

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden  
Fakultät Informatik/ Mathematik

Abschlussarbeit zur Erlangung des akademischen Grades

## **Master of Science**

Thema:

Adaption multilingual vortrainierter Modelle  
zur automatischen Zusammenfassung von  
Texten auf die deutsche Sprache

eingereicht von:	Daniel Vogel
eingereicht am:	13. August 2021
Erstgutachter:	Prof. Dr. Hans-Joachim Böhme
Zweitgutachter:	Dipl.-Kfm. Torsten Rex

# Autorenreferat

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet.

# Abstract

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet.

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	II
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
Quellcodeverzeichnis	VII
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Zielsetzung . . . . .	2
1.2 Aufbau der Arbeit . . . . .	3
1.3 Forschungsstand & Referenzen . . . . .	3
<b>2 Deep Learning</b>	<b>5</b>
2.1 Neuronale Netze . . . . .	5
2.2 Architekturen . . . . .	7
2.2.1 Recurrent Neural Networks . . . . .	7
2.2.2 Encoder-Decoder-Networks . . . . .	10
2.2.3 Attention in Neural Networks . . . . .	12
2.2.4 Transformer Networks . . . . .	14
2.3 Hyperparameter . . . . .	16
2.4 Transfer Learning . . . . .	18
<b>3 Natural Language Processing</b>	<b>20</b>
3.1 Vorverarbeitung . . . . .	21
3.1.1 Textbereinigung . . . . .	21
3.1.2 Textnormalisierung . . . . .	21
3.1.3 Tokenisierung . . . . .	23
3.2 Word Embeddings . . . . .	24
3.2.1 One-Hot-Encoding . . . . .	25
3.2.2 Bag-of-Words . . . . .	25
3.2.3 Skip-Gram-Model . . . . .	26
3.2.4 Word2Vec . . . . .	27
3.2.5 Byte-Pair-Encoding . . . . .	28
3.2.6 GloVe . . . . .	29

3.3	Deep Language Representations . . . . .	30
3.3.1	ELMo . . . . .	30
3.3.2	GPT . . . . .	31
3.3.3	BERT . . . . .	32
<b>4</b>	<b>Datengrundlage</b>	<b>35</b>
<b>5</b>	<b>Abstraktiver Ansatz</b>	<b>37</b>
5.1	Metriken . . . . .	37
5.1.1	ROUGE . . . . .	37
5.1.2	BLEU . . . . .	39
5.2	Architektur . . . . .	39
5.3	Experimente . . . . .	42
<b>6</b>	<b>Sprachtechnische Adaption</b>	<b>44</b>
6.1	Architektur . . . . .	44
6.2	Experimente . . . . .	44
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>45</b>
<b>8</b>	<b>Diskussion und Ausblick</b>	<b>46</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>50</b>
	<b>Thesen</b>	<b>54</b>
	<b>Selbstständigkeitserklärung</b>	<b>55</b>
<b>A</b>	<b>Erster Anhang</b>	<b>56</b>
<b>B</b>	<b>Zweiter Anhang</b>	<b>57</b>

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Ablauf einer automatischen Zusammenfassung [Thaker, 2019]. . . . .	1
2.1	Aufbau eines künstlichen Neurons [McCullum, 2020]. . . . .	6
2.2	Aufbau eines MLP [Raschka et al., 2019, S. 388]. . . . .	6
2.3	Typen von Generalisierungseffekten [Edpresso, O. J.]. . . . .	7
2.4	RNN mit verborgenen Zuständen [Zhang et al., 2020, S. 325]. . . . .	8
2.5	Aufbau einer LSTM-Zelle [Zhang et al., 2020, S. 357]. . . . .	10
2.6	Encoder-Decoder-Architektur [Zhang et al., 2020, S. 375]. . . . .	12
2.7	Attention-Schicht [Zhang et al., 2020, S. 390]. . . . .	13
2.8	Attention-Mechanismus [Zhang et al., 2020, S. 394]. . . . .	13
2.9	Self-Attention [Zhang et al., 2020, S. 400]. . . . .	14
2.10	Multi-Head-Attention [Zhang et al., 2020, S. 400]. . . . .	15
2.11	Transformer-Architektur [Zhang et al., 2020, S. 399]. . . . .	16
2.12	Konvergenzverhalten im Gradientenverfahren [Zhang et al., 2020, S. 429].	17
2.13	Gradientenverfahren unter Einfluss eines Momentums [CS231N, O. J.].	18
2.14	Fine-Tuning vortrainierter Modelle [Zhang et al., 2020, S. 555]. . . . .	19
3.1	Tokenisierung eines beispielhaften Satzes. . . . .	23
3.2	One-Hot-Encoding mit zwei beispielhaften Sätzen. . . . .	25
3.3	Word2Vec mit dem Embedding Projector von TensorFlow. . . . .	28
3.4	Architektur und Funktionsweise von ELMo [Irene, 2018]. . . . .	31
3.5	Architektur von BERT mit MLM [Devlin et al., 2019, S. 3]. . . . .	33
3.6	Repräsentation von Textdaten mithilfe von BERT [Devlin et al., 2019, S. 3].	34
5.1	Sequence-to-Sequence-Transformer-Modell mit BERT [Von Platen, 2020].	40

# Tabellenverzeichnis

3.1	Bag-of-Words mit einem beispielhaften Wortschatz [Huilgol, 2020]. . . . .	26
-----	---	----

# Abkürzungsverzeichnis

<b>ADAM</b>	Adaptive Momentum Estimation
<b>ATS</b>	Automatic Text Summarization
<b>BERT</b>	Bidirectional Encoder Representations from Transformers
<b>BLEU</b>	Bilingual Evaluation Understudy
<b>BOW</b>	Bag-of-Words
<b>BPE</b>	Byte-Pair-Encoding
<b>CUDA</b>	Compute Unified Device Architecture
<b>DL</b>	Deep Learning
<b>ELMo</b>	Embeddings from Language Models
<b>GloVe</b>	Global Vectors for Word Representation
<b>GPT</b>	Generative Pre-Trained Transformer
<b>GRU</b>	Gated Recurrent Units
<b>LCS</b>	Longest Common Subsequence
<b>LR</b>	Learning Rate
<b>LSTM</b>	Long-Short-Term-Memory-Networks
<b>ML</b>	Machine Learning
<b>MLM</b>	Masked Language Models
<b>MLP</b>	Multi-Layer-Perceptron
<b>NLG</b>	Natural Language Generation
<b>NLP</b>	Natural Language Processing
<b>NLTK</b>	Natural Language Toolkit
<b>NLU</b>	Natural Language Understanding
<b>OHE</b>	One-Hot-Encoding
<b>REFZ</b>	Referenzzusammenfassung
<b>RL</b>	Reinforcement Learning
<b>RNN</b>	Recurrent Neural Networks
<b>ROUGE</b>	Recall-Oriented Understudy for Gisting Evaluation
<b>SOTA</b>	State-of-the-Art



<b>SYSZ</b>	Systemzusammenfassung
<b>TL</b>	Transfer Learning
<b>W2V</b>	Word2Vec

# Quellcodeverzeichnis



# 1 Einleitung

Die Automatic Text Summarization (ATS) ist dem Bereich des Natural Language Processing (NLP) zuzuordnen und gewinnt zunehmend an wissenschaftlicher Relevanz. Obgleich entsprechende Modelle mittlerweile nicht mehr völlig neuartig sind, weisen die Entwicklungen der vergangenen Jahre qualitativ noch viele Potenziale auf [Yang et al., 2019, S. 1-2]. Einsatzmöglichkeiten entsprechender ATS-Modelle sind beispielsweise die Zusammenfassung von Nachrichten, die Zusammenfassung von Gesprächsprotokollen oder auch die Generierung von Überschriften, um nur wenige zu nennen [Goncalves, 2020]. Ziel ist in jedem Fall die Verdichtung von Informationen und die Reduktion der Lesezeit, wie Abbildung 1.1 demonstriert.



Abbildung 1.1: Ablauf einer automatischen Zusammenfassung [Thaker, 2019].

Mit besonderem Fokus auf das Gesundheitswesen lassen sich weiterhin zwei konkrete Einsatzgebiete konstruieren, in denen ein ATS-Modell in einem ganzheitlichen System als autarkes Modul implementiert werden könnte. Einerseits ist die Zusammenfassung von Patientengesprächen denkbar, wenn eine entsprechende Spracherkennung mit integrierter Sprechererkennung vorgeschaltet ist. Die verdichteten Informationen ließen sich anschließend zum Beispiel in Patientenakten exportieren oder anderweitig klassifizieren. Andererseits können Pflegeroboter, welche mitunter demente Patienten betreuen, durch ein ATS-Modell mit notwendigem Kontextwissen für die anstehenden Gespräche ausgestattet werden.

Die Anforderungen an ein ATS-Modell lassen sich aus dem individuell anvisierten Einsatzgebiet ableiten und können anhand verschiedener Faktoren klassifiziert werden. Demnach kann man prinzipiell zwischen dem extraktiven und dem abstraktiven Ansatz differenzieren [Gambhir et al., 2016, S. 5]. Extraktive Methoden bewerten die Sätze des ursprünglichen Textes anhand wort- und satzbezogener Attribute. Die Zusammenfassung entsteht sodann aus dem bewertungsgerechten Kopieren dieser Sätze [Kiani, 2017, S. 205-207]. Abstraktive Methoden hingegen verwenden Deep-Learning-Algorithmen, um Informationen zu identifizieren und entsprechende Zusammenfassungen mit völlig neuen Sätzen zu generieren [Nitsche, 2019, S. 1]. Weiterhin ist zu entscheiden, ob einzelne oder mehrere Dokumente zusammengefasst werden sollen, welcher Domäne diese Dokumente entstammen und ob möglicherweise eine Dialogorientierung vorliegt.

Aus technischer Sicht kommen bei der ATS grundsätzlich Sequence-to-Sequence-Modelle zum Einsatz. Dabei wird stets eine Eingabesequenz  $x = [x_1, \dots, x_n]$  in eine Ausgabesequenz  $y = [y_1, \dots, y_m]$  überführt, wobei  $n$  die Eingabelänge und  $m$  die Ausgabelänge ist. Die Sequenzen werden von Vektoren repräsentiert. Mithin wird bei der ATS  $m < n$  intendiert. Sequenzen bestehen hierbei aus Symbolen, also etwa Zeichen, Zeichenketten oder auch Ziffern. Architekturen modellieren also die bedingte Wahrscheinlichkeit  $P(y \mid x)$  [Nitsche, 2019, S. 32-33]. Die maßgebliche Herausforderung ist hierbei zum einen, dass ATS-Modelle tatsächlich die wichtigsten Informationen einer Eingabesequenz identifizieren. Zum anderen gilt es, diese Informationen in eine entsprechende Ausgabesequenz zu integrieren. Eben diese Ausgabesequenz ist zudem orthographisch und grammatikalisch korrekt zu generieren. Üblicherweise wird dieser Vorgang auch als Paraphrasierung bezeichnet. Menschen müssen diese Fähigkeit ebenfalls erst einmal erlernen.

## 1.1 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist dementsprechend die abstraktive Zusammenfassung einzelner Dokumente, wobei multilingual vortrainierte Modelle mittels Transfer Learning (TL) auf die deutsche Sprache adaptiert werden. Die Arbeit ist somit außerdem eine potenzielle Grundlage für die beiden konstruierten Einsatzgebiete aus dem Gesundheitswesen. Die Adaption auf die Domäne oder auch die Dialogorientierung ist nicht Teil dieser Arbeit.

Die Forschungsfragen lauten wie folgt:

- Wie lassen sich Texte automatisiert zusammenfassen?
- Wie können bereits existierende Modelle auf eine andere Sprache adaptiert werden?
- Wie qualitativ und skalierbar ist die Lösung?

## 1.2 Aufbau der Arbeit

Nach der Einleitung werden zunächst die Grundlagen des Deep Learning (DL) und des NLP offengelegt. Im Kapitel des DL werden neuronale Netze als solches definiert und ausgewählte Architekturen, welche auf die Zielerreichung einwirken, vorgestellt. Die Eigenschaften und die Relevanz von Hyperparametern und von TL schließen sich an. Im Kapitel des NLP werden neben der prinzipiellen Arbeit mit natürlicher Sprache und der entsprechenden Vorverarbeitung insbesondere sogenannte Word Embeddings und Deep Language Representations thematisiert.

Bevor die bis dahin behandelten Komponenten in ein tatsächliches Modell integriert werden können, ist die Beschreibung der Datengrundlage erforderlich. Zum daran anschließenden abstraktiven Ansatz gehört die Erläuterung der Architektur, die Beschreibung des Trainingsprozesses und die Evaluation der Ergebnisse. Bei der sprachtechnischen Adaption des Modells auf die deutsche Sprache werden zuerst entsprechende Anpassungen an der ursprünglichen Architektur konzipiert, bevor erneut der Trainingsprozess beschrieben wird und die dazugehörigen Ergebnisse evaluiert werden. Der entsprechende Quellcode wird in Python entwickelt.

## 1.3 Forschungsstand & Referenzen

Aufgrund der stetig fortschreitenden Entwicklungen überholt sich der Forschungsstand der ATS regelmäßig. Dennoch haben sich in den vergangenen Jahren gewisse Tendenzen erkennen lassen. Bereits zur Jahrtausendwende existierten erste ATS-Systeme. Waren die ersten Ansätze zumeist noch extraktiv, wurde sich in den vergangenen Jahren mehr und mehr auf die abstraktiven Ansätze konzentriert. Vor 2016 schienen Ansätze mit Recurrent Neural Networks (RNN) und Long-Short-Term-Memory-Networks (LSTM) sehr populär [Nallapati et al., 2016]. In den Jahren 2016 und 2017 etablierten sich Ansätze, welche auf Reinforcement Learning (RL) basierten [Paulus et al., 2017]. Seit 2018 legten diverse Ansätze mit Encoder-Decoder-Architekturen die Grundlage des heutigen

State-of-the-Art (SOTA) [Yang et al., 2019, Rothe et al., 2020], denn um den SOTA konkurrieren fast ausschließlich sogenannte Transformer. Diese basieren auf den Encoder-Decoder-Architekturen, implementieren verschiedenartige Attention-Mechanismen und haben sich sowohl unter qualitativen als auch unter ökonomischen und ökologischen Aspekten bewiesen [Zhang et al., 2020]. Diese Arbeit wird daher ebenfalls diesen Ansatz verfolgen.

Die Qualität der ATS kann mithilfe des sogenannten ROUGE-Scores evaluiert werden. Dieser wird ebenso wie andere noch unerklärte Architekturen in einem nachfolgenden Kapitel dieser Arbeit umfangreich erläutert und kann zunächst als gegeben betrachtet werden. Die folgenden ROUGE-Scores können als reproduzierbare Vergleichswerte verstanden werden: R-Recall: 15.96, R-Precision: 10.34, R-Measure: 12.22.

Weiterhin hat der Durchbruch frei verfügbarer vortrainierter Modelle die NLP-Welt revolutioniert, wie beispielsweise Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT) [Devlin et al., 2019] oder auch Embeddings from Language Models (ELMo) [Peters et al., 2018] sowie deren Weiterentwicklungen. Verschiedenste NLP-Aufgaben wie die ATS konnten hiervon sehr stark profitieren. Die konkreten Funktionsweisen werden ebenfalls im Verlauf dieser Arbeit offengelegt. Wissenschaftliche Publikationen, welche mit dieser Arbeit vergleichbar sind und in dieser Arbeit oftmals referenziert werden, lauten wie folgt:

- Text Summarization with Pre-Trained Encoders [Yang et al., 2019]
- German Abstractive Text Summarization using Deep Learning [Nitsche, 2019]
- Leveraging Pre-Trained Checkpoints for Sequence Generation [Rothe et al., 2020]

## 2 Deep Learning

Deep Learning ist ein Teilbereich des Machine Learning (ML). ML-Algorithmen analysieren Daten automatisiert mittels mathematischer Methoden der Mustererkennung. DL-Algorithmen bedienen sich hingegen vielschichtiger und hoch parametrisierter neuronaler Netze, um dem menschlichen Gehirn bestmöglich nachzuempfinden [Khanna, 2019, S. 455-457]. Dabei werden sehr große Datenmengen verarbeitet und analysiert, um einen Lerneffekt zu erzielen. Neben einer Eingabe- und einer Ausgabeschicht sorgen insbesondere die verborgenen Schichten für die prädizierte Tiefe. Hier werden Informationen weiterverarbeitet, abstrahiert und reduziert [Zhang et al., 2020, S. 131]. Die potenziellen Einsatzmöglichkeiten gehen über die der ML-Algorithmen hinaus. Der Aufbau neuronaler Netze sowie deren Funktionsweise und ausgewählte Architekturen werden in diesen Kapitel thematisiert. Hyperparameter und TL schließen sich an.

