeit keine Relevanz.

## 3 Umsetzung

### 3.1 Umsetzung der Anwendung

### 3.2 Umsetzung des künstlichen neuronalen Netzes mit Neuroph

In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie das KNN aus der Konzeptionsphase umgesetzt wurde. Zur Umsetzung wurde Neurophstudio verwendet. Neurophstudio ist ein Teil von Neuroph und erlaubt das Erstellen, Trainieren sowie Testen von KNN. Nachdem das KNN angelegt wurde, musste es noch trainiert und anschließend getestet werden. Für diesen Vorgang sind Trainings- sowie Testdaten notwendig. Die benötigten Daten konnten als Excel-Datei von der nachfolgenden Webseite bezogen werden: <http://www.quandl.com/>. Es wurden die letzten 600 Datensätze extrahiert und dann in 2 Datensätze aufgeteilt: Einen Datensatz bestehend aus 450 Trainingsdaten sowie einen Datensatz bestehend aus 150 Testdaten. Da diese Datensätze noch nicht normalisiert waren, die Daten jedoch in normalisierter Form für das KNN zur Verfügung stehen müssen, wurden diese mit folgender Formel normalisiert:

$$N_h = \frac{A - \min(A)}{\max(A) - \min(A)} \cdot 0,8 + 0,1 \quad (3.1)$$

Mit Hilfe dieser Normalisierungsformel ist sichergestellt, dass sich alle Werte der Datensätze im Intervall  $[0, 1]$  befinden, wobei die Multiplikation mit 0,8 sowie die Addition mit 0,1 Extremwerte abbildern soll.

Nachdem alle Komponenten für die Erstellung eines fertigen KNN vorhanden waren, konnte mit dem Training begonnen werden. Dafür wurden 200.000 Trainingszyklen gestartet

und mit einer Lernrate von 0,7 verwendet. Dieser Wert hat sich als ein guter Startwert herausgestellt.

### 3.3 Optimierung des künstlichen neuronalen Netzes

Nachdem das Grundmodell des KNN Funktionsfähig war, wurde dieses noch weiter optimiert, darauf wird nun in den folgenden Unterabschnitten genauer eingegangen.

#### 3.3.1 Optimierung der Topologie

Das im Abschnitt 3.2 wird in diesem Abschnitt hinsichtlich der verwendeten Topologie optimiert. Dabei wurden mit der Topologie begonnen und sukzessive Neuronen in der Zwischenschicht hinzugefügt bzw. weggelassen und für jeden Trainings- und Testverlauf der MSE notiert. Die Topologie mit den geringsten MSE im Testverlauf wurde dann übernommen. Die Ergebnisse können aus der folgenden Tabelle entnommen werden:

Topologie	Training-MSE	Test-MSE
4-05-1	0.000	0.000
4-07-1	0.000	0.000
4-11-1	0.000	0.000
4-01-1	0.000	0.000
4-14-1	0.000	0.000
4-17-1	0.000	0.000

Tabelle 3.1: Jeweilige Topologien & korrespondierende MSE

Demnach wird die neue Topologie des KNN mit sieben Neuronen in der versteckten Schicht arbeiten.

### 3.3.2 Wahl der optimalen Transferfunktion

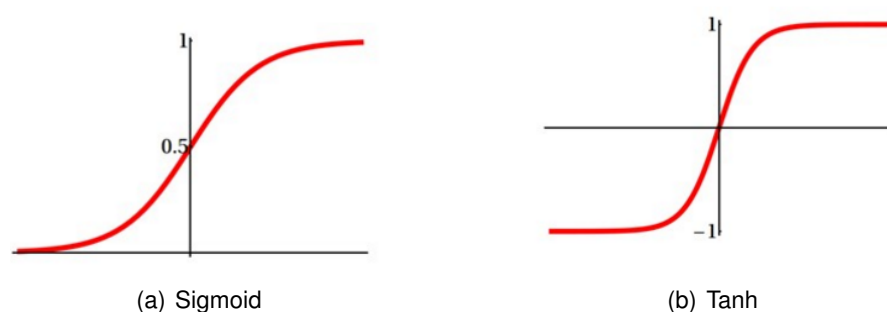


Abbildung 3.1: Die Sigmoid Funktion und die Tanh Funktion im Vergleich

$$(a) f(x) = \frac{1}{1 + e^{-cx}} \quad (b) f(x) = \tanh(x) \quad (3.2)$$

Das KNN wurde einmal mit einer Sigmoiden Funktion trainiert und getestet und anschließend nochmas mit einer Tanh Funktion trainiert und getestet. Die Ergebnisse können aus der untenstehenden Tabelle entnommen werden:

