



Duale Hochschule Baden-Württemberg  
Mannheim

## **Bachelorarbeit**

**Modellierung einer Funktion zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit eines  
Torerfolges im Fußball**

### **Studiengang Wirtschaftsinformatik**

Studienrichtung Software Engineering

Verfasser:	Alexander Baum
Matrikelnummer:	8095497
Firma:	SAP SE
Abteilung:	SAP Sports
Kurs:	WWI 14 SE A
Studiengangsleiter:	Prof. Dr.-Ing. Jörg Baumgart
Wissenschaftliche Betreuerin:	Susanne Klusmann susanne.klusmann@f-i.de +49 511 5102-22137
Firmenbetreuer:	Dr. Andrew McCormick-Smith andrew.mccormick-smith@sap.com +49 6227 7-41565
Bearbeitungszeitraum:	21. November 2016 bis 20. Februar 2017

# Kurzfassung

Verfasser: Alexander Baum

Kurs: WWI 14 SE A

Firma: SAP SE

Thema: Modellierung einer Funktion zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit eines Torerfolges im Fußball

- Problemstellung - Ziele - Vorgehen - Ergebnisse

# Inhaltsverzeichnis

<b>Verzeichnisse</b>	<b>v</b>
Abkürzungsverzeichnis . . . . .	v
Abbildungsverzeichnis . . . . .	vi
Tabellenverzeichnis . . . . .	vi
Listingverzeichnis . . . . .	vi
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Ziel . . . . .	1
1.2 Umgebung . . . . .	2
1.3 Vorgehen . . . . .	3
<b>2 Theoretische Grundlagen</b>	<b>5</b>
2.1 Data Mining . . . . .	5
2.1.1 Definition des Data Minings . . . . .	5
2.1.2 Data Mining Prozesse . . . . .	9
2.1.2.1 Knowledge Discovery in Data . . . . .	9
2.1.2.2 CRISP-DM . . . . .	10
2.2 Knowledge Discovery in Data . . . . .	13
2.2.1 Datenselektion . . . . .	14
2.2.2 Datenvorverarbeitung . . . . .	14
2.2.2.1 Data Cleaning . . . . .	17
2.2.2.2 Data Integration . . . . .	20
2.2.2.3 Data Reduction . . . . .	21
2.2.3 Datentransformation . . . . .	22
2.2.4 Data-Mining-Methoden . . . . .	24
2.2.5 Interpretation . . . . .	28
2.3 Funktionsmodellierung . . . . .	29
2.3.1 Regressionsanalyse . . . . .	29
2.3.1.1 Allgemein . . . . .	29
2.3.1.2 Regressionsmodelle . . . . .	31
2.3.1.3 Bestimmtheitsmaß . . . . .	38
2.3.2 MatLab . . . . .	39
2.3.2.1 Allgemein . . . . .	39
2.3.2.2 Regressionsanalyse . . . . .	40

<b>3</b>	<b>Analysephase</b>	<b>42</b>
3.1	Expected Goals . . . . .	42
3.2	Opta-Spieldaten . . . . .	44
3.3	Wirtschaftliche Betrachtung . . . . .	48
<b>4</b>	<b>Umsetzung</b>	<b>49</b>
4.1	Datenselektion . . . . .	49
4.2	Datenvorverarbeitung . . . . .	51
4.2.1	Data Cleaning . . . . .	51
4.2.2	Data Integration . . . . .	54
4.2.3	Data Reduction . . . . .	55
4.3	Datentransformation . . . . .	56
4.3.1	Allgemeine Transformationen . . . . .	56
4.3.2	Transformation für Koordinatenbetrachtung . . . . .	58
4.3.3	Transformation für Winkel- und Distanzbetrachtung . . . . .	59
4.4	Modellierung der Funktion . . . . .	61
4.4.1	Betrachtung der Koordinaten . . . . .	61
4.4.2	Betrachtung des Winkels- und der Distanz . . . . .	61
4.5	Interpretation der Ergebnisse . . . . .	61
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>62</b>
5.1	Fazit . . . . .	62
5.2	Ausblick . . . . .	63
<b>A</b>	<b>Opta</b>	<b>64</b>
<b>B</b>	<b>MatLab Code</b>	<b>67</b>
	<b>Glossar</b>	<b>68</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>70</b>