### 2.1 Neuronale Netze

Um den Aufbau und die Funktionsweise neuronaler Netze verstehen zu können, bedarf es zunächst der Beschreibung von Neuronen. Diese können im biologischen Sinne als Schalter verstanden werden, welche verschiedene Signale empfangen können und aktiviert werden, sobald genug Signale registriert wurden. Diese Aktivierung sendet folglich weitere Signale an andere Neuronen, wie Abbildung 2.1 im technischen Sinne exemplarisch skizziert [Kriesel, 2005, S. 42]. Hierfür werden Aktivierungsfunktionen benötigt, welche die gewichteten Eingangssignale in ein Ausgangssignal konvertieren. Sie ermöglichen es, nicht-lineare Zusammenhänge zwischen den Eingangs- und den Ausgangsdaten herzustellen [Zhang et al., 2020, S. 134].

Die elementarste Form neuronaler Netze wird Multi-Layer-Perceptron (MLP) genannt. MLP bestehen aus mehreren Schichten, deren Neuronen jeweils vollständig mit den Neuronen der umliegenden Schichten verbunden sind [Zhang et al., 2020, S. 131]. Der Verständlichkeit halber veranschaulicht Abbildung 2.2 einen solchen Aufbau mit nur einer verborgenen Schicht (engl. Hidden Layer), welche aus fünf Neuronen besteht. Dabei



zeichnen sich vollvermaschte Schichten (engl. Fully Connected Layer oder Dense Layer) dadurch aus, dass alle Neuronen mit allen Inputs und Outputs verbunden.

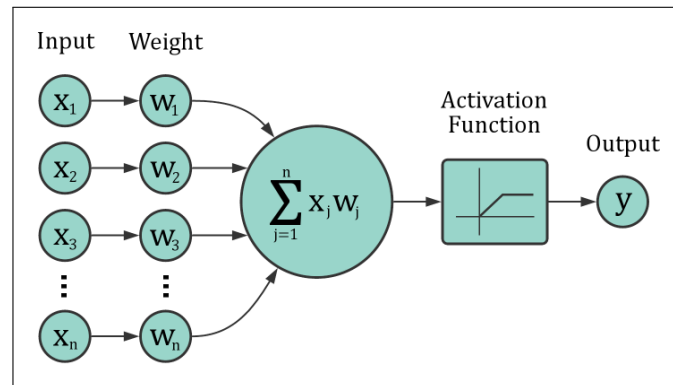


Abbildung 2.1: Aufbau eines künstlichen Neurons [McCullum, 2020].

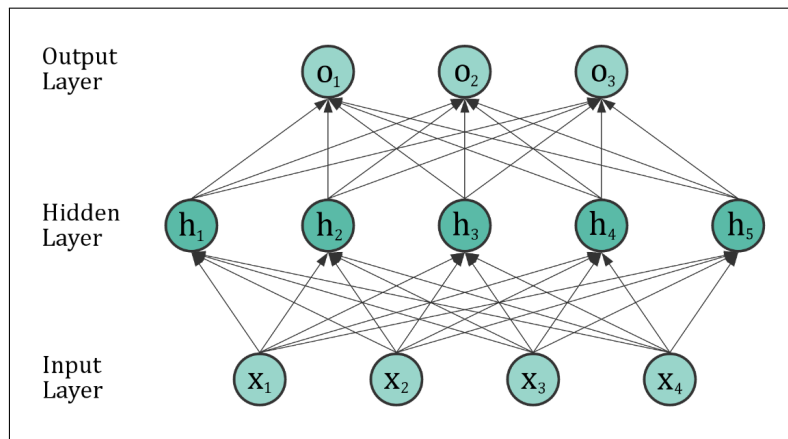


Abbildung 2.2: Aufbau eines MLP [Raschka et al., 2019, S. 388].

Ziel der hoch parametrisierten neuronalen Netze ist es, komplexe Funktionen hohen Grades bestmöglich zu approximieren und so verschiedenste Probleme zu lösen. Der anvisierte Lerneffekt wird mithilfe des sogenannten Backpropagation-Algorithmus erreicht. Hierbei werden Eingangsdaten zunächst vorwärts durch ein neuronales Netz hindurch propagiert. Mithilfe einer Fehlerfunktion wird sodann die erwartete mit der tatsächlichen Ausgabe verglichen und bewertet. Über das Gradientenverfahren werden die Fehler nun rückwärts durch das neuronale Netz propagiert und somit die Gewichte in den Neuronen angepasst, insbesondere in den verborgenen Schichten. Ziel ist die Minimierung der Fehlerfunktion und letztlich die Optimierung der durch das neuronale Netz approximierten Funktion [Zhang et al., 2020, S. 140, 169].

Der Trainingsprozess erfolgt optimalerweise über mehrere sogenannte Epochen. Hier werden dem neuronalen Netz verschiedene Eingangsdaten zugeführt und beidseitige Propagationen ausgeführt. Wichtig ist dennoch, kein Overfitting beziehungsweise Underfitting zu erzeugen. Dies würde bedeuten, dass das trainierte Modell zu sehr oder zu wenig auf die Trainingsdaten angepasst ist. Ziel ist ein möglichst hoher Generalisierungseffekt des Modells, wie Abbildung 2.3 zeigt. Das Modell sollte den Lernfortschritt auf unbekannte Daten adaptieren können und darauf eine hohe Genauigkeit erreichen. Es gibt verschiedene Ansätze, um beispielsweise Overfitting vorzubeugen. Hier seien insbesondere Batch Normalization, Dropout und Early Stopping genannt, wobei entsprechende Mechanismen an anderweitiger Stelle erläutert werden [Zhang et al., 2020, S. 143-149].

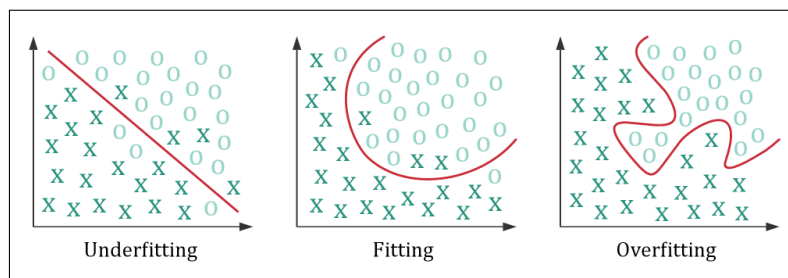


Abbildung 2.3: Typen von Generalisierungseffekten [Edpresso, O. J.].

## 2.2 Architekturen

Um mithilfe neuronaler Netze die ATS zu modellieren, werden nun ausgewählte Architekturen vorgestellt. Diese gehen weit über die als Grundlage beschriebenen MLP hinaus und verdeutlichen die Varietät neuronaler Netze.

### 2.2.1 Recurrent Neural Networks

Eingangsdaten der ATS haben in jedem Fall einen Textcharakter. Hierbei ist die Reihenfolge der Wörter hinsichtlich eines ausreichenden Textverständnisses von großer Bedeutung. Dies gilt sowohl für die Texte selbst als auch für die darin enthaltenen Sätze. Daher werden nun RNN vorgestellt, welche derart sequenzielle Daten mithilfe von zahlreichen verborgenen Zuständen in verborgenen Schichten verarbeiten können [Zhang et al., 2020, S. 301].

Sei  $h_t$  ein solcher verborgener Zustand und  $x_t$  ein Wort der Eingabesequenz an einem Index  $t > 0$ . Der Index ist hierbei als Position eines Wortes innerhalb eines Textes zu verstehen [Vaswani et al., 2017]. RNN können hierfür die Wahrscheinlichkeit

$$P(x_t | x_{t-1}, \dots, x_1) \approx P(x_t | h_{t-1})$$

modellieren. Der verborgene Zustand  $h_t$  kann unter Kenntnis des Wortes  $x_t$  und des verborgenen Zustandes  $h_{t-1}$  gemäß der daraus herleitbaren Funktion

$$h_t = f(x_t, h_{t-1})$$

berechnet werden. Letzterer verfügt über die sequenziellen Informationen bis zum Index  $t-1$ . Weiterhin ist erkennbar, dass die gegebene Funktion der Markoveigenschaft gerecht wird [Zhang et al., 2020, S. 323-324].

Abbildung 2.4 demonstriert den rechentechnischen Vorgang anhand von drei prototypischen verborgenen Zuständen unter gegebenen Eingangsdaten. Wie bereits bei der oben genannten Funktion ersichtlich wurde, gehen in einen verborgenen Zustand jeweils das momentane Wort und der vorhergegangene verborgene Zustand ein. Innerhalb eines verborgenen Zustandes werden diese beiden Eingangsgrößen mithilfe einer Aktivierungsfunktion in eine vollvermaschte Schicht überführt. Zudem wird die Ausgabeschicht mit dem momentanen Output versorgt [Zhang et al., 2020, S. 325]. Allgemein haben RNN also die Form einer Kette, in der Module neuronaler Netze immer wiederkehren [AI-United, 2019].

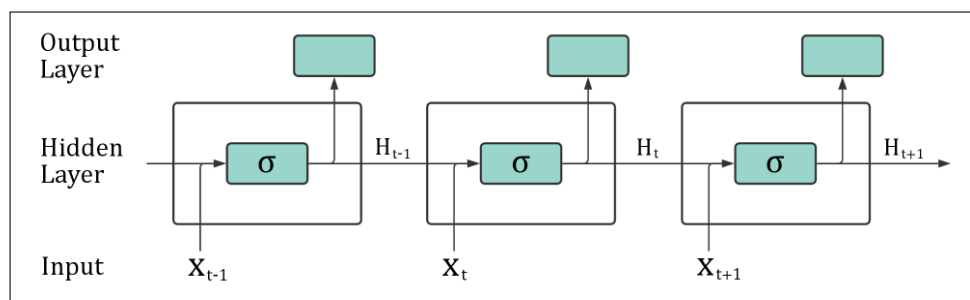


Abbildung 2.4: RNN mit verborgenen Zuständen [Zhang et al., 2020, S. 325].

Die bereits bekannte beidseitige Propagation ist auch bei RNN erforderlich, damit der Trainingsprozess zu einem entsprechenden Lernfortschritt führt. Während die vorwärtige Propagation den oben beschriebenen Prinzipien nachkommt, wird die Backpropagation nun über die Indizes hinweg durchgeführt (engl. Backpropagation Through Time). Bei

einer langen Eingabesequenz gehen entsprechend hochdimensionale Matrizen in die Berechnung ein. Dies ist sowohl aus rechentechnischer als auch aus numerischer Sicht nachteilig. Die Anzahl modellinterner Parameter steigt bei steigender Indexanzahl hingegen nicht [Zhang et al., 2020, S. 328, 340].

Außerdem können RNN bidirektional modelliert werden. Die verborgenen Zustände werden demnach stets mit den Werten vor und nach dem momentanen Index berechnet. Diese beidseitige Propagation ist allerdings sehr rechenaufwendig und wird in dieser Arbeit nicht weiter vertieft.

RNN treffen früher oder später auf das Problem verschwindender Gradienten (engl. Vanishing Gradients). Dies tritt insbesondere bei langen Eingabesequenzen auf und führt dazu, dass langfristige Abhängigkeiten nicht mehr gelernt werden können. Die modellinternen Parameter werden im Trainingsprozess bekanntermaßen mithilfe der Backpropagation aktualisiert. Aufgrund fortschreitender Multiplikationen mit Wahrscheinlichkeiten zwischen 0 und 1 werden die Gradienten immer kleiner, bis letztlich kein Lernfortschritt mehr zu verzeichnen ist [Arbel, 2018]. Dieses Verhalten kann auch als numerischer Unterlauf bezeichnet werden.

LSTM sind eine Art von RNN, welche dazu fähig sind, langfristige Abhängigkeit zu erlernen. Sie vermeiden das Problem verschwindender Gradienten [AI-United, 2019]. Außerdem verfolgen sie das Prinzip sogenannter Gated Recurrent Units (GRU). Der entscheidende Mechanismus lässt aus der Funktionsweise von Gates ableiten. Demnach entscheiden diese Gates mit einer Wahrscheinlichkeit zwischen 0 und 1, ob der erhaltene Wert weitergeleitet oder verworfen werden soll. Eine LSTM-Zelle verfügt über drei wesentliche Gates: Input Gate, Forget Gate, Output Gate [Zhang et al., 2020, S. 347-348].

Das Input Gate definiert, welche Werte in der Zelle berücksichtigt werden sollen. Hierzu gehören gemäß RNN das momentane Wort sowie der vorhergegangene verborgene Zustand. Das Forget Gate trifft eine Entscheidung darüber, ob und welche Werte gespeichert oder vergessen werden sollen. Hierfür eignen sich beispielsweise Aktivierungsfunktionen [Zhang et al., 2020, S. 355]. Über die intern festgelegte Logik kann somit der Zellzustand berechnet werden, unter anderem mithilfe punktweiser Matrixoperationen. Der Zellzustand wird sodann als neuer verborgener Zustand im Output Gate emittiert [Luber et al., 2018]. Der Aufbau einer LSTM-Zelle ist in Abbildung 2.5 zu sehen.

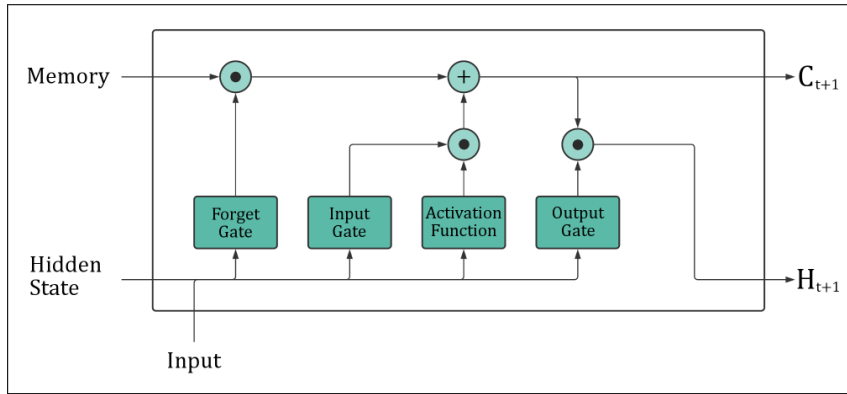


Abbildung 2.5: Aufbau einer LSTM-Zelle [Zhang et al., 2020, S. 357].

Ersetzt man die verborgenen Zustände in Abbildung 2.4 durch LSTM-Zellen, so wird man der beabsichtigten Funktionsweise eines LSTM gerecht. Mit fortschreitendem Trainingsprozess werden auch hier sequenzielle Abhängigkeiten gelernt, wobei als irrelevant angenommene Informationen stets verworfen werden. Der Vorteil gegenüber schlichter RNN besteht bei den LSTM hierdurch insbesondere darin, dass langfristige Abhängigkeiten besonders gut gelernt und bestimmte Informationen schneller gefunden werden können. Dies gilt vor allem für vielschichtige komplexe neuronale Netze, welche anderenfalls unübersichtlich und rechenaufwändig würden [Luber et al., 2018].

Zwar sind LSTM den RNN qualitativ in vielen NLP-Aufgaben überlegen, dennoch sind beide Architekturen eher statistisch getrieben und somit autark als veraltet zu bewerten. Obgleich sie als Grundlage prinzipiell verstanden werden sollten, dominieren maschinelle Lernverfahren qualitativ sowie ressourcentechnisch den SOTA mit verschiedenen anderweitigen Architekturen [Culurciello, 2018]. Diese werden nachfolgend hinreichend erläutert.

### 2.2.2 Encoder-Decoder-Networks

Encoder-Decoder-Architekturen sind zunächst einmal als Template zu verstehen, welches einer stets individuellen Entwicklung und Reife bedarf. Dabei bestehen entsprechende Modelle aus einem Encoder und einem Decoder [Zhang et al., 2020, S. 375-376]. Beide Module bestehen de facto aus neuronalen Netzen, welche beispielsweise durch RNN oder auch LSTM repräsentiert werden können. Hierdurch wird zugleich die Verarbeitung sequenzieller Daten ermöglicht. Hinsichtlich der anvisierten ATS spricht man daher auch von Sequence-to-Sequence-Modellen [Zhang et al., 2020, S. 377].

Im Encoder wird die Eingabesequenz zuerst eingebettet. Hierdurch entsteht ein Merkmalsvektor, welcher entlang eines zugrundeliegenden Wortschatzes aus den Indizes der eingegangenen Wörter besteht. Er ist die mathematisch verarbeitbare Version der Eingabesequenz. Dieser Vorgang wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit noch hinreichend beschrieben und untersucht. Der Merkmalsvektor geht sodann in das neuronale Netz des Encoders ein und wird in eine entsprechende Zustandsrepräsentation überführt [Yang et al., 2019].

Der Decoder wird mit den Ausgangsdaten des Encoders initialisiert. Die entsprechende Zustandsrepräsentation wird ebenfalls mithilfe eines neuronalen Netzes verarbeitet [Zhang et al., 2020, S.379]. Nun wird jedoch zusätzlich eine Ausgabesequenz generiert, welche der ATS gerecht werden soll. Wie bereits bekannt ist, gilt es letztlich die bedingte Wahrscheinlichkeit  $P(y \mid x)$  zu modellieren [Yang et al., 2019].