Transferfunktion	Mean Squared Error
Sigmoid	0.000
Tanh	0.000

Tabelle 3.2: Jeweilige Transferfunktionen & korrespondierende MSE

### 3.3.3 Wahl der optimalen Lernregel

Innerhalb des Verfahrens der überwachten Lernens existieren mehrere Lernregeln, um das Netz zu trainieren. Die bekannteste Lernregel dürfte hier das Backpropagation sein. Diese Regel gibt es ebenfalls in mehreren Variationen wie das momentum Backpropagation sowie das Resilient Backpropagation. Diese Fehlerrückführungsverfahren werden nun jeweils einzeln beschrieben und anschließend genauer analysiert und das für die Anweungs am besten geeignetste Verfahren ausgewählt.

- **Backpropagation:** Dies ist das klassische Fehlerrückführungsverfahren zum Anpassen der Verbindungsgewichte. Die Gewichtsveränderung erfolgt durch einen Fehlersignal, dass aus der Abweichung von tatsächlicher und prognostizierter Ausgabe berechnet wird. Die Gewichtsveränderung erfolgt hierbei schichtweise von den Ausgangsneuronen bis zu den Eingangsneuronen.
- **Momentum Backpropagation:** Dieses Backpropagationverfahren fügt dem klassischen Verfahren einen Trägheitsterm hinzu, indem die Gewichtsveränderung zum Zeitpunkt  $t - 1$  berücksichtigt wird. Der Momentumwert gibt dabei die Strärke an, wie stark dieser Wert berücksichtigt wird (zwischen 0 und 1). Durch diesen Trägheitsterm wird die Wahrscheinlichkeit, dass das KNN beim Training in ein lokales Minimum oszilliert und sich somit nicht weiter den Idealwert approximieren kann. Auch die Wahl der Lernrate gestaltet sich hier weniger kritisch.
- Zur Bestimmung des Fehlers zwischen der prognostizierten and tatsächlichen Ausgabe kann der MSE benutzt werden. Die MSE-Formel würde in den konkreten Fall der Anwendung wie folgt lauten:

$$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (KT_i - KV_i)^2 \quad (3.3)$$

Wobei  $n$  für die Anzahl der Datensätze steht,  $KT_i$  für den tatsächlichen Ausgabewert für den Datensatz  $i$  steht und  $KV_i$  für den prognostizierten Datensatz  $i$  steht.

Lernregel	Mean Squared Error
Backpropagation	0.000
Momentum Backpropagation	0.000
Resilient Propagation	0.000

Tabelle 3.3: Jeweilige Lernregeln & korrespondierende MSE

### 3.3.4 Wahl der optimalen Lernrate

Die Wahl der Lernrate erweist sich oft als ein schwieriges Unterfangen und wird oft über ein trial and error Verfahren ermittelt.

Ein zu hohe Lernrate eine zu niedrige Lernrate

Das ... Empfiehlt.....

### **3.4 Die endgültigen künstlichen neuronalen Netze**

### **3.5 Zusammenführung der Komponenten**

## 4 Beschreibung der Anwendung

### 4.1 Architektur der Anwendung

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Das hier ist der zweite Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Und nun folgt – ob man es glaubt oder nicht – der dritte Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte

möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Nach diesem vierten Absatz beginnen wir eine neue Zählung. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

## 4.2 Elemente der GUI

Das hier ist der zweite Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss



keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Und nun folgt – ob man es glaubt oder nicht – der dritte Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Nach diesem vierten Absatz beginnen wir eine neue Zählung. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Das hier ist der zweite Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An

ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

## 5 Analyse

Und nun folgt – ob man es glaubt oder nicht – der dritte Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Nach diesem vierten Absatz beginnen wir eine neue Zählung. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Das hier ist der zweite Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Und nun folgt – ob man es glaubt oder nicht – der dritte Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

## 6 Fazit

Nach diesem vierten Absatz beginnen wir eine neue Zählung. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Das hier ist der zweite Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Und nun folgt – ob man es glaubt oder nicht – der dritte Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Nach diesem vierten Absatz beginnen wir eine neue Zählung. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

## **Literaturverzeichnis**