# Verzeichnisse

## Abkürzungsverzeichnis

CFT	Curve Fitting Tool
CRISP-DM	Cross Industry Standard Process for Data Mining
DFL	Die Liga – Fußballverband e.V.
DM	Data Mining
GSN	Global Soccer Network
IoT	Internet of Things
JSON	JavaScript Object Notation
KDD	Knowledge Discovery in Data
KNN	K-Nearest Neighbours
KPI	Key Performance Indicator
MATLAB	MATrix LABoratory
MDKQ	Methode der kleinsten Quadrate
ML	Machine Learning
NN	Neuronale Netze
OLAP	Online Analytical Processing
RSS	Residual Sum of Squares
SAP	eigenständiger Markenname - früher: <i>Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung</i>
SQL	Structured Query Language
SVM	Super Vector Machine
TSS	Total Sum of Squares
XML	Extensible Markup Language

## Abbildungsverzeichnis

1:	Wissensextraktion aus Daten . . . . .	7
2:	Der Knowledge Discovery in Data Prozess . . . . .	10
3:	CRISP-DM Prozess . . . . .	11
4:	Werkzeuge der Datenvorverarbeitung . . . . .	16
5:	Outlierdetection mittels Clustering . . . . .	19
6:	Min-Max-Normalisierung . . . . .	23
7:	Übersicht: Data-Mining-Methoden . . . . .	27
8:	Grafische Darstellung der linearen Regression . . . . .	31
9:	Grafische Darstellung der nichtlinearen Regression . . . . .	33
10:	Grafische Darstellung der multiplen Regression . . . . .	34
11:	Grafische Darstellung der nichtparametrischen Regression . . . . .	35
12:	Anwendung der <i>Spline</i> -Regression . . . . .	36
13:	Erste Vorstellung der Funktion in Bezug auf die Koordinaten des Schusses	37
14:	Bestandteile des Curve Fitting Tools . . . . .	41
15:	Koordinatensystem Opta . . . . .	46
16:	Ausschluss der Eigentore . . . . .	50
17:	Darstellung der Ausreißer bei Torerfolgen . . . . .	53
18:	Transformation des Koordinatensystems . . . . .	57
19:	Einteilung des Spielfeldes in Raster . . . . .	58
20:	Berechnung der Distanz und des Winkels . . . . .	60
21:	Auszug aus der XML-Datei mit den Events . . . . .	64
22:	Problem der weißen Linien . . . . .	65
23:	Überblick Umsetzung . . . . .	66

## Tabellenverzeichnis

1:	Auflistung der Anforderungen . . . . .	4
2:	Schuss-Events . . . . .	47
3:	Relevante Qualifier . . . . .	47
4:	Datenaggregation für die Koordiantenbetrachtung . . . . .	59
5:	Datenaggregation für die Winkel- und Distanzbetrachtung . . . . .	61

## Listingverzeichnis

1:	Struktur der Opta-Daten . . . . .	44
2:	Struktur der Daten nach der Reduzierung . . . . .	55
3:	Struktur der Daten nach der allgemeinen Transformation . . . . .	57
4:	Struktur der Daten für die Winkel- und Distanzbetrachtung . . . . .	60

# 1 Einleitung

## 1.1 Ziel

### Hintergrund:

- Begriff Expected Goals wird als einer der neuen Schlüsselindikatoren im Fußball angesehen
- Frage nach der Wahrscheinlichkeit von Punkt X,Y einen Torerfolg zu erzielen
- Zugrunde liegen die Spieldaten der Bundesligasaisons 2014/15, 2015/16, sowie die aktuellen Spiele der Saison 2016/16
- Expected Goals gibt es in zahlreichen Varianten, doch wurde noch keine Funktion dafür modelliert (Ziel der Arbeit = neues Wissen schaffen)
- Trainer, Spielanalysten und Scouts würden von einem fundierten und wissenschaftlich begründeten KPI profitieren

### Beantwortung der wissenschaftlichen Teilfragen:

1. Welche Daten liegen vor?
2. Wie sollen die für die Funktion relevanten Daten selektiert werden?
3. Müssen Daten bereinigt bzw. aufbereitet werden?
4. Wie kann eine Funktion aus Daten modelliert werden?
5. Welche Arten der Regressionsanalyse gibt es?