Es folgt nun eine mathematische Betrachtung der Encoder-Decoder-Architektur. Hierfür wird die genannte Zustandsrepräsentation als Kontextvektor  $c$  bezeichnet. Die Wahrscheinlichkeit für eine Ausgabe am Index  $t > 0$  kann demnach mit

$$P(y_t \mid y_1, \dots, y_{t-1}, c)$$

modelliert werden. Die Berechnung der verborgenen Zustände im Decoder erfordert nun den Merkmalsvektor, den Kontextvektor und den letzten verborgenen Zustand des Encoders. Hiermit kann

$$h_t = f(y_{t-1}, c, s_{t-1})$$

berechnet werden. Informationen, welche an vorherigen Indizes gespeichert sind, können rekursiv ermittelt werden. Architektonisch ist weiterhin zu beachten, dass die Konfiguration des Encoders der Konfiguration des Decoders gleicht. Dies gilt insbesondere für die Anzahl der verborgenen Schichten [Zhang et al., 2020, S. 379].

Um die theoretisch und abstrakt beschriebene Architektur zu veranschaulichen, werden die wesentlichen Module nun abschließend in Abbildung 2.6 visuell in Zusammenhang gebracht. Allgemein gilt: Eine Eingabesequenz  $x = [x_1, \dots, x_n]$  wird mithilfe des Encoders zunächst in einen kontinuierlichen Zustandsvektor  $z = [z_1, \dots, z_n]$  überführt, bevor der Decoder daraus die Ausgabesequenz  $y = [y_1, \dots, y_m]$  generieren kann [Vaswani et al., 2017]. Zuletzt sei noch erwähnt, dass es Suchalgorithmen wie die Beam Search mithilfe geeigneter mathematischer Ansätze ermöglichen, Ausgabesequenzen mit variablen Längen zu erzeugen [Zhang et al., 2020, S. 387].

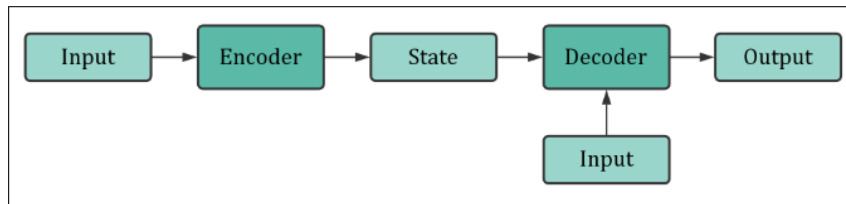


Abbildung 2.6: Encoder-Decoder-Architektur [Zhang et al., 2020, S. 375].

### 2.2.3 Attention in Neural Networks

Die Encoder-Decoder-Architektur kann im Kontext der ATS um einen sogenannten Attention-Mechanismus erweitert werden, welcher den Encoder mit dem Decoder verbindet [Vaswani et al., 2017]. Dabei geht es, wie die Übersetzung schon verrät, um Aufmerksamkeit. In der kognitiven Neurowissenschaft wird Aufmerksamkeit als ein Zustand gesteigerter Anspannung definiert, welcher selektive Wahrnehmung sowie entsprechendes Denken und Handeln umfasst. Diese Fähigkeit wird von einem ATS-Modell verlangt und mithilfe des Attention-Mechanismus realisiert. Um letztlich eine qualitative Zusammenfassung generieren zu können, selektiert der Attention-Mechanismus die wichtigsten Informationen aus dem Encoder, indem er die dort verarbeitete Eingabesequenz stets beobachtet und globale Zusammenhänge zwischen der Eingabesequenz und der Ausgabesequenz herstellt. Der Decoder wird dementsprechend darüber informiert. Hierfür sind geeignete mathematische Modelle zu entwerfen. Das ATS-Modell soll also menschenähnlichem Verhalten nachempfinden, weshalb es per Definition als KI-basierter Ansatz bezeichnet wird [Zhang et al., 2020, S. 389].

Der Attention-Mechanismus basiert indes auf einer Attention-Funktion, welche eine Query und ein Menge von Key-Value-Paaren einem Output zuordnet. Der Output wird dabei vektorweise als gewichtete Summe der Werte berechnet, während die Query determiniert, welchen Werten mehr Attention zugeordnet wird [Vaswani et al., 2017]. Abbildung 2.7 zeigt eine solche Attention-Schicht.

Die Funktionsweise des Attention-Mechanismus innerhalb einer Encoder-Decoder-Architektur kann nun mithilfe Abbildung 2.8 weiter vertieft werden, wobei hier Index  $t$  betrachtet wird. Dabei bettet der Encoder die Eingabesequenz in bekannter Weise ein und verarbeitet sie, indem die verborgenen Zustände über alle verborgenen Schichten hinweg berechnet werden. Die Attention-Schicht erhält in der Folge alle Informationen, die der Encoder verarbeitet hat. Der Decoder wird nicht nur über den vorangegangenen verborgenen Zustand des Encoders informiert, sondern auch über den aus der Attention-Schicht

resultierenden Kontext. Dieser wird als Antwort auf eine Query generiert, wobei eben diese Query wiederum durch den vorangegangenen verborgenen Zustand des Decoders repräsentiert wird [Zhang et al., 2020, S. 394]. Die Ausgabesequenz wird hierbei indexweise und autoregressiv generiert, da dem Decoder in jedem Index zusätzlich die bereits generierten Wörter zugeführt werden [Vaswani et al., 2017].

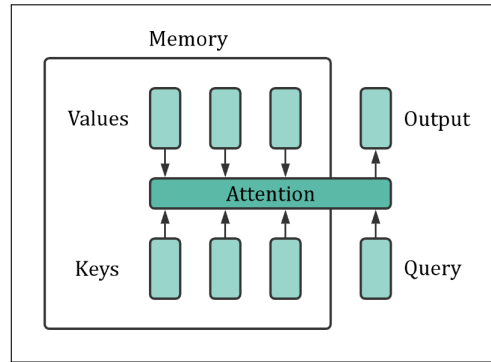


Abbildung 2.7: Attention-Schicht [Zhang et al., 2020, S. 390].

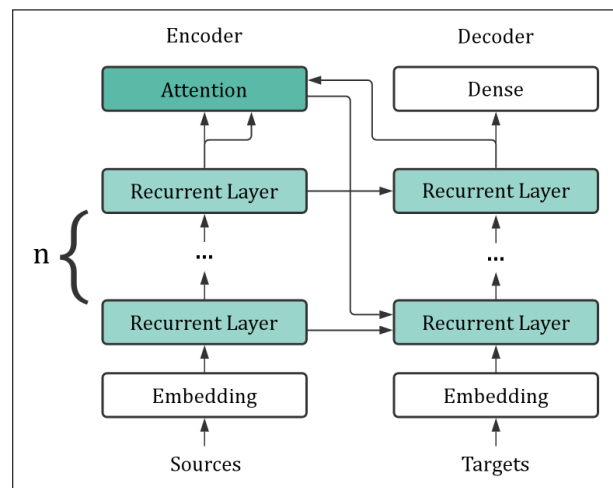


Abbildung 2.8: Attention-Mechanismus [Zhang et al., 2020, S. 394].

Weiterhin wird zwischen zwei Eigenarten unterschieden: Self-Attention und Multi-Head-Attention. Self-Attention transformiert innerhalb einer Query  $n$  Inputs in  $n$  Outputs. Dabei interagieren alle Inputs miteinander, um die Verteilung der globalen Attention zu bestimmen. Die Outputs entstehen folglich, indem die entsprechenden Scores aggregiert werden. Betrachtet man also einen Satz, dann ist die Attention jedes darin enthaltenen Wortes zu berechnen [Karim, 2019]. Abbildung 2.9 visualisiert die Self-Attention architektonisch.



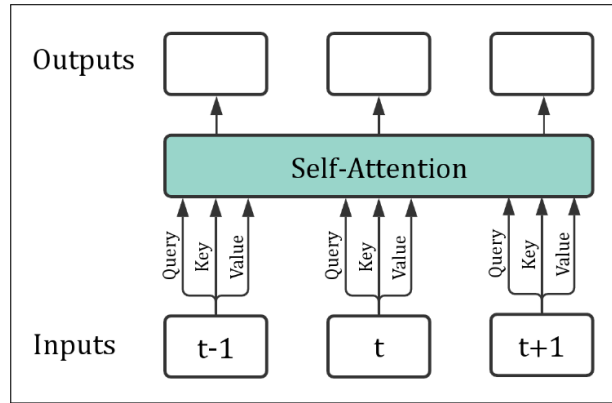


Abbildung 2.9: Self-Attention [Zhang et al., 2020, S. 400].

Multi-Head-Attention hingegen betrachtet direkt mehrere Queries. Die Matrizen der Queries  $Q$ , Keys  $K$  und Values  $V$  werden mithilfe entsprechender Gewichtsmatrizen dimensional reduziert, um

$$Head = Attention(QW^Q, KW^K, VW^V)$$

zu berechnen. Diese Berechnung geschieht  $h$ -mal, sodass entsprechend viele Heads in Form von Gewichtsmatrizen entstehen. Diese werden konkateniert und wiederum mit entsprechenden Gewichtsmatrizen transformiert, sodass

$$MultiHead(Q, K, V) = Concat(Head_1, \dots, Head_h) \cdot W^O$$

gilt. Hierdurch wird es dem Modell ermöglicht, Informationen aus verschiedenen Repräsentationen zu identifizieren. Betrachtet man also erneut einen Satz, dann werden die Informationen positionsunabhängig und satzübergreifend identifiziert [Vaswani et al., 2017]. Abbildung 2.10 visualisiert die Multi-Head-Attention architektonisch.

## 2.2.4 Transformer Networks

Transformer basieren ebenfalls auf der Encoder-Decoder-Architektur, wobei darüber hinaus verschiedene Attention-Mechanismen implementiert werden. Besonders ist hierbei, dass die Eingabesequenz parallel zur Anwendung der Attention-Mechanismen positionsabhängig eingebettet wird, um sequenzielle Informationen zu extrahieren. Dies führt insgesamt zu einem recht kompatiblen Modell, welches nur noch einer stark verringerten Trainingszeit bedarf [Zhang et al., 2020, S. 398].

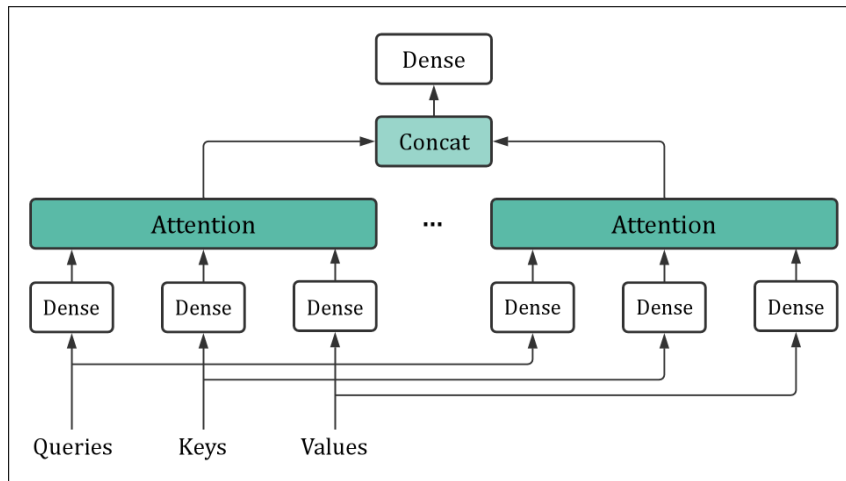


Abbildung 2.10: Multi-Head-Attention [Zhang et al., 2020, S. 400].

Architektonisch werden die rekurrenten Schichten bisheriger Sequence-to-Sequence-Modelle durch Transformer-Module ersetzt. Diese bestehen aus einer Multi-Head-Attention-Schicht, einem positionsabhängigen Feed-Forward-Netzwerk und einer sogenannten Layer-Normalization-Schicht. Eben diese wird benötigt, um für das entsprechende Modell einen generalisierenden Effekt zu erzielen. Transformer-Module analysieren die eingehenden Wörter unabhängig voneinander. Daher ist es wichtig, die Eingabesequenz positionsabhängig einzubetten, wie oben bereits angedeutet wurde. Hierdurch können sequenzielle Informationen extrahiert werden. Dabei werden überdies keine neuen Abhängigkeiten erlernt, wohl aber die Trainingszeit weiter reduziert [Zhang et al., 2020, S. 399-404]. Abbildung 2.11 visualisiert die Architektur im Vergleich zu Abbildung 2.8.

Zuletzt ist wichtig, dass Transformer und ihre Komponenten verschiedenartig konzipiert werden können. Dies wird stets durch das anvisierte Ziel bedingt. Eine hinsichtlich der ATS geeignete Architektur wird in einem entsprechenden Kapitel noch umfangreicher offengelegt. Zudem können bestimmte Komponenten der Transformer durch vortrainierte Modelle repräsentiert werden. Dies wird ebenfalls im weiteren Verlauf dieser Arbeit thematisiert, nachdem entsprechende Grundlagen dargelegt wurden.

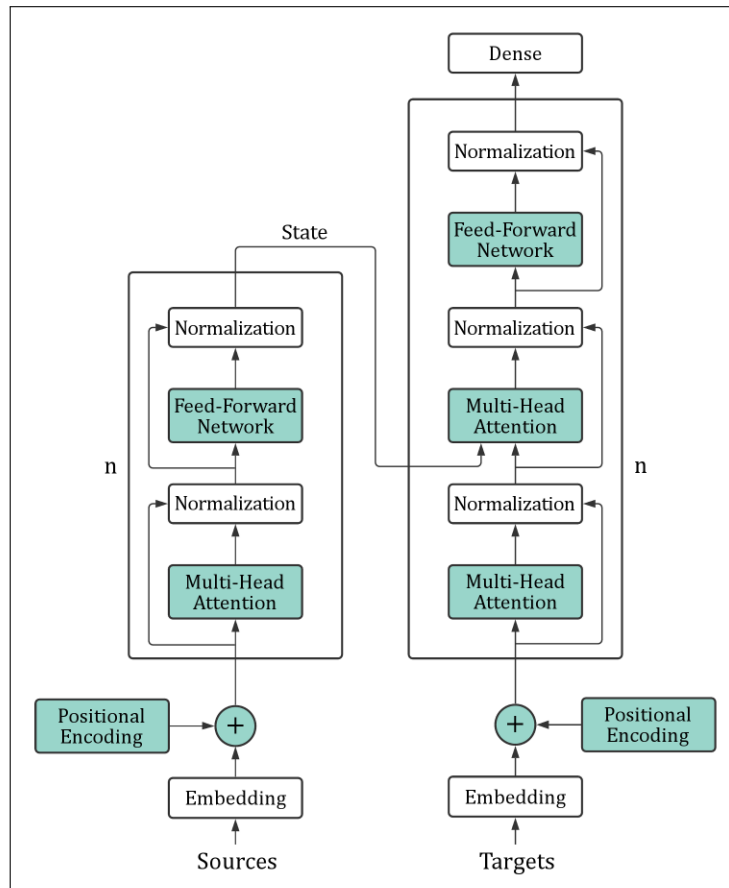


Abbildung 2.11: Transformer-Architektur [Zhang et al., 2020, S. 399].

## 2.3 Hyperparameter

Hyperparameter sind Parameter einer Architektur, die bereits vor dem eigentlichen Trainingsprozess definiert werden. Sie bedürfen einer separaten Optimierung, da sie eben dieses Training und folglich auch die Qualität des entstehenden Modells enorm beeinflussen. Ziel ist es hierbei, die beste Kombination aller Hyperparameter zu finden, um die Fehlerfunktion hinreichend zu minimieren [Yang et al., 2020, S. 1].

Dies wird im Trainingsprozess als Teil der Backpropagation durch das Gradientenverfahren erreicht, welches die methodische Lösung allgemeiner Optimierungsprobleme übernimmt. Entlang eines negativen Gradienten wird das globale Minimum der dazugehörigen Fehlerfunktion gesucht, bis keine numerische Verbesserung mehr zu verzeichnen ist [Zhang et al., 2020, S. 428]. Im weiteren Verlauf werden ausgewählte Hyperparameter, welche das Gradientenverfahren und damit den allgemeinen Trainingsprozess hochgradig beeinflussen, mehr oder minder tiefgründig vorgestellt.

Die Learning Rate (LR) ist ein Hyperparameter, der bestimmt, wie viel Einfluss jede einzelne Epoche im Trainingsprozess auf die Anpassung der Gewichte nimmt. Sie gilt mithin als wichtigster Hyperparameter einer Architektur [Zhang et al., 2020, S. 428]. Eine zu niedrige LR kann den Trainingsprozess entweder stark verlangsamen oder dafür sorgen, dass kein Lernfortschritt mehr erzielt wird, da lokale Minima der Fehlerfunktion nicht übersprungen werden können und fälschlicherweise als globales Minimum interpretiert werden. Eine zu hohe LR kann hingegen sehr abrupte Anpassungen der Gewichte verursachen, sodass potenziell auch das globale Minimum übersprungen werden kann [Zhang et al., 2020, S. 414-415]. Abbildung 2.12 verdeutlicht diese Bedingungen. Ziel ist allgemein eine möglichst schnelle Konvergenz.

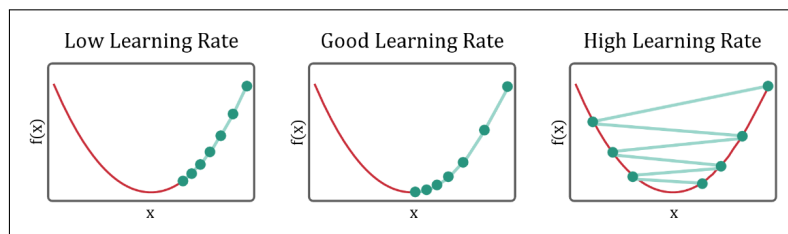


Abbildung 2.12: Konvergenzverhalten im Gradientenverfahren [Zhang et al., 2020, S. 429].

Neben der sorgfältigen manuellen Auswahl der LR, etwa mithilfe eines sogenannten LR-Schedule, ist es weiterhin möglich, eine adaptive LR einzuführen. Hierbei wird die LR in jeder Epoche verändert. Üblich ist hier eine Reduktion der LR, wenn bereits akzeptable Ergebnisse erreicht wurden [Zhang et al., 2020, S. 433].

Außerdem existiert das stochastische Gradientenverfahren, welches pro Epoche nur eine Stichprobe der verfügbaren Trainingsdaten berücksichtigt und einen generalisierenden Effekt verspricht [Zhang et al., 2020, S. 437]. Die Größe der Stichprobe wird üblicherweise als Batch Size bezeichnet und an dieser Stelle nur als weitergehender Hyperparameter genannt [Zhang et al., 2020, S. 446].

Weiterhin unterstützt das Momentum die bereits beschriebene LR auf der Suche nach dem globalen Minimum in der Fehlerfunktion. Dabei berücksichtigt es den Durchschnitt vorheriger Gradienten. Auf dieser Grundlage wird entschieden, in welche Richtung das stochastische Gradientenverfahren weiter absteigen soll, wie Abbildung 2.13 zeigt. Das Momentum ist somit potenziell in der Lage, lokale Minima zu überspringen und die Suche erst im tatsächlichen globalen Minimum zu beenden [Zhang et al., 2020, S. 453-456].

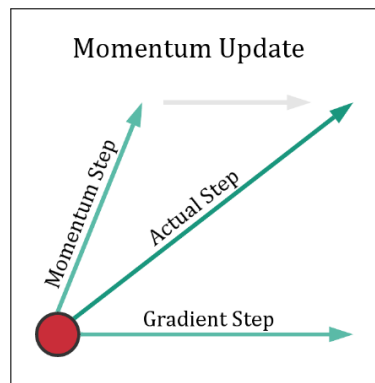


Abbildung 2.13: Gradientenverfahren unter Einfluss eines Momentums [CS231N, O. J.].

Bei der Auswahl eines hohen Momentums sollte die LR eher niedriger sein, oder anders herum. Eine Möglichkeit der stochastischen Optimierung ist hierbei Adaptive Momentum Estimation (ADAM). Dieser Algorithmus übernimmt nicht nur die Auswahl der adaptiven LR, sondern auch die Auswahl des entsprechenden Momentums. ADAM arbeitet weitreichenden Analysen zufolge effizient für daten- und parameterintensive Probleme. Dabei konvergiert der Algorithmus üblicherweise schneller als vergleichbare Optimierungsalgorithmen [Kingma et al., 2017, S. 1-2].

Zuletzt ist noch das Weight Decay erwähnenswert. Dieses meint die Multiplikation der Gewichte einer Architektur nach jeder Epoche mit einem Faktor kleiner als eins, um sehr große Gewichte zu verhindern. Die Gefahr von Overfitting wird hierbei verringert, während sich die Generalisierung des Modells verbessert [Zhang et al., 2020, S. 154]. Allgemein lässt sich die optimale Kombination aller Hyperparameter auch durch Techniken wie Grid Search (vgl. Brute-Force) annähern [Yang et al., 2020, S. 24].

## 2.4 Transfer Learning

TL ist in den letzten Jahren wissenschaftlich immer bedeutsamer geworden, da DL-Modelle heutzutage sehr komplex und Trainingsprozesse sehr zeit- und rechenintensiv sind. Unter TL versteht man das Wiederverwenden bereits vortrainierter neuronaler Netze für die Lösung neuartiger Probleme. Das initiale Training obliegt hierbei meist großen Unternehmen oder Institutionen. Dabei werden die erprobten Modelle sodann als Startpunkt genutzt und nur noch auf die neuen Probleme adaptiert, anstatt eigene Modelle von Grund auf neu zu trainieren. Anwender profitieren hier zeitlich, qualitativ

und technisch. Zumeist sind architektonische Anpassungen in den hinteren Schichten der vortrainierten Modelle erforderlich, sodass sie sich für die Lösung der neuen Probleme eignen, wie Abbildung 2.14 veranschaulicht. Zudem ist ein gezieltes weitergehendes Training mit entsprechenden Daten notwendig. Inwieweit die neuen Daten auf die vortrainierten Modelle einwirken sollen, ist individuell zu erproben [Zhang et al., 2020, S. 554].

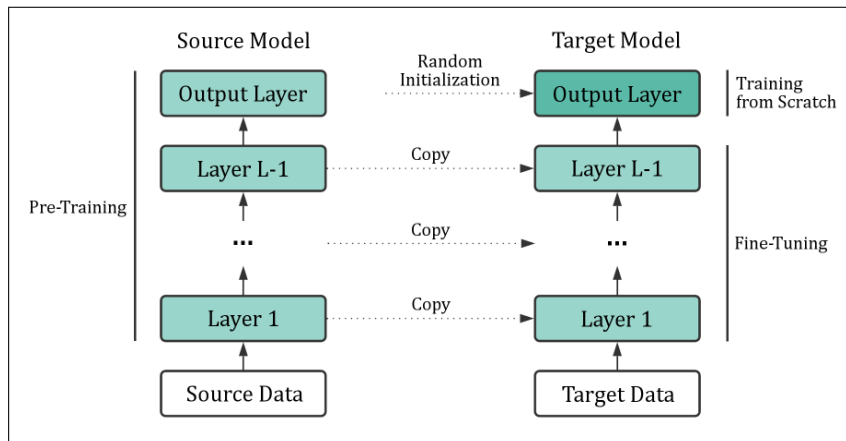


Abbildung 2.14: Fine-Tuning vortrainierter Modelle [Zhang et al., 2020, S. 555].

TL wird auch in dieser Arbeit genutzt. Einige Komponenten der bereits vorgestellten Architekturen, wie beispielsweise der Encoder oder auch der Decoder, können durch vortrainierte Modelle repräsentiert werden. Hier wird inhaltlich sowie kontextuell in den folgenden Kapiteln angeknüpft, da zunächst die Einführung weiterer NLP-Grundlagen erforderlich ist. Die angeführten Vorteile von TL können nichtsdestotrotz folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Zeitersparnis durch Überspringen des initialen Trainings
- Qualitätsanstieg und Generalisierung durch Berücksichtigung massenhafter Daten
- Reduktion von hardwaretechnischen Anforderungen, Kosten und Stromverbrauch

## 3 Natural Language Processing

Natürliche Sprache wird auch als menschliche Sprache bezeichnet und ist historisch gewachsen. Sie verfolgt orthographische und grammatikalische Regeln auf Grundlage eines sprachabhängigen Wortschatzes. Die Sprachwissenschaft, auch Linguistik genannt, untersucht natürliche Sprache mithilfe verschiedener Methoden. NLP meint die maschinelle Verarbeitung natürlicher Sprache. Dabei werden Methoden der Linguistik unter anderem mit Methoden des Deep Learning verknüpft [Bird et al., 2009, S. 1]. Nicht selten ist eine Spracherkennung vorgeschaltet. NLP ist weiterhin in Natural Language Understanding (NLU) und Natural Language Generation (NLG) zu untergliedern [Bird et al., 2009, S. 27-28]. Diese Teilgebiete sind zugleich wesentliche Herausforderungen der ATS.

NLP-Aufgaben sind oftmals als Optimierungsprobleme zu verstehen. Lösungen sind demnach nicht eindeutig, also im mathematischen Sinne analytisch nicht lösbar. Dies wird in Hinblick auf die ATS deutlich, wenn man verschiedene Personen den gleichen Text zusammenfassen lässt. Zwar gleichen sich die als relevant identifizierten Informationen größtenteils, doch die Formulierungen sind mitunter sehr unterschiedlich. Folglich können auch mehrere Versionen korrekt sein.

Natürliche Sprache bedarf hinsichtlich maschineller Verarbeitung einer geeigneten mathematischen Form. Hierfür werden nachfolgend verschiedene Vorverarbeitungsschritte sowie Word Embeddings und Deep Language Representations vorgestellt. Der Anspruch auf Vollständigkeit entfällt aufgrund der Mächtigkeit des NLP, obgleich anknüpfende Inhalte bei Bedarf an den entsprechenden Stellen erläutert werden.

## 3.1 Vorverarbeitung

In nahezu allen Teilbereichen der Data Science stehen gewöhnlicherweise etliche Vorverarbeitungsschritte an, um die zu analysierenden Daten zu bereinigen, zu normalisieren und insgesamt in eine konsistente sowie geeignete Form zu bringen. Im NLP-Kontext sind indes komplexere Vorverarbeitungsschritte erforderlich, um die Daten für die eingeforderte mathematische Form zu präparieren [Bird et al., 2009, S. 86]. Eine Auswahl der in dieser Arbeit relevanten Schritte wird nachfolgend vorgestellt. In der Implementierung dieser chronologisch aufeinander folgenden Schritte spricht man auch von der NLP-Pipeline.

### 3.1.1 Textbereinigung

An erster Stelle der NLP-Pipeline steht die Textbereinigung, welche sich bezüglich eingehender Sequenzen insbesondere auf Sonderzeichen, Interpunktion sowie Klein- und Großschreibung konzentriert. Dabei ist es mitunter bereits herausfordernd, entsprechende Textstellen als solche zu identifizieren. Anschließend sind oftmals normalisierende Maßnahmen anzuwenden. Üblich ist beispielsweise das Entfernen von Sonderzeichen oder auch das Erzwingen von Kleinschreibung in allen eingehenden Texten [Bird et al., 2009, S. 107]. Weit verbreitet ist auch das Entfernen von Stoppwörtern. Dies sind Wörter, welche mutmaßlich der Allgemeinsprache zugehören, weshalb angenommen wird, dass sie keine entscheidende inhaltliche Bedeutung besitzen [Gambhir et al., 2016, S. 5]. Hier lässt sich jedoch keine allgemeingültige Aussage treffen, da die tatsächlich erforderlichen Maßnahmen sowohl von den Eigenschaften der Eingangsdaten als auch von den Besonderheiten der verwendeten Modelle und den verfolgten Zielen abhängen. Dabei ist die Datenexploration wiederkehrend und alternierend mit der Anpassung der Vorverarbeitung auszuführen. Der Anwender sollte hierbei ein Gefühl für die Daten und deren Besonderheiten entwickeln. Zudem bedarf es einem tiefgründigen Verständnis der geplanten Aufgaben, um beurteilen zu können, welche Vorverarbeitungsschritte tatsächlich relevant sind.

### 3.1.2 Textnormalisierung

In der weitergehenden Textnormalisierung wird sich vorrangig auf das Stemming und die Lemmatisierung konzentriert. Das Stemming führt eingehende Wörter auf ihre Grundformen zurück, indem bekannte Präfixe, Infixe und Suffixe eliminiert werden. Diese Grundformen sind nicht zwingend valide Wörter. Die Lemmatisierung hingegen berücksichtigt



die wortspezifischen Bedeutungen, um etwaige Flexionen in Deckung zu bringen und somit die linguistisch korrekten Grundformen zu bilden. Flexionen sind durch Konjugationen, Deklinationen oder auch Komparationen entstanden und natürlicher Bestandteil einer Sprache. Hierfür sind Wortbildungsregeln und ein Wortschatz erforderlich. Letzterer indiziert die eingehenden Wörter anhand ihrer Lemmata und ordnet sie entsprechend zu [Bird et al., 2009, S. 107-108]. Zwar ist die Lemmatisierung aufgrund des erforderlichen Kontextwissens durchaus komplexer als das Stemming, dafür sind ihre Ergebnisse erwartungsgemäß gehaltvoller. Ob und welche Methode zur Textnormalisierung herangezogen wird, hängt erneut von der anvisierten Aufgabe ab. Seien nun beispielhaft die Wörter *{spielen, spielst, spielte, gespielt}* gegeben, dann reduziert der Stemmer diese Wörter auf die Grundform *spiel*. Der Lemmatizer identifiziert hingegen die linguistisch korrekte Grundform *spielen*.

Natural Language Toolkit (NLTK) ist eine forschungsorientierte Python-Bibliothek, die etliche NLP-Module zur Verfügung stellt, darunter unter anderem verschiedenartige Stemmer [Bird et al., 2009, S. 13-14]. Stemmer, welche die englische Sprache unterstützen, scheinen bereits sehr ausgereift zu sein. Stemmer, welche die deutsche Sprache unterstützen, sind nicht nur knapp, sondern bedürfen zudem weitergehenden Testschritten, um deren tatsächliche Eignung zu prüfen. Die Stemmer `nlk.stem.cistem` und `nlk.stem.snowball` eignen sich potenziell für einen Einsatz mit deutscher Sprache [NLTK, 2020].

SpaCy ist eine eher praktisch orientierte Python-Bibliothek für verschiedenste NLP-Aufgaben. Hinsichtlich der deutschen Sprache eignen sich hier insbesondere die verfügbaren Lemmatizer. Dabei kann der Anwender zwischen verschiedenen vortrainierten Modellen wählen. Eigenschaften wie Sprache, Größe und zugrundeliegende Trainingsdaten sind transparent dokumentiert [SpaCy, 2021].

Die Wahl geeigneter Stemmer und Lemmatizer obliegt dennoch den subjektiven Präferenzen des jeweiligen Entwicklers. In jedem Fall sind hinreichende Tests durchzuführen, um die einzelnen Module zu erproben sowie individuelle Vor- und Nachteile zu identifizieren. Mit fortschreitender Entwicklung beweisen sich möglicherweise auch andere aufstrebende Bibliotheken [Bird et al., 2009, S. 108].

### 3.1.3 Tokenisierung

In der Tokenisierung werden Texte in logisch zusammengehörige Token zerlegt. Texte bestehen aus Sequenzen, welche wiederum aus Symbolen, also etwa Zeichen, Zeichenketten oder auch Ziffern bestehen. Token sind indes als Einheiten der Wort- oder Satzebene zu verstehen [Manning et al., 2008, S. 22-24].

Der einfachste Ansatz einer wortbasierten Tokenisierung besteht darin, den Text anhand von Leerzeichen und nicht-alphanumerischer Zeichen zu segmentieren. Dies ist jedoch nicht völlig obligatorisch und führt meist nicht zu einer verarbeitbaren Lösung, weshalb sprachabhängige Eigenarten berücksichtigt werden müssen. Typisch ist beispielsweise die Weiterbehandlung von vor- oder nachstehenden Klammern an den Token [Bird et al., 2009, S. 109-111].

Ob weiterhin auch Interpunktion berücksichtigt oder verworfen werden soll, ist hinsichtlich der anvisierten NLP-Aufgabe individuell zu entscheiden und zu erproben. Gleiches gilt für die Entscheidung, ob eingehende Texte roh oder vorverarbeitet hineingegeben werden.

Sei nun ein Satz gegeben, welcher keiner Textbereinigung und keiner Textnormalisierung unterzogen wird. Eine Tokenisierung, welche die Eigenschaften der deutschen Sprache sowie Interpunktion hinreichend berücksichtigt, würde die in Abbildung 3.1 visualisierte Menge von Token generieren.

Deutschland (DE) ist Weltmeister 2014.	Sentence
<u>Deutschland</u> ( <u>DE</u> ) <u>ist</u> <u>Weltmeister</u> <u>2014</u> .	Token

Abbildung 3.1: Tokenisierung eines beispielhaften Satzes.

Die Arbeit mit Texten erfordert bekanntermaßen eine geeignete mathematische Form. Die zeichenbasierten Token der Texte werden daher in einem Wortschatz (engl. Vocabulary) mithilfe numerischer Indizes kodiert. Hier ist es möglich, die Anzahl eindeutiger Token zu identifizieren oder gar seltene Token aus praktischen Gründen zu entfernen [Zhang et al., 2020, S. 311-312].

Die Python-Bibliotheken NLTK und SpaCy stellen entsprechende Tokenizer für eine möglichst schnelle Implementierung bereit. Beide sind überdies in einer für die deutsche Sprache ausgereiften Version verfügbar. Oftmals werden hierbei weitere Funktionalitäten mitgeliefert, darunter meist das Entfernen sprachbezogener Stoppwörter, die Lemmatisierung oder auch das Part-of-Speech-Tagging [Bird et al., 2009, S. 111].