6. Welche Tools/welche Software kann für die Berechnung genutzt werden?
7. Welche Annahmen werden für das Modell getroffen und warum?
8. Wie kann der Erfolg der resultierenden Funktion gemessen werden?

## 1.2 Umgebung

**Unternehmen** Die SAP<sup>1</sup> wurde 1972 von fünf ehemaligen IBM Mitarbeitern gegründet und ist seit mehr als 40 Jahren, hinsichtlich des Marktanteils mit über 282.000 Kunden, das weltweit führende Unternehmen für Anwendung- und Analysesoftware. Der im baden-württembergischen Walldorf gegründete Aktienkonzern bietet mit dem bis heute bekanntesten Produkt *SAP ERP* eine Softwarelösung zur Abbildung aller Geschäfts- und Produktionsprozesse in einem Unternehmen von Personal- und Rechnungswesen bis hin zur Logistik. Mit dem heutigen Stand der Entwicklung setzt die SAP ihren Fokus verstärkt auf die Bereiche Cloud, Mobile und Internet of Things, um mit den anderen Unternehmen konkurrieren zu können und den Anschluss an den Trend der Zeit nicht zu verlieren. Die SAP beschäftigt in über 180 Ländern mehr als 77.00 Mitarbeiter und erzielte im Jahr 2015 einen Umsatz von 20,8 Mrd Milliarden Euro, sowie ein Betriebsergebnis von 6,3 Milliarden Euro.<sup>2</sup>

**Abteilung** Die Praxisphase erfolgte in der Abteilung *Sports & Entertainment*, die sich von den klassischen SAP Geschäftsbereichen isoliert hat und alles rund um den Sport betreut. Im Bereich des Fußballs liegt der Fokus einerseits auf der Organisation des gesamten Vereins inklusive Umfeld, sprich Management, Marketing, Mannschaft, Jugend oder auch Fans, andererseits auch auf der Spielanalyse mit Hilfe von erhobenen Daten. Dazu steht die Abteilung in regelmäßigen Kontakt mit dem Bundesligaverein der TSG 1809 Hoffenheim sowie der deutschen Nationalmannschaft, um ständig neue Anwendungsfälle zu gewinnen. Alle Funktionalitäten sollen in einem Produkt, dem sogenannten *Sports One* vereint werden, welches aus verschiedenen Rollen, wie Spieler, Trainer oder auch Mannschaftsarzt verwendet werden kann. Im Bereich der Spielanalyse und der Leistungsdiagnostik werden Unmengen an Daten

<sup>1</sup> eigenständiger Markenname - früher: *Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung (SAP)*

<sup>2</sup> Zahlen vor Abzug der Steuern

Weitere Information zum Geschäftsbericht der SAP SE aus dem Jahr 2015 unter:  
<http://www.sap.com/docs/download/investors/2015/sap-2015-geschaeftsbericht.pdf>  
[10.01.2017]

gesammelt, die es für den späteren Anwender zu visualisieren gilt. Hier findet sich der in dieser Arbeit beschriebene Anwendungsfall wider, mit dessen Unterstützung eine Funktion für die Berechnung der Wahrscheinlichkeit eines Torerfolges modelliert werden soll.

## 1.3 Vorgehen

**Methodik:** Als grundlegende Methodik wird der allgemeingültige Knowledge Discovery Process verwendet. Der Fokus liegt dabei vor allem im Schritt des Data Minings, in dem auch die Funktion letztendlich modelliert wird. Die vorherigen Schritte zeigen die Datenaufbereitung als auch die  $\omega$ -transformation, um den ganzen Kontext besser verstehen zu können. In den einzelnen Schritten gibt es wiederum wissenschaftliche Methoden, die im theoretischen Teil kurz vorgestellt und in der Umsetzung dann angewendet werden. Beispielsweise findet sich unter dem Punkt Data Mining die mathematische Methode der Regressionsanalyse. So kann der Leser die Arbeit systematisch nachvollziehen und sich entlang des roten Pfadens hangeln.