## 3.2 Word Embeddings

Algorithmen können Texte bekanntermaßen nicht in ihrer Rohform verarbeiten. Texte bedürfen einer geeigneten mathematischen Form. Word Embeddings überführen Texte oder ganze Korpora hierfür in einen Vektorraum (engl. Vector Space), um Wörter syntaktisch, semantisch und insbesondere untereinander in Kontext zu bringen. Dabei wird ein Wortschatz benutzt, welcher die entsprechenden Vektoren, bestehend aus eindeutig kodierbaren ganzzahligen Werten, aufbaut [Karani, 2018]. Die Ableitung der Vektoren aus den Textdaten wird auch als Feature Extraction oder Feature Encoding bezeichnet. Insgesamt befindet man sich hier im Bereich des Language Modeling [Brownlee, 2019].

Word Embeddings werden üblicherweise noch vor der Entwicklung der ursprünglich anvisierten NLP-Aufgabe trainiert, weshalb ihnen ein unmittelbarer qualitativer Einfluss zugesprochen wird. Die entstehenden Modelle sind in der Folge schnell implementierbar. Weiterhin haben sie hiermit einen hohen skalierenden Effekt, da sie als Grundlage verschiedenster nachgelagerter NLP-Aufgaben eingesetzt werden können [Nitsche, 2019]. Word Embeddings können durch verschiedene mehr oder minder komplexe Ansätze realisiert werden. Diese werden nachfolgend vorgestellt, wobei stets verdeutlicht wird, wie der entsprechende Vektorraum aufgebaut und in Kontext gebracht wird. Dabei wird außerdem deutlich, dass sich die verschiedenen Ansätze nicht für jede NLP-Aufgabe eignen, sondern sie vielmehr einschränken. Obgleich nicht alle Ansätze für die ATS relevant sein werden, sind sie als Grundlage zu verstehen.

### 3.2.1 One-Hot-Encoding

One-Hot-Encoding (OHE) ist einer der einfachsten Ansätze, um Texte in einen Vektorraum einzubetten. Dabei werden allgemein kategorische Variablen in ein numerisches und somit mathematisch verarbeitbares Format gebracht [Karani, 2018]. Seien nun zwei gleichbedeutende Sätze gegeben. Eben jene Sätze sowie der entsprechende Wortschatz und die binär kodierten Vektoren sind in Abbildung 3.2 ersichtlich. Die Vektoren sind hierbei als Matrix zusammengefasst, wobei die Zeilen und Spalten anhand der Anfangsbuchstaben der Wörter kenntlich gemacht sind.

Versucht man nun, diese Vektoren in einem Vektorraum zu visualisieren, dann entspricht jeder Vektor einer eigenen Dimension. Dabei wird allerdings klar, dass keine dimensionsübergreifenden Projektionen existieren [Karani, 2018]. Dies bedeutet, dass die Wörter *gutes* und *schönes* genauso verschieden sind, wie die Wörter *heute* und *ist*. Dies ist offensichtlich falsch. OHE ist dennoch als Grundlage zu verstehen, wobei etwaige Probleme innerhalb der nachfolgenden Ansätze weiterbehandelt werden.

Satz 1: Heute ist gutes Wetter.   Satz 2: Heute ist schönes Wetter.	
Wortschatz: {Heute, ist, gutes, schönes, Wetter}	
$  \begin{array}{ccccc}  & h & i & g & s & w \\  \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} & h & i & g & s & w  \end{array}  $	

Abbildung 3.2: One-Hot-Encoding mit zwei beispielhaften Sätzen.

### 3.2.2 Bag-of-Words

Bag-of-Words (BOW) realisieren die Feature Extraction, indem entsprechende Modelle das Aufkommen von in einem Wortschatz definierter Wörter über eine Vielzahl von Texten zählen. Dabei ist allerdings ein gewisser Informationsverlust zu erwarten, da beispielsweise die Reihenfolge der Wörter nicht berücksichtigt wird [Raschka et al., 2019, S. 262]. Tabelle 3.1 zeigt beispielhaft eine Matrix eines solchen BOW-Modells.

In den Zeilen sind die betrachteten Texte indiziert, in den Spalten hingegen die Wörter des frei erfundenen Wortschatzes. Die Matrix hat demnach eine daran orientierte fixe Größe. In den Zellen ergeben sich somit die Häufigkeiten der Wörter, bezogen auf ihr Aufkommen in den einzelnen Texten [Brownlee, 2019].

ID	Vögel	sind	Tiere	der	Lüfte
Text 1	2	8	1	5	1
Text 2	1	3	0	2	0
Text 3	0	4	0	7	0

Tabelle 3.1: Bag-of-Words mit einem beispielhaften Wortschatz [Huigol, 2020].

Nachteilig ist dieser Ansatz hinsichtlich der ATS insbesondere dadurch, dass die Reihenfolge der Wörter nicht berücksichtigt wird. Wie in Tabelle 3.1 ersichtlich wurde, lassen sich aus der Matrix keine Informationen über die Semantik oder Grammatik rekonstruieren. Aus technischer Sicht würde die Matrix bei steigender Wortschatzgröße nicht nur mitwachsen, sondern zudem viele Null-Einträge enthalten [Huigol, 2020]. Vorteilig ist dieser Ansatz hingegen für eher schlichtere NLP-Aufgaben. Hier sei die Klassifikation von Dokumenten als mögliches Einsatzgebiet genannt.

### 3.2.3 Skip-Gram-Model

Ein weiterer frequenzbasierter Ansatz besteht in sogenannten Skip-Gram-Modellen. Diese unterliegen der Annahme, dass sich der Kontext eines gegebenen Wortes in Form von einer Textsequenz generieren lässt. Sei hierfür nun beispielhaft und gleichermaßen abstrakt die Sequenz  $\{a, b, c, d, e\}$  gegeben. Zudem sei  $c$  das Zielwort und die lokale Fenstergröße zwei. Ein Skip-Gram-Modell modelliert die bedingten Wahrscheinlichkeiten für die vor- und nachstehenden Kontextwörter [Zhang et al., 2020, S. 640]. Hierfür gilt die folgende Formel:

$$P(a, b, d, e \mid c)$$

Gemäß der weitergehenden Annahme, die Kontextwörter ließen sich auf Grundlage eines gegebenen Zielwortes unabhängig voneinander generieren, kann die Formel wie folgt umgeschrieben werden:

$$P(a \mid c) \cdot P(b \mid c) \cdot P(d \mid c) \cdot P(e \mid c)$$

Sei darüber hinaus abstrakter Wortschatz gegeben. Dabei erfordert jedes darin enthaltene Wort zwei mehrdimensionale Vektoren. Einen, um das Wort als Zielwort zu evaluieren, und einen, um das Wort in den unterschiedlichen Kontexten einzuordnen. Mithilfe dieser Vektoren können die bedingten Wahrscheinlichkeiten des entsprechenden Modells trainiert werden. Autark ist jedoch auch dieser Ansatz ungeeignet für die ATS [Zhang et al., 2020, S. 641].

### 3.2.4 Word2Vec

Der Ansatz des Word2Vec (W2V) kombiniert BOW-Modelle mit Skip-Gram-Modellen, um die Nachteile des OHE weitergehend aufzuarbeiten. Dabei werden BOW-Modelle jedoch in kontinuierlicher Form genutzt. Diese funktionieren in umgekehrter Weise zu den Skip-Gram-Modellen. Damit ist folglich eine beidseitige Herangehensweise möglich. Der Kontext kann also aus einem gegebenen Zielwort und das Zielwort wiederum aus einem gegebenen Kontext ermittelt werden [Zhang et al., 2020, S. 644].

Die entsprechenden bedingten Wahrscheinlichkeiten können gemäß der nachstehenden Formeln modelliert werden. Dabei werden Skip-Gram-Modelle (erstgenannt) den BOW-Modellen (zweitgenannt) anhand des oben genannten Beispiels gegenübergestellt.

$$P(a, b, d, e \mid c) \quad P(c \mid a, b, d, e)$$

W2V-Modelle können mithilfe neuronaler Netze trainiert werden. Dies befähigt sie, Zusammenhänge zwischen Wörtern zu erlernen. Hierbei werden Distanzen minimiert, die aus den zuvor beschriebenen Vektoren hervorgehen. Dieser Ansatz eignet sich in der Folge etwa dazu, Synonyme für gegebene Wörter zu bestimmen. ATS-Modelle, welche den W2V-Ansatz verfolgen, konnten sich in der Vergangenheit bereits in akzeptablem Maße beweisen [Karani, 2018].

Abbildung 3.3 zeigt die beispielhaften Projektionen von etwa 10.000 Wörtern, welche mit dem Embedding Projektor von TensorFlow und einer entsprechenden Hauptkomponentenanalyse generiert wurden. Dabei ist das Ergebnis der Suche nach dem Wort *play* zu sehen. Es ist erkennbar, dass bedeutungsähnliche Wörter kürzere Distanzen aufweisen.

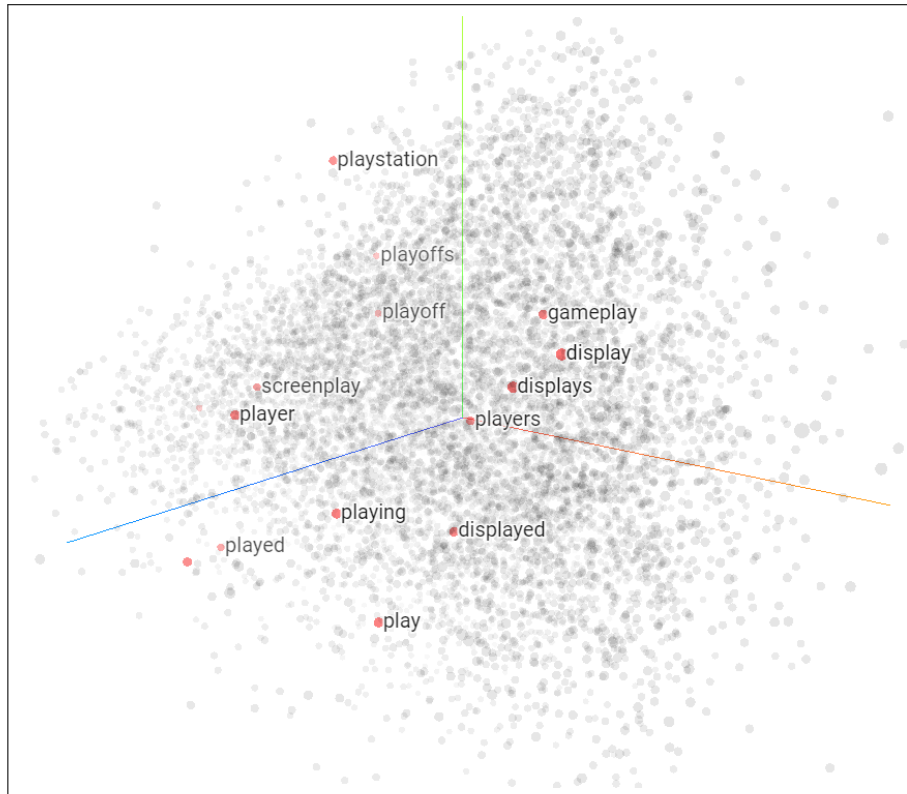


Abbildung 3.3: Word2Vec mit dem Embedding Projector von TensorFlow.

### 3.2.5 Byte-Pair-Encoding

Byte-Pair-Encoding (BPE) ist ein Algorithmus zur Datenkompression. Hierfür werden zusammenhängende Bytes mit einem Byte ersetzt, welches nicht in den sonstigen Daten auftritt [Nitsche, 2019, S. 24]. Sei folgendes Beispiel gegeben:

$$aaabcaacab = \mathbf{ZY}c\mathbf{ZcY}$$

$$\text{mit } \mathbf{Z} = aa \text{ und } \mathbf{Y} = ab$$

BPE eignet sich insbesondere dafür, seltene Wörter zu berücksichtigen. In diesen verbirgt sich mitunter eine nicht zu vernachlässigende Bedeutung. Aufgrund der kodierenden Funktion wird BPE auch als Subword Embedding bezeichnet. Aufgrund der komprimierenden Funktion ist weiterhin von kleineren Modellgrößen auszugehen [Nitsche, 2019, S. 24]. ATS-Modelle, welche den W2V-Ansatz verfolgen, konnten sich in der Vergangenheit ebenfalls in akzeptablem Maße beweisen.

### 3.2.6 GloVe

Global Vectors for Word Representation (GloVe) ist ein weiterer Algorithmus zur Einbettung von Texten in einen Vektorraum, welcher syntaktische und semantische Bedeutungen repräsentiert [Pennington et al., 2014, S. 1].

Hierfür wird sich einer Matrix bedient, welche das gemeinsame Aufkommen der im Korpus enthaltenen Wörter paarweise gegenüberstellt. Sie wird daher auch als Word-Word-Co-Occurrence-Matrix bezeichnet und besitzt eine maximale Komplexität von  $O(|V|^2)$ , wenn  $V$  die Wortschatzgröße ist. GloVe sieht dabei vor, die Matrix unter Nutzung lokaler Kontextfenster global zu faktorisieren [Pennington et al., 2014, S. 2].

Hierbei werden sehr große Matrizen durch mehrere niederrangige Matrizen approximiert. Dies ermöglicht es, die verborgenen statistischen Informationen des zugrundeliegenden Korpus anhand linearer Substrukturen zu explorieren und letztlich zu extrahieren. Dabei werden lokale Kontextfenster verwendet, wie sie bei verschiedenen oben genannten Ansätzen bereits beschrieben wurden, beispielsweise bei W2V [Nitsche, 2019, S. 24].

GloVe ist praktisch als vortrainiertes Modell verfügbar. Dies basiert auf vier verschiedenen Korpora mit insgesamt etwa 55 Milliarden Token und einer durchschnittlichen Wortschatzgröße von etwa 1,5 Millionen Token. Im Training werden hierbei in der Matrix nur von Null verschiedene Werte berücksichtigt. Die mittlere quadratische Abweichung wird zudem als Fehlerfunktion ausgewählt. Das initiale Training ist zwar sehr rechenintensiv, dafür allerdings im Sinne des TL a priori nur einmalig auszuführen. NLP-Aufgaben, darunter auch die ATS, profitierten stark vom Erfolg des GloVe-Ansatzes. Trotzdem ist der Einsatz stets sorgfältig zu evaluieren, da innerhalb der modellinternen Vorverarbeitung die zugrundeliegenden Korpora beispielsweise auf Kleinschreibung forciert wurden. Dies müsste bei nachstehenden NLP-Aufgaben ebenfalls berücksichtigt werden [Pennington et al., 2014, S. 6-9].



### 3.3 Deep Language Representations

Die beschriebenen Word Embeddings verfolgen teils sehr abstrakte Ansätze, welche sich mitunter nur auf sehr wenige Teilbereiche des NLP adaptieren lassen oder entscheidende Nachteile aufweisen. Zudem unterliegen sie meist statistischen und somit rechentechnischen Limitationen.

ATS-Modelle erfordern daher weitergehende Deep Language Representations, um den Anforderungen an das NLU und die NLG gerecht zu werden. Dabei werden die ursprünglichen Ansätze durch umfangreichere und komplexere neuronale Netze ersetzt. Diese werden fortan als Language Models bezeichnet. Nur wenige marktpresente Akteure sind hierbei dazu fähig, geeignete Architekturen zu konzipieren und entsprechende Modelle von Grund auf neu zu trainieren. Dies wurde in der Vergangenheit bereits getan und veröffentlicht, sodass gemäß TL nur noch ein weitergehendes Fine-Tuning nötig ist. Dabei profitierten nahezu alle nachstehenden NLP-Aufgaben qualitativ von diesen Fortschritten. Architekturen, welche als Deep Language Representations zu verstehen sind und eine ATS begünstigen, werden nachfolgend offengelegt [Nitsche, 2019, S. 25].

#### 3.3.1 ELMo

Zuerst sei ELMo als Deep Contextualized Word Representation genannt. Es wurde vom Allen Institute for Artificial Intelligence entwickelt und 2018 veröffentlicht. ELMo modelliert dabei einerseits komplexe Wortcharakteristiken wie Syntax und Semantik, andererseits aber auch den linguistischen Kontext eben dieser Wörter. Es ist als vortrainiertes Modell verfügbar und konnte nach der Veröffentlichung insbesondere NLU-Aufgaben begünstigen [Peters et al., 2018, S. 1].

ELMo arbeitet mit wortbezogenen kontextbasierten Vektoren, welche aus zwei bidirektionalen Language Models abgeleitet und trainiert werden. Diese bestehen wiederum aus zwei gekoppelten LSTM-Schichten. Der umfangreiche Korpus an Textdaten wird dabei schichtweise vorwärts und rückwärts durch die Architektur propagiert. Somit sind kontextabhängige Informationen verfolgbar und die Bedeutungen der Wörter erlernbar. Aufgrund der zeichenbasierten Funktionsweise kann ELMo sogar Wissen über Wortformen erlernen. Im Vergleich zu W2V oder etwa GloVe werden die Vektoren nicht tokenbasiert berechnet, sondern mithilfe einer Funktion, welche stets eine Sequenz berücksichtigt. Wörter können daher in verschiedenen Kontexten verschiedene Vektoren besitzen. Abbildung 3.4 visualisiert dies [Peters et al., 2018, S. 2-3].

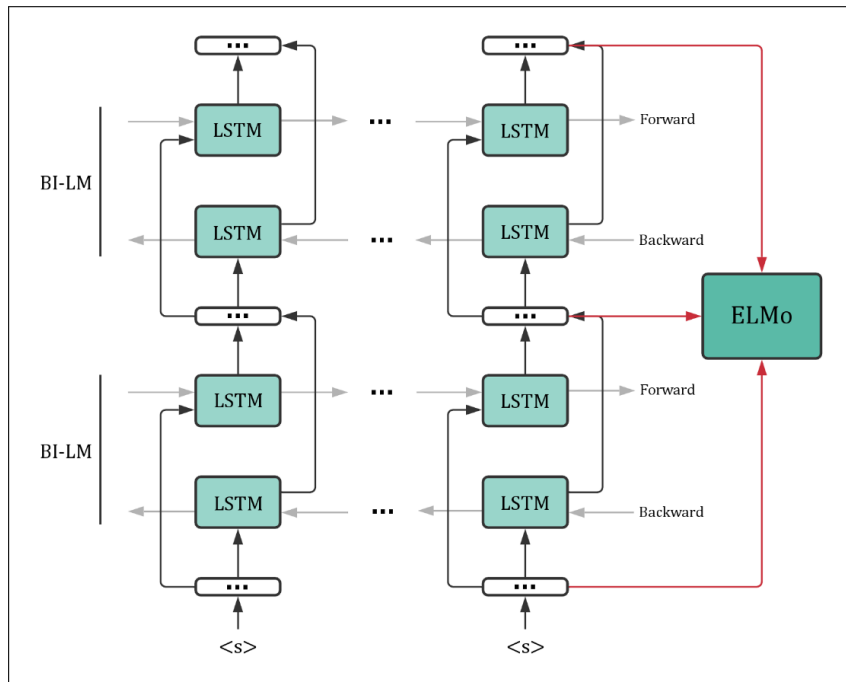


Abbildung 3.4: Architektur und Funktionsweise von ELMo [Irene, 2018].

### 3.3.2 GPT

OpenAI arbeitet mit dem Generative Pre-Trained Transformer (GPT) als Language Model in der nunmehr dritten Generation, veröffentlicht es allerdings nicht. Zu Forschungszwecken stellen sie dennoch eine schmalere Version des Modells bereit. OpenAI zeigt insbesondere mit dem GPT, dass Language Models mithilfe der sogenannten Next Word Prediction besonders gut im Sinne des Unsupervised Learning trainiert werden können. Es basiert zudem auf der bereits bekannten Transformer-Architektur und begünstigt somit verschiedene nachgelagerte NLP-Aufgaben, ohne entsprechende gelabelte Daten jemals gesehen zu haben. Dabei ist das GPT meist besser als konkurrierende Modelle, welche auf den aufwendig zusammenzustellenden gelabelten Daten basieren, auch im sogenannten Zero-Shot-Transfer. Einer der größten Erfolge ist hierbei, dass das GPT gemäß NLG selbst einen Nachrichtenartikel verfassen konnte [Radford et al., 2019, S. 1].

Die zugrundeliegenden Daten des GPT-Modells bestehen aus 40GB an Texten, welche aus acht Millionen Internetseiten kollektiert wurden und zugleich bestimmten Qualitätsanforderungen gerecht werden. Hier nimmt OpenAI unter anderem an, dass Reddit-Beiträge mit einem ausreichend hohen positiven Karmastand eine erhöhte Qualität versprechen [Radford et al., 2019, S. 3].

Im mathematischen Sinne wurde im Kontext der ATS bislang meist die Wahrscheinlichkeit der Ausgabesequenz unter einer gegebenen Eingabesequenz modelliert. Language Models wie das GPT streben hingegen ein allgemeineres Sprachverständnis an, um darüber hinaus eine Vielzahl an NLP-Aufgaben unterstützen zu können. Daher modelliert das GPT gemeinhin die Wahrscheinlichkeit  $P(\text{output} \mid \text{input}, \text{task})$  [Radford et al., 2019, S. 2]. Aufgrund der eingeschränkten Verfügbarkeit seitens OpenAI entfallen an dieser Stelle weitere Ausführungen.

### 3.3.3 BERT

Zuletzt sei BERT als mögliches Modell zur Deep Language Representation genannt. Es wurde von Forschern der Google AI Language entwickelt und 2019 veröffentlicht. BERT basiert auf ebenfalls der bereits bekannten Transformer-Architektur, wobei unstrukturierte Textdaten mithilfe links- und rechtsseitiger Kontextfenster bidirektional angelernet werden. Dabei entstammen die Daten verschiedenartigen NLP-Aufgaben, sodass BERT größtenteils aufgabenunabhängig einsetzbar ist. Im anschließenden Fine-Tuning werden die vortrainierten modellinternen Parameter zunächst initialisiert und wiederum mithilfe von gelabelten Daten angepasst. BERT zeichnet sich weiterhin dadurch aus, dass er höchst anpassungsfähig ist und sich die vortrainierte Architektur nur minimal von der weitertrainierten Architektur unterscheidet [Devlin et al., 2019, S. 1-3].

Nun wird die Architektur von BERT umfassender untersucht, indem die einleitenden Worte aufgegriffen und theoretisch ergründet werden. BERT ist prinzipiell als Encoder zu verstehen, welcher durch einen mehrschichtigen bidirektionalen Transformer repräsentiert wird. Dabei werden die Schichten durch Transformer-Module repräsentiert. Diese verfügen über entsprechende Attention-Mechanismen, um kontextuelle Informationen zu erkennen. Weiterhin werden Sequenzen nicht nur einseitig betrachtet, sondern beidseitig, also bidirektional. Somit werden wortbezogene Kontexte gelernt, was insbesondere zu einem tieferen Verständnis der Sprache seitens BERT führt. Dies ist ein großer Vorteil gegenüber bisheriger Architekturen, inklusive ELMo und GPT, welche Sequenzen zumeist nur einseitig betrachten konnten, also von links nach rechts oder andersherum. Aufgrund der qualitativen Vorteile von BERT wird es umfänglicher als die ausgewählten Vorgänger und Konkurrenten analysiert [Devlin et al., 2019, S. 3].

Um BERT entsprechend vortrainieren zu können, werden Masked Language Models (MLM) genutzt. Bevor die Textdaten in die Architektur geführt werden, werden etwa 15% der Wörter durch ein [MASK]-Token ersetzt. Daraufhin versucht das Modell, die maskierten Token auf Grundlage der umliegenden nicht-maskierten Token vorherzusagen (engl. Next Word Prediction). Da die zu erwartenden Wörter bekannt sind, kann über eine Klassifikationsschicht ein Lerneffekt erzielt werden, indem entsprechende Matrizen dimensional transformiert und wertmäßig aktualisiert werden. Abbildung 3.5 zeigt die beschriebene Architektur [Devlin et al., 2019, S. 4-5].

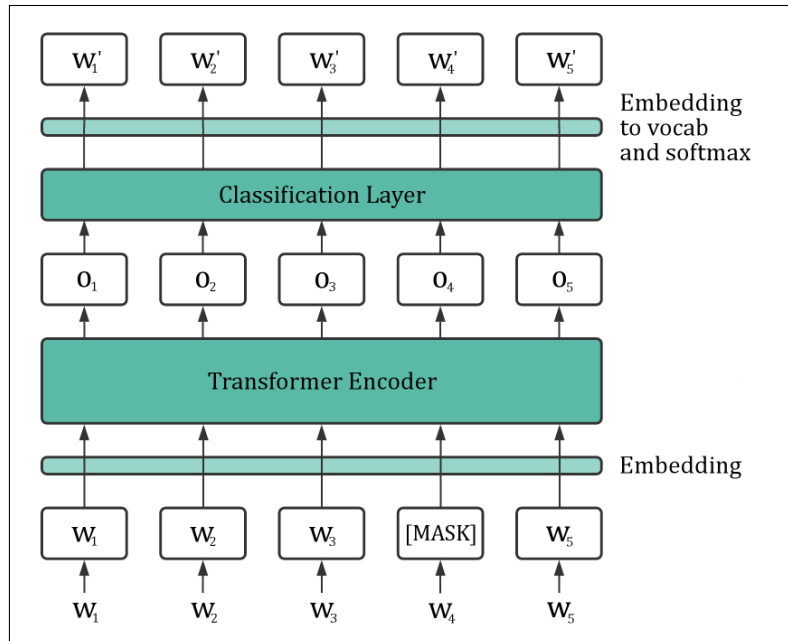


Abbildung 3.5: Architektur von BERT mit MLM [Devlin et al., 2019, S. 3].

Um zudem weitergehende Informationen auf Satzebene zu erhalten, werden dem Training paarweise Sätze zugeführt. Seien  $A$  und  $B$  zwei solcher Sätze, dann ist  $B$  zu 50% ein auf  $A$  folgender Satz und zu 50% ein zufälliger Satz des Korpus. Dies wird erneut im Sinne einer Klassifikation gelernt (engl. Next Sentence Prediction). Wie BERT die eingehenden Sequenzen einbettet und repräsentiert, wird in Abbildung 3.6 deutlich. Dabei handelt es sich um die Summe der Token Embeddings, Segment Embeddings und Position Embeddings. Hierbei kann entschieden werden, ob Klein- und Großschreibung berücksichtigt werden soll [Devlin et al., 2019, S. 3-5].

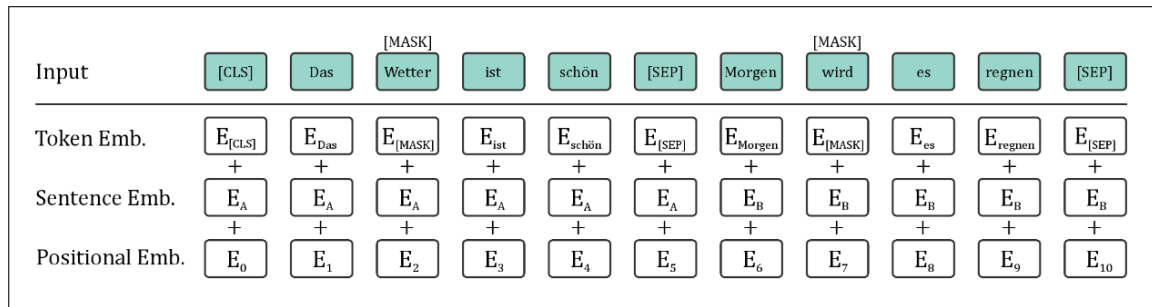


Abbildung 3.6: Repräsentation von Textdaten mithilfe von BERT [Devlin et al., 2019, S. 3].

BERT wurde initial in zwei verschiedenen Versionen veröffentlicht: BASE und LARGE. Die veröffentlichten Modelle wurden von den Forschern der Google AI Language auf zwei verschiedenen Korpora mit insgesamt über drei Millionen Wörtern trainiert. Sei  $L$  die Anzahl der Schichten (oder: Transformer-Module),  $H$  die Größe der verborgenen Schichten und  $A$  die Anzahl der Self-Attention-Heads, dann sind die Versionen wie folgt definiert [Devlin et al., 2019, S. 3-5].

$\text{BERT}_{\text{BASE}} : (L = 12, H = 768, A = 12)$  mit 110M Parametern

$\text{BERT}_{\text{LARGE}} : (L = 24, H = 1024, A = 16)$  mit 340M Parametern

## 4 Datengrundlage

Um die Ziele dieser Arbeit zu erreichen, ist die Entwicklung theoretisch analysierter Architekturen zur ATS und zur sprachtechnischen Adaption erforderlich. Hierfür ist eine geeignete Datengrundlage bereitzustellen, welche insbesondere Qualität, aber auch Vergleichbarkeit der entsprechenden Modelle ermöglicht. Fortan wird die Datengrundlage als Korpus  $K$  bezeichnet, wobei dieser Korpus aus verschiedenen Datensätzen  $d_i$  besteht, also

$$K = \begin{pmatrix} d_1 \\ \vdots \\ d_n \end{pmatrix}$$

für  $i = 1, \dots, n$  mit möglichst großem  $n$  hinsichtlich hoher Qualität. Die Datensätze, welche den gesuchten Korpus bilden, müssen dabei bestimmten Anforderungen genügen. Ihnen wird insbesondere eine paarweise Natur abverlangt. Für  $d_i \in K$  und  $i = 1, \dots, n$  gilt also:  $d_i = \{t_i, s_i\}$ . Neben dem ursprünglichen Text  $t_i$  ist hier eine Zusammenfassung  $s_i$  gefordert, welche als Referenz für die modellseitig zu generierende Zusammenfassung dient. Nur so ist die Qualität messbar und der Lernfortschritt realisierbar. Aufgrund der explorativen Natur dieser Arbeit werden sowohl englischsprachige als auch deutschsprachige Datensätze benötigt, wobei deren zugrundeliegende Domäne zunächst nicht von hoher Relevanz ist. Die Länge der Texte und der Zusammenfassungen haben einen hohen Einfluss darauf, wie das trainierte Modell die eigenen Zusammenfassungen generieren wird. Zwar wird hierfür keine Mindestlänge definiert, dennoch seien folgende Richtwerte gegeben: Texte  $t_i$  sollten aus mindestens 200 Wörtern bestehen. Zusammenfassungen  $s_i$  hingegen sollten einige Sätze vorweisen können. Alle Texte und Zusammenfassungen sollten zwischen Klein- und Großschreibung unterscheiden.

Unter Berücksichtigung obiger Anforderungen werden nun drei Korpora ausgewählt. Der erste Korpus dient als initialer Trainingskorpus und besteht aus etwa 300.000 englischsprachigen Datensätzen. Er wurde von TensorFlow verarbeitet und veröffentlicht, entstammt allerdings ursprünglich der CNN und der DailyMail [TensorFlow, 2021]. Aufgrund der nachrichtenorientierten Domäne ist von stark variierenden Textinhalten aus-

zugehen. Dies verspricht zunächst einen hohen generalisierenden Effekt, wobei andere Domänen wiederum andere Eigenarten aufweisen und mitunter eine andere Beschaffenheit des Korpus erfordern. Dies ist allerdings nicht Teil dieser Arbeit und gilt lediglich als sensibilisierende Anmerkung. Die Eignung des Korpus wird insbesondere durch die weitreichende Nutzung in der Wissenschaft bestärkt, denn SOTA-Modelle werden oftmals auf diesem Korpus verglichen. Texte dieses Korpus bestehen durchschnittlich aus etwa 850 Wörtern, Zusammenfassungen hingegen aus etwa 60 Wörtern. Dies spricht für einen hohen Abstraktionsgrad und damit eine hohe Verdichtung [Rothe et al., 2020, S. 6].

Die anderen beiden Korpora dienen dem weitergehenden Training hinsichtlich der sprachtechnischen Adaption und bestehen demzufolge aus deutschsprachigen Datensätzen. Der erste Korpus hiervon wurde 2019 im Kontext der Swiss Text Analytics Conference als Grundlage eines Wettbewerbes publiziert und umfasst 100.000 Datensätze [Cieliebak, 2019]. Die Textinhalte entstammen der deutschsprachigen Wikipedia, weshalb auch hier von einer vielfältigen Domäne auszugehen ist. Letzteres gilt auch für den zweiten Korpus, welcher durch einen in Python selbst entwickelten Crawler generiert wurde. In einer Zeitspanne von sechs Monaten wurden mehr als 50.000 Nachrichtenartikel automatisiert kollektiert [Bird et al., 2009, S. 79, 83, 416]. Nach Sichtung der verfügbaren Daten können Artikel der ZEIT ONLINE als geeignet bewertet werden. Demnach sind etwa 15.000 Datensätze nutzbar. Texte dieser beiden Korpora bestehen durchschnittlich aus etwa 4.000 Wörtern, Zusammenfassungen hingegen aus etwa 250 Wörtern. Üblicherweise existiert beim anvisierten Training die Gefahr der sogenannten Exploitation. Diese Gefahr meint im Kontext der ATS konkret, dass das zugrundeliegende Modell die Struktur der Artikel anstatt der Inhalte der Artikel lernt. Grund für diese Annahme ist der typische Aufbau von Wikipedia-Artikeln. Diese beinhalten zumeist bereits im ersten Absatz stark verdichtete Informationen, also eine Art Zusammenfassung. Dies macht eine hohe Anzahl an Trainingsdaten verschiedener Herkunft erforderlich. Daher wird zur Vorbeugung eine Mischung aus den beiden deutschsprachigen Korpora vorgenommen [Bird et al., 2009, S. 42].

## 5 Abstraktiver Ansatz

Unter Kenntnis der Grundlagen des DL und des NLP wird nun eine Architektur konzipiert und beschrieben, welche die ATS gemäß des abstraktiven Ansatzes ermöglicht. Hierfür werden verschiedene Experimente durchgeführt, deren Training stets auf der beschriebenen Datengrundlage erfolgt.