### Erwartete Ergebnisse:

- Verschiedene Funktionen bei unterschiedlicher Betrachtung:
  - der Auswahl der Daten (Schüsse aus dem Spiel, Standards, ...)
  - des Winkels zum Tor
  - der Distanz zum Tor
- unterschiedliche Flächen der Funktion im dreidimensionalen Raum:
  - Kegel
  - Teil eines Ellipsoids
  - Spline  $\rightarrow$  Genaue Modellierung der Fläche

Anforderungen		
Nr.	Beschreibung	vorgegeben
1.	Input-Variablen der Funktion sind die Koordinaten eines Schusses	<i>ja</i>
2.	Output-Variabel der Funktion ist die Wahrscheinlichkeit zwischen 0 und 1	<i>ja</i>
3.	Es dürfen nur Schüsse berücksichtigt werden, die während des „laufenden“ Spiels abgegeben wurden	<i>ja</i>
4.	Eigentore müssen ausgeschlossen werden „laufenden“ Spiels abgegeben wurden	<i>nein</i>
5.	Geblockte Schüsse müssen ausgeschlossen werden „laufenden“ Spiels abgegeben wurden	<i>ja</i>
6.	Der Ursprung der Funktion ( $P(0,0,0)$ ) liegt in der Mitte der gegnerischen Torlinie	<i>ja</i>
7.	Die Funktion muss symmetrisch zu beiden Spielhälften sein (Spiegelung an der gedachten Linie zwischen der gegnerischen und der eigenen Tormitte)	<i>ja</i>

Tabelle 1: Auflistung der Anforderungen

# 2 Theoretische Grundlagen

## 2.1 Data Mining

Die vorliegende wissenschaftliche Fragestellung bewegt sich im Bereich des Data Minings. Das folgende Kapitel soll dem Leser dazu eine Einführung in die Thematik geben, um ein Verständnis der grundlegenden Begrifflichkeiten und Ziele des Data Minings zu erhalten (vgl. Kapitel 2.1.1). Darüber hinaus werden die Prozesse des Data Minings (vgl. Kapitel 2.1.2 auf S. 9) beleuchtet, wobei der *Knowledge Discovery in Data* Prozess – methodischer Aufbau der späteren Umsetzung – in Kapitel 2.2 auf S. 13 nochmal ausführlich erläutert wird.

### 2.1.1 Definition des Data Minings

Der Begriff des Data Minings reicht zurück bis in die 80er-Jahre des letzten Jahrhunderts und verfolgt das Ziel, Wissen aus umfassenden Datenmengen zu extrahieren.<sup>3</sup> Es handelt sich um einen Prozess des „*Sammelns, Säuberns, Verarbeitens und Analysierens von Daten, zur Gewinnung von nützlichen Informationen.*“<sup>4</sup> Der weltweit gesammelte Datenbestand erhöht sich immer mehr und stellt Analysten vor die Herausforderung, aus dieser Datenflut wertvolle Informationen und organisiertes Wissen abzuleiten.

Erst das heutige „Informationszeitalter“ führte zum Beginn des renommierten Wissenschaftsbereiches des Data Minings, welcher in der Literatur auch als „natürliche Evolution“ der Informationstechnologie bezeichnet wird.<sup>5,6</sup> Grundlegende interdisziplinäre, wissenschaftliche Teilgebiete des Data Minings sind z.B. die Statistik,

---

<sup>3</sup> Vgl. *Runkler*, Data Mining: Modelle und Algorithmen, 2015, S. 2.

<sup>4</sup> *Aggarwal*, Data mining: The textbook, 2015, S. 1.

<sup>5</sup> Vgl. *García/Luengo/Herrera*, Data preprocessing in data mining, 2015, S. 1.