### 5.1 Metriken

Zuvor sind ausgewählte Metriken offenzulegen, mit denen die Qualität der ATS gemessen werden kann: Recall-Oriented Understudy for Gisting Evaluation (ROUGE) und Bilingual Evaluation Understudy (BLEU). In der Wissenschaft werden ATS-Modelle meist mithilfe des ROUGE-Scores evaluiert und verglichen. Dabei erfordern diese Metriken eine Referenzzusammenfassung (REFZ) zu jeder Systemzusammenfassung (SYSZ), welche maschinell generiert wurde. Dies ist unabhängig davon, ob das Training überwacht oder unüberwacht durchgeführt wird. Allgemein unterliegen diese Metriken der Herausforderung, dass es für einen gegebenen Text keine objektiv beste Zusammenfassung gibt. Folglich können verschiedene SYSZ oder sogar REFZ gleich gut sein. Dies ist statistisch sehr schwer zu bewerten, zumal selbst Menschen aufgrund ihrer subjektiven Bewertungsweise nicht einheitlich definieren können, welche Faktoren für eine gute Zusammenfassung stehen. Weiterhin werden in den Metriken menschliche Bewertungsfaktoren wie beispielsweise Lesbarkeit nicht berücksichtigt [Lemberger, 2020].

#### 5.1.1 ROUGE

ROUGE kann zunächst mithilfe folgender Kennzahlen weitergehend differenziert werden: Recall, Precision und Measure. Dabei quantifiziert der Recall-Score den Anteil der sowohl in REFZ als auch in SYSZ vorkommender Wörter gemäß folgender Formel:

$$\frac{\text{Anzahl übereinstimmender Wörter}}{\text{Anzahl der Wörter in der REFZ}}$$



Sei hierfür verkürzt „Der Sommer war sehr warm“ als REFZ und „Der Sommer war wieder sehr warm“ als SYSZ gegeben. Dann gilt:  $\text{Recall} = \frac{5}{5} = 1.0$ . Trotzdem sollen SYSZ nicht unendlich lang werden, um alle Wörter der REFZ abzudecken, sondern weiterhin den eigentlichen Sinn einer Zusammenfassung erfüllen. Hier quantifiziert der Precision-Score den Anteil der tatsächlich relevanten Wörter gemäß folgender Formel:

$$\frac{\text{Anzahl übereinstimmender Wörter}}{\text{Anzahl der Wörter in der SYSZ}}$$

Wie man sieht, ändert sich nur der Nenner. Im oben genannten Beispiel gilt somit:  $\text{Precision} = \frac{5}{6} = 0.8\bar{3}$ . Nimmt man ferner „Der letzte Sommer war wieder sehr warm und trocken“ als neue SYSZ an, dann reduziert sich der Precision-Score aufgrund der erhöhten Anzahl irrelevanter Wörter wie folgt:  $\text{Precision} = \frac{5}{9} = 0.5\bar{5}$ . Weiterhin kann der Measure-Score als gewöhnlicher F-Score verstanden und interpretiert werden. Er ergibt sich als harmonisches Mittel zwischen dem Recall und der Precision, womit er beide Scores berücksichtigt [Lin, 2004, S. 1-3].

ROUGE wird allgemein auch als ROUGE-N geschrieben, wobei das N bestimmt, ob obige Kennzahlen auf Grundlagen von Uni-, Bi- oder Trigrammen berechnet werden sollen. Im genannten Beispiel wurden also die ROUGE-1 Recall-, Precision- und Measure-Scores berechnet. Zudem existieren Ansätze, welche die Longest Common Subsequence (LCS) verfolgen. Diese werden hier jedoch vernachlässigt.

Trotz oder gerade wegen der wissenschaftlichen Verbreitung des ROUGE-Scores kommt immer mehr Kritik auf. Demnach kann ROUGE beispielsweise nicht zwischen verschiedenen aber bedeutungsähnlichen Wörtern unterscheiden. Dies führt tendenziell zu einer schlechteren Bewertung, obgleich ein gegebener Text etwa in einer entsprechenden SYSZ präzise zusammengefasst wurde. Außerdem wird den Texten zur Berechnung des ROUGE-Scores Kleinschreibung abverlangt, unabhängig von den vorgeschalteten Modellen. Die Bewertung geschieht also eher auf syntaktischer als auf semantischer Basis. Aufgrund der bereits genannten weitreichenden Nutzung des ROUGE-Scores und der damit gegebenen Vergleichbarkeit kommt er trotzdem in dieser Arbeit zum Einsatz [Lin, 2004, S. 5].

### 5.1.2 BLEU

BLEU kommt der Funktionsweise von ROUGE weitestgehend gleich. Demnach repräsentiert der Score ebenfalls die Ähnlichkeit längendefinierter N-Gramme. Dabei wird weiterhin für jede SYSZ eine entsprechende REFZ gefordert. Beide Metriken funktionieren indes sprachunabhängig. Im Unterschied zu ROUGE führt BLEU einen multiplikativen Bestrafungsterm ein, um zu kurze SYSZ zu entwerten. Dies ist nicht notwendig, wenn die SYSZ länger ist als die REFZ. Der Precision-Score berücksichtigt dies bereits [Papineni et al., 2002, S. 5].

Ogleich der BLEU-Score primär die Bewertung von Übersetzungen unterstützt, eignet er sich gewissermaßen auch für ATS-Aufgaben. Zuletzt konnte wissenschaftlich bewiesen werden, dass der BLEU-Score recht gut mit menschlichen Bewertungen korreliert. Trotz ähneldnen Nachteilen zu denen des ROUGE-Score wird auch der BLEU-Score vergleichend in dieser Arbeit verwendet [Papineni et al., 2002, S. 6-7].

## 5.2 Architektur

Die Architektur ist als Sequence-to-Sequence-Transformer-Modell zu verstehen. Dabei wird sowohl der Encoder als auch der Decoder durch ein eigenständiges gemäß TL vortrainiertes Modell repräsentiert. Aufgrund der bereits beschriebenen Grundlagen wird nun die weitergehende Konfiguration der Architektur definiert. Hierbei gibt es unter anderem die folgenden beiden Möglichkeiten, um den Encoder zum NLU und den Decoder zur NLG zu initialisieren [Rothe et al., 2020, S. 2].

Einerseits ist es möglich, den Encoder und den Decoder jeweils mit einem autarken Modell zu initialisieren, beispielsweise den Encoder mit BERT und den Decoder mit GPT. Andererseits ist es aber auch möglich, sowohl den Encoder als auch den Decoder mit dem gleichen Checkpoint eines Modells zu initialisieren, welches ursprünglich nur als Encoder trainiert wurde, beispielsweise mit BERT. Aufgrund der Verfügbarkeit von BERT wird in der Folge nur letztere Möglichkeit betrachtet. Die folgenden Ausführungen sind in Abbildung 5.1 visualisiert [Rothe et al., 2020, S. 2-3].

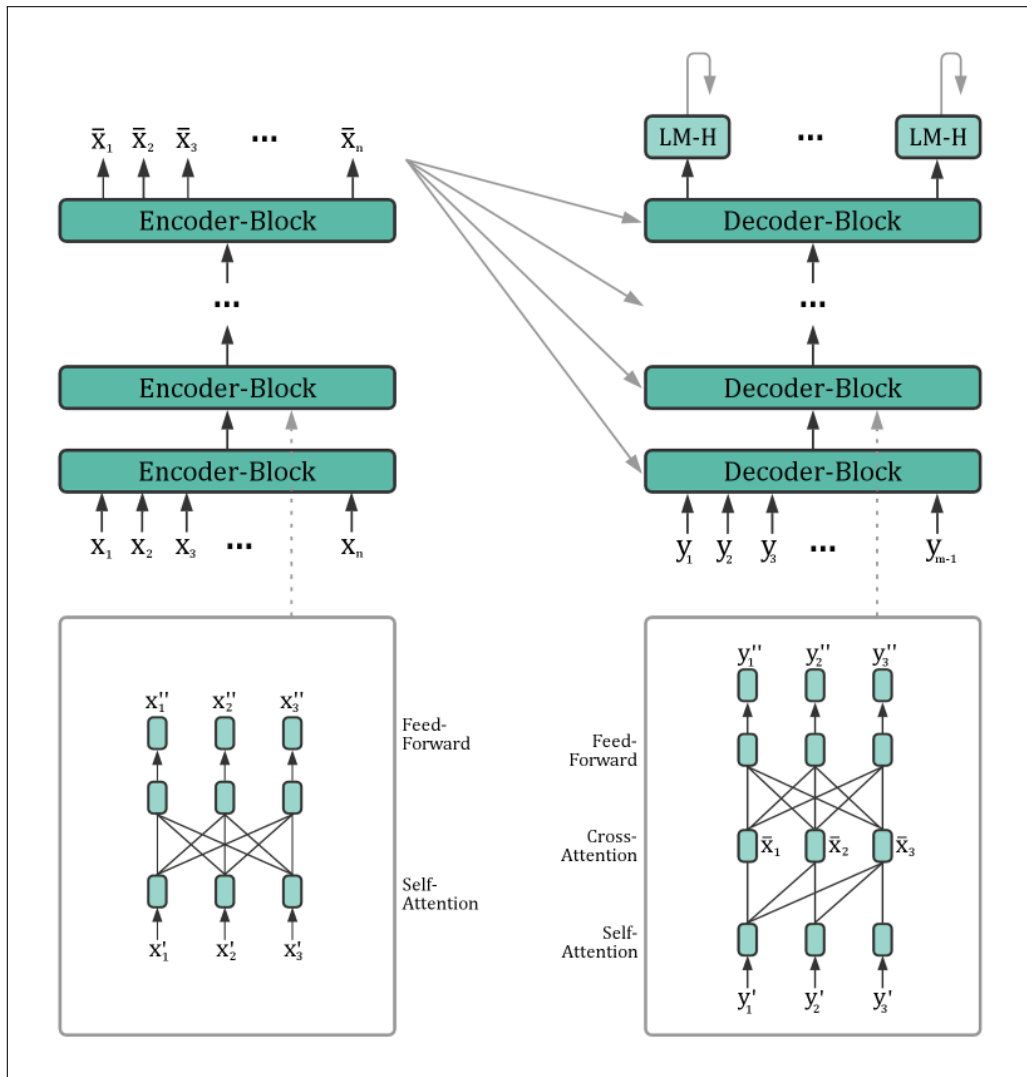


Abbildung 5.1: Sequence-to-Sequence-Transformer-Modell mit BERT [Von Platen, 2020].

Die Gewichte der bidirektionalen Self-Attention-Schichten und der Feed-Forward-Schichten aller Encoder-Blöcke werden mit den vortrainierten Gewichten von BERT initialisiert. Dabei kann der Encoder schlichtweg als BERT in seiner Reinform verstanden werden. Der Decoder hingegen bedarf mindestens der nachstehenden Anpassungen [Von Platen, 2020].

Zunächst werden sogenannte Cross-Attention-Schichten zwischen den Self-Attention-Schichten und den Feed-Forward-Schichten aller BERT-Blöcke eingeführt, um die kontextbasierten Sequenzen verarbeiten zu können. Die Gewichte der Cross-Attention-Schichten werden hierbei zufällig initialisiert [Von Platen, 2020].

Zudem werden die bidirektionalen Self-Attention-Schichten zu unidirektionalen Self-Attention-Schichten transformiert, um der autoregressiven Funktionsweise eines Decoders gerecht zu werden. Bei der autoregressiven NLG wird angenommen, dass die Wahrscheinlichkeitsverteilung einer Sequenz in das Produkt der bedingten nächsten Wortverteilungen zerlegt werden kann [Von Platen, 2020]. Beide Attention-Schichten basieren auf den gleichen Projektionen aus Key, Query und Value, weshalb die Gewichte dieser Schichten weiterhin mit den Werten von BERT initialisiert werden können. Die unidirektionalen Self-Attention-Schichten berücksichtigen nun nur noch vorangegangene Token, nicht mehr auch die nachstehenden Token. Dies führt zu veränderten Ausgabevektoren im Vergleich zum ursprünglich BERT, obwohl sie die gleichen Gewichte teilen [Rothe et al., 2020, S. 2].

Zuletzt wird dem Decoder eine sogenannte Language-Model-Head-Schicht hinzugefügt, dessen Gewichte mit denen des gewählten Word Embeddings initialisiert werden. Hierbei handelt es sich erneut um BERT. Es wird deutlich, dass sich der Encoder und der Decoder viele Gewichte teilen können. Dies führt zu einer erheblichen Reduktion des Speicherbedarfs, während die Qualität anschließender NLP-Aufgaben nahezu unverändert bleibt [Rothe et al., 2020, S. 2].

Die Textinhalte der Datengrundlage bedürfen überdies keiner weitergehenden Vorverarbeitung im herkömmlichen Sinne. Diese ist bekanntermaßen sehr individuell und stark modellabhängig. Unter Verwendung der als sehr robust geltenden Transformer-Architekturen entfällt daher die sonst übliche Textbereinigung sowie die Textnormalisierung. Dies unterliegt der Annahme, dass Transformer-Architekturen potenziell aus jeder Eigenart ein relevantes Feature schaffen können, welches das spätere Ergebnis begünstigt. Von der zugeführten Interpunktion und den vielfältigen Wortformen wird sich indes erhofft, potenzielle Mehr- oder Uneindeutigkeiten zu minimieren. Das Fine-Tuning sollte darüber hinaus stets unter gleichen Bedingungen wie das initiale Training stattfinden. Gleichzeitig sinkt hierdurch der vorverarbeitende Aufwand und damit auch etwaige Wartezeiten bei der praktischen Anwendung bereits trainierter Modelle in Echtzeit. Dennoch ist es möglich, bestimmte Vorverarbeitungsschritte a posteriori zu implementieren. Die Auswirkungen auf das Modell und die entsprechenden Ergebnisse würden somit zugleich messbar.

In der sonstigen technischen Vorbereitung ist weiterhin ein Tokenizer zu definieren. Dieser entstammt ebenfalls BERT und berücksichtigt Groß- und Kleinschreibung. BERT kann Sequenzen bis zu einer maximalen Länge von 512 Token verarbeiten. Dies unterschreitet zwar die durchschnittliche Textlänge der beschriebenen Korpora, kann jedoch unter der Annahme, dass wichtige Informationen zumeist am Anfang von Texten stehen, akzeptiert werden [Von Platen, 2020].

Von einer schlichten Erhöhung der maximalen Tokenlänge ist indes abzuraten, da hierbei ein quadratischer Anstieg der Rechenzeit und des Speicherbedarfs zu erwarten ist. Zudem wurde BERT ausschließlich auf Texten mit einer maximalen Tokenlänge von 512 trainiert. Ein denkbarer Lösungsansatz, welcher an dieser Stelle nur genannt sei, ist der sogenannte Sliding-Window-Approach. Hierbei besteht jedoch die Gefahr, dass langfristige Abhängigkeiten verloren gehen. Zuvor sind außerdem entsprechende Testläufe durchzuführen. Weiterhin existieren Ansätze wie etwa Longformer oder auch Big Bird, welche die Verarbeitung langer Sequenzen verfolgen [Zaheer et al., 2021]. Diese versuchen zugleich, lineare Komplexität zu erreichen, beispielsweise mithilfe lokaler Attention-Mechanismen, die wiederum mit globaler Attention verknüpft sind [Beltagy et al., 2020]. Ein eher anwendungsbezogener Workaround besteht hingegen darin, den jeweils eingehenden Rohtext alle 512 Token zu unterteilen, die Subtexte einzeln zusammenzufassen und die Zusammenfassungen zu konkatenieren. Dies betrifft jedoch nicht das eigentliche Training [Ding et al., 2020, S. 2].

Texte werden also zusammenfassend in den nachfolgenden Schritten jeweils nach 512 Token abgeschnitten. Die maximale Tokenlänge der entstehenden Zusammenfassungen wird auf 128 limitiert. Anpassungen, welche etwa im Laufe der experimentgetriebenen Entwicklung und Optimierung an Potenzial gewinnen, werden an den entsprechenden Stellen ergründet und evaluiert.

## 5.3 Experimente

Die Entwicklung und die Durchführung aller Experimente geschieht in Python. Dies ist eine Programmiersprache, welche sich insbesondere für ML- und DL-Zwecke eignet. Dabei werden Trainingsprozesse durch Compute Unified Device Architecture (CUDA) unterstützt, wenn entsprechende Voraussetzungen erfüllt sind. CUDA ist eine von NVIDIA entwickelte Technik, welche es ermöglicht, bestimmte Operationen mithilfe der GPU

zu beschleunigen [NVIDIA, 2021]. Zudem ist es in dieser Umgebung möglich, vortrainierte Modelle wie BERT zu laden und Architekturen weitergehend gemäß der oben definierten Konfiguration zu präparieren, darunter beispielsweise die beschriebene Encoder-Decoder-Architektur. Dies wird durch die Bibliothek PyTorch und das US-Unternehmen HuggingFace, welches den Code als Open Source bereitstellt, ermöglicht. HuggingFace stellt zudem verschiedene Klassen zum Trainieren von Sequence-to-Sequence-Modellen bereit [HuggingFace, 2021]. Darüber hinaus erfolgen alle Experimente dieser Arbeit über einen legitimierten Zugang auf dem Hochleistungsrechner der TU Dresden, namentlich Taurus, um das Potenzial der verfügbaren Umgebung vollends auszuschöpfen [ZIH, 2021]. Experimente umfassen indes stets die folgenden Schritte: Initialisierung, Training, Evaluation.