<sup>6</sup> Vgl. *Han/Kamber/Pei*, Data mining: Concepts and techniques, 2012, S. 2.

das maschinelle Lernen (*Machine Learning*<sup>GL</sup> (ML)), die Mustererkennung, die Systemtheorie sowie die *Künstliche Intelligenz*<sup>GL</sup>.<sup>7,8</sup>

Cleve und Han vergleichen die Suche nach Mustern und Zusammenhängen in den Daten mit dem Abbau von Rohstoffen.<sup>9</sup> Sowie im Bergbau nach Schätzen wie Gold und Silber im Gestein gesucht wird, so strebt das *Data Mining*<sup>GL</sup> (DM) nach dem Ableiten von Wissen aus (Roh-)Daten.<sup>10,11</sup> Han geht sogar einen Schritt weiter und präferiert den Begriff des *Knowledge Minings from Data* – bezogen auf den verwendeten Terminus des *Gold Minings*, statt den des *Rock or Sand Minings* – da diese Bezeichnung das eigentliche Ziel, die Gewinnung von Wissen, beinhaltet.<sup>12,13</sup>

„Unter Wissen verstehen wir interessante Muster, die allgemein gültig sind, nicht trivial, [sondern]neu, nützlich und verständlich.“<sup>14</sup> Insofern wird das Ziel verfolgt, komplexe Paradigmen zu erkennen, die durch bloße Betrachtung der Daten nicht aufgedeckt werden können. Oftmals fehlt dem Datenanalysten das spezifische Fachwissen zur Erkennung von Mustern, sodass durch die Einbeziehung von Experten ein iterativer Prozess entsteht, bis ein vorher definiertes Ziel erreicht wird. Zunächst werden aus den Daten Informationen gewonnen, aus welchen wiederum Wissen abgeleitet werden kann, wobei in diesem Prozess der Wissensextraktion die Datenmenge sukzessive abnimmt und sich verdichtet, wie Abbildung 1 auf S. 7 verdeutlicht.

---

<sup>7</sup> Vgl. Runkler, Data Mining: Modelle und Algorithmen, 2015, S. 2.

<sup>8</sup> Vgl. Shi et al., Intelligent knowledge, 2015, S. 1.

<sup>9</sup> Die englische Übersetzung lautet „Mining“

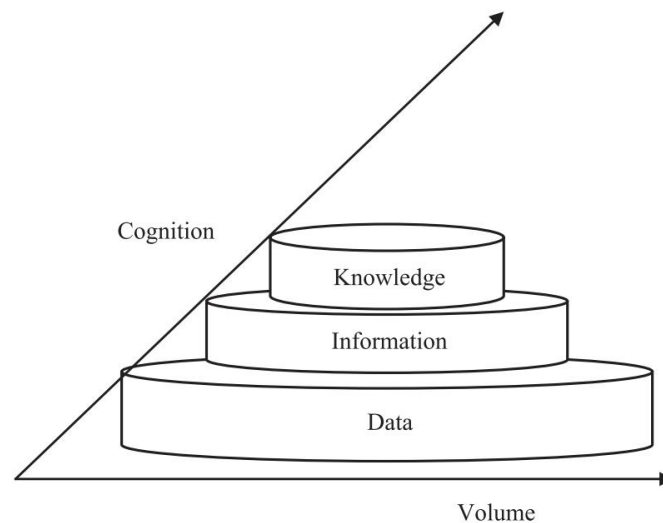
<sup>10</sup> Vgl. Cleve/Lämmel, Data Mining, 2014, S. 1.

<sup>11</sup> Vgl. Han/Kamber/Pei, Data mining: Concepts and techniques, 2012, S. 5-6.

<sup>12</sup> Vgl. ebd.

<sup>13</sup> Weitere Termini nach Han: *knowledge mining from data, knowledge extraction, data/pattern analysis, data archaeology, and data dredging*.

<sup>14</sup> Runkler, Data Mining: Modelle und Algorithmen, 2015, S. 2.

Abbildung 1: Wissensextraktion aus Daten<sup>15</sup>

*Daten* stellen dabei nur eine Reihe von Zeichen dar, wobei deren