Zunächst erfolgt die Reproduktion des SOTA, um eine Baseline zu setzen, an welcher sich in nachfolgenden Experimenten verglichen und gemessen werden kann. Daher ist es unabdingbar, ein erstes Modell auf dem englischen Korpus zu trainieren. Dies folgt der beschriebenen Architektur und der entsprechenden Konfiguration ohne Kompromisse.

+ YAN19 auf S. 1, ROT20 auf S. 2 rechts und S. 6 unten + Encoder zur NLU und Decoder zur NLG, d.h. BERT oder andere Transformer als vortrainiertes multilinguales Modell für Encoder/ Decoder nutzen + Warm-Start des Encoder-Decoder-Models, d.h. kein initiales Training erforderlich, welches im Bereich von NLP-Tasks ein Neuerlernen einer Sprache bedeuten würde, Encoder-Decoder-Weight-Sharing bei der Initialisierung nochmal schriftlich kompaktieren und deutlich machen + [Yang et al., 2019] S. 4 rechts, S. 5 oben für Evaluation, S. 6 links unten für Konfiguration + Longformer irgendwo erwähnen? + Aufbau von BERT und BERT.config aus dem Colab aufgreifen? + Austausch vortrainierter Modelle, andere Versionen von BERT o.ä. + Vergleichstabelle der Experimente einbinden und beschreiben + Typisches Diagramm zur Visualisierung des Trainingsprozesses anfügen + Verhalten des Modells interpretieren und Anpassungen ableiten, bspw. Exploitation wegen der Struktur der Artikel nochmal aufgreifen, ggf. erst bei der sprachtechnischen Adaption + Erwähnen, dass dies als Experiment genügt, sprachtechnische Anpassungen dann erst im nächsten Kapitel.

## 6 Sprachtechnische Adaption

Unter Kenntnis der Architektur des abstraktiven Ansatzes und der Baseline des englischsprachigen Modells wird nun ergründet, wie eine Adaption auf die deutsche Sprache erfolgen kann. Dies wird mithilfe verschiedener Experimente erprobt, welche sich weiterhin auf die bekannten Metriken stützen.

### 6.1 Architektur

+ Beschreiben, warum die Architektur sich für die Multilingualität eignet + Anpassungen dokumentieren, anderweitig parametrisieren + Auswahl von BERT damit begründen, dass Multilingualität gegeben ist, gut erforscht, Alternativen nicht, obwohl sie teilweise Verbesserungen versprechen + <https://towardsdatascience.com/deep-generative-models>  
Deep Generative Models: BERT: Verteilung von Daten unüberwacht lernen, d.h. ungelabelte Daten, Berechnung bedingter Wahrscheinlichkeiten

### 6.2 Experimente

+ Trainings und Tests ausführen + Korpora austauschen o.ä.

## 7 Zusammenfassung

Notizen:

- Methoden und Ergebnisse zusammenfassen
- Bewertung der Zielerreichung
- Beantwortung der Forschungsfragen
- Lösung eingangs beschriebener Szenarien
- Welche Domäne wird am besten erkannt? Funktionieren Modelle mit gemischten Korpora?
- Siehe Abstract im Exposé



## 8 Diskussion und Ausblick

Notizen:

- Adaptive Learning für die Modelle ansatzweise vorstellen
- Modelle für mehrere Sprachen trainieren
- Modell auf Dialogcharakter adaptieren, um es in der Verdichtung von Protokollen einer Videosprechstunde zu nutzen, bzw. generell bspw. Meetings zusammenzufassen
- Forschungsstand und SOTA-Modelle hierfür im einleitenden Kapitel beschreiben, hier aufgreifen (vgl. Paper: „Abstractive Dialogue Summarization with Sentence-Gated Modeling Optimized by Dialogue Acts“ und “Using a KG-Copy Network for Non-Goal Oriented Dialogues”), bereits Architekturen vorstellen (vgl. „Automatic Dialogue Summary Generation of Customer Service“ und „Dialogue Response Generation using Neural Networks and Background Knowledge“ und „Global Summarization of Medical Dialogue by Exploiting Local Structures“)
- Modell ohne Anpassungen auf Konversationen anwenden: [https://www.isi.edu/natural-language/people/hovy/papers/05ACL-email\\_thread\\_summ.pdf](https://www.isi.edu/natural-language/people/hovy/papers/05ACL-email_thread_summ.pdf)
- Modell nutzen, um Zusammenfassungen für Texte zu generieren und damit neue Datensätze für neue Modelle zu generieren, aber stark von der Qualität abhängig
- Gelb markierte Literatur sichten und verwenden, Datumsangaben aktualisieren
- Ausblick: Zusammenfassungen formatieren, also Großschreibung nach Satzenden oder auch Leerzeichenentfernung vor Punkten, Adaption auf Sprache und/ oder Domain
- Ausblick: Ausblick: Datengrundlage besteht aus frei verfügbaren allgemeinsprachlichen, ausreichend langen und deutschsprachigen Daten, verschiedene Herkünfte, auf Grundlage dieser Allgemeinsprache und den eben genannten Vorhaben, sollte

ein grundlegendes Modell trainiert werden und später für den Use Case eine Art Adaptive Learning betrieben werden, d.h. wenn bekannt ist, dass das Modell für medizinische Texte angewandt werden soll, sollte man vorher die Parameter des Modells finetunen, Gefahr: Initial bereits hohe Informationsdichte bei Diktaten - "Was fällt raus?"

- Ausblick: Limitations von NLP: [Bird et al., 2009, S. 30-31]
- Siehe Abstract im Exposé

# Literaturverzeichnis

- [AI-United, 2019] AI-United: LSTM als neuronales Netzwerk mit langem Kurzzeitgedächtnis, in: <http://www.ai-united.de/lstm-als-neuronales-netzwerk-mit-langem-kurzzeitgedaechnis/>, Aufruf am 01.03.2021.
- [Arbel, 2018] Arbel, Nir: How LSTM Networks Solve the Problem of Vanishing Gradients, in: <https://medium.datadriveninvestor.com/how-do-lstm-networks-solve-the-problem-of-vanishing-gradients-a6784971a577>, Aufruf am 01.03.2021.
- [Beltagy et al., 2020] Beltagy, Iz & Peters, Matthew & Cohan, Arman: Longformer as the Long-Document Transformer, Allen Institute for Artificial Intelligence, Seattle, 2020.
- [Bird et al., 2009] Bird, Steven & Klein, Ewan & Loper, Edward: Natural Language Processing with Python, Verlag O'Reilly, Sebastopol, Vereinigte Staaten, 2009.
- [Brownlee, 2019] Brownlee, Jason: A Gentle Introduction to the Bag-of-Words Model, in: <https://machinelearningmastery.com/gentle-introduction-bag-words-model/>, Aufruf am 01.03.2021.
- [Cieliebak, 2019] Cieliebak, Mark: German Text Summarization Challenge, Swiss Text Analytics Conference, Winterthur, 2019.
- [CS231N, O. J.] Convolutional Neural Networks for Visual Recognition: Nesterov Momentum, in: <https://cs231n.github.io/neural-networks-3/>, Aufruf am 01.03.2021.
- [Culurciello, 2018] Culurciello, Eugenio: The Fall of RNN/ LSTM, in: <https://towardsdatascience.com/the-fall-of-rnn-lstm-2d1594c74ce0>, Aufruf am 01.03.2021.
- [Devlin et al., 2019] Devlin, Jacob & Chang, Ming-Wei & Lee, Kenton & Toutanova, Kristina: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding, Google AI Language, 2019.
- [Ding et al., 2020] Ding, Ming & Zhou, Chang & Yang, Hongxia & Tang, Jie: Applying BERT to Long Texts, in: <https://proceedings.neurips.cc/paper/2020/file/96671501524948bc3937b4b30d0e57b9-Paper.pdf>, Aufruf am 01.03.2021.
- [Edpresso, O. J.] Edpresso: Overfitting and Underfitting, in: <https://www.educative.io/edpresso/overfitting-and-underfitting>, Aufruf am 01.03.2021.
- [Gambhir et al., 2016] Gambhir, Mahak & Gupta, Vishal: Recent Automatic Text Summarization Techniques, University of Panjab in Chandigarh, 2016.

- [Goncalves, 2020] Goncalves, Luis: Automatic Text Summarization with Machine Learning, in: <https://medium.com/luisfredgs/automatic-text-summarization-with-machine-learning-an-overview-68ded5717a25>, Aufruf am 01.03.2021.
- [HuggingFace, 2021] HuggingFace: The AI community building the future, in: <https://huggingface.co/>, Aufruf am 01.03.2021.
- [Huilgol, 2020] Huilgol, Purva: Quick Introduction to Bag-of-Words (BoW) and TF-IDF for Creating Features from Text, in: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2020/02/quick-introduction-bag-of-words-bow-tf-idf/>, Aufruf am 01.03.2021.
- [Irene, 2018] Irene: ELMo in Practive, in: <https://ireneli.eu/2018/12/17/elmo-in-practice/>, Aufruf am 01.03.2021.
- [Karani, 2018] Karani, Dhruvil: Introduction to Word Embedding and Word2Vec, in: <https://towardsdatascience.com/introduction-to-word-embedding-and-word2vec-652d0c2060fa>, Aufruf am 01.03.2021.
- [Karim, 2019] Karim, Raimi: Self-Attention, in: <https://towardsdatascience.com/illustrated-self-attention-2d627e33b20a>, Aufruf am 01.03.2021.
- [Khanna, 2019] Khanna, Sachin: Machine Learning vs. Deep Learning, Department of Computer Science Engineering in India, 2019.
- [Kiani, 2017] Kiani, Farzad: Automatic Text Summarization, University of Arel in Istanbul, 2017.
- [Kingma et al., 2017] Kingma, Diederik & Ba, Jimmy: Adam - A Method for Stochastic Optimization, University of Amsterdam and Toronto, 2017.
- [Kriesel, 2005] Kriesel, David: Ein kleiner Überblick über neuronale Netze, in: [http://www.dkriesel.com/science/neural\\_networks](http://www.dkriesel.com/science/neural_networks), Aufruf am 01.03.2021.
- [Lemberger, 2020] Lemberger, Pirmin: Deep Learning Models for Automatic Summarization, in: <https://towardsdatascience.com/deep-learning-models-for-automatic-summarization-4c2b89f2a9ea>, Aufruf am 01.03.2021.
- [Lin, 2004] Lin, Chin-Yew: ROUGE as a Package for Automatic Evaluation of Summaries, Information Sciences Institute, Southern California, 2004.
- [Luber et al., 2018] Luber, Stefan & Litzel, Nico: Long-Short-Term-Memory, in: <https://www.bigdata-insider.de/was-ist-ein-long-short-term-memory-a-774848/>, Aufruf am 01.03.2021.
- [Manning et al., 2008] Manning, Christopher & Raghavan, Prabhakar & Schütze, Heinrich: Introduction to Information Retrieval, Cambridge University Press, 2008.

- [McCullum, 2020] McCullum, Nick: Deep Learning Neural Networks Explained, in: <https://www.freecodecamp.org/news/deep-learning-neural-networks-explained-in-plain-english/>, Aufruf am 01.03.2021.
- [Nallapati et al., 2016] Nallapati, Ramesh & Zhou, Bowen & Dos Santos, Cicero & Gulcehre, Caglar & Xiang, Bing: Abstractive Text Summarization using Sequence-to-Sequence RNNs, Conference on Computational Natural Language Learning, 2016.
- [Nitsche, 2019] Nitsche, Matthias: Towards German Abstractive Text Summarization using Deep Learning, HAW Hamburg, 2019.
- [NLTK, 2020] NLTK: Stem-Package, in: <https://www.nltk.org/api/nltk.stem.html>, Aufruf am 01.03.2021.
- [NVIDIA, 2021] NVIDIA: CUDA Toolkit, in: <https://developer.nvidia.com/cuda-toolkit>, Aufruf am 01.03.2021.
- [Papineni et al., 2002] Papineni, Kishore & Roukos, Salim & Ward, Todd & Zhu, Wei-Jing: BLEU as a Method for Automatic Evaluation of Machine Translation, Association for Computational Linguistics, Philadelphia, 2002.
- [Paulus et al., 2017] Paulus, Romain & Xiong, Caiming & Socher, Richard: A Deep Reinforced Model for Abstractive Summarization, in: <https://arxiv.org/pdf/1705.04304v3.pdf>, Aufruf am 01.03.2021.
- [Pennington et al., 2014] Pennington, Jeffrey & Socher, Richard & Manning, Christopher: Global Vectors for Word Representation, Stanford University, 2014.
- [Peters et al., 2018] Peters, Matthew & Neumann, Mark & Iyyer, Mohit & Gardner, Matt & Clark, Christopher & Lee, Kenton & Zettlemoyer, Luke: Deep Contextualized Word Representations, Allen Institute for Artificial Intelligence, Washington, 2018.
- [Radford et al., 2019] Radford, Alec & Wu, Jeff & Child, Rewon & Luan, David & Amodei, Dario & Sutskever, Ilya: Language Models are Unsupervised Multitask Learners, in: <https://openai.com/blog/better-language-models/>, Aufruf am 01.03.2021.
- [Raffel et al., 2020] Raffel, Colin & Shazeer, Noam & Roberts, Adam & Lee, Katherine & Narang, Sharan & Matena, Michael & Zhou, Yanqi & Li, Wei & Lio, Peter: Exploring the Limits of Transfer Learning with a Unified Text-to-Text Transformer, Google Research, 2020.
- [Raschka et al., 2019] Raschka, Sebastian & Mirjalili, Vahid: Machine Learning and Deep Learning with Python, Verlag Packt, Birmingham, Vereinigtes Königreich, 2019.
- [Rothe et al., 2020] Rothe, Sascha & Narayan, Shashi & Severyn, Aliaksei: Leveraging Pre-Trained Checkpoints for Sequence Generation Tasks, Google Research, 2020.
- [SpaCy, 2021] SpaCy: German Models, in: <https://spacy.io/models/de>, Aufruf am 01.03.2021.

- [TensorFlow, 2021] TensorFlow: Datasets - CNN-DailyMail, in: [https://www.tensorflow.org/datasets/catalog/cnn\\_dailymail](https://www.tensorflow.org/datasets/catalog/cnn_dailymail), Aufruf am 01.03.2021.
- [Thaker, 2019] Thaker, Madhav: Comparing Text Summarization Techniques, in: <https://towardsdatascience.com/comparing-text-summarization-techniques-d1e2e465584e>, Aufruf am 01.03.2021.
- [Vaswani et al., 2017] Vaswani, Ashish & Shazeer, Noam & Parmar, Niki & Uszkoreit, Jakob & Jones, Llion & Gomez, Aidan & Kaiser, Lukasz & Polosukhin, Illia: Attention Is All You Need, Google Research, 2017.
- [Von Platen, 2020] Von Platen, Patrick: Leveraging Pre-trained Language Model Checkpoints for Encoder-Decoder Models, in: <https://huggingface.co/blog/warm-starting-encoder-decoder>, Aufruf am 01.03.2021.
- [Yang et al., 2019] Yang, Liu & Lapata, Mirella: Text Summarization with Pretrained Encoders, Institute for Language, Cognition and Computation in Edinburgh, 2019.
- [Yang et al., 2020] Yang, Li & Shami, Abdallah: On Hyperparameter Optimization of Machine Learning Algorithms, University of Western Ontario, 2020.
- [Zaheer et al., 2021] Zaheer, Manzil & Guruganesh, Guru & Dubey, Avinava & Ainslie, Joshua & Alberti, Chris & Ontanon, Santiago & Pham, Philip & Ravula, Anirudh & Wang, Qifan & Yang, Li & Ahmed, Amr: Bid Bird as a Transformer for Longer Sequences, Google Research, 2020.
- [Zhang et al., 2020] Zhang, Aston & Lipton, Zachary & Li, Mu & Smola, Alexander: Dive into Deep Learning, in: <https://d2l.ai/>, Aufruf am 01.03.2021.
- [ZIH, 2021] Zentrum für Informationsdienste und Hochleistungsrechnen der TU Dresden: Hochleistungsrechnen, in: <https://tu-dresden.de/zih/hochleistungsrechnen>, Aufruf am 01.03.2021.

# Thesen

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet.

# Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, Daniel Vogel, die vorliegende Masterarbeit selbstständig und nur unter Verwendung der von mir angegebenen Literatur verfasst zu haben. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Dresden, den ???. Juli 2021

Daniel Vogel



# A Erster Anhang

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet.

# B Zweiter Anhang

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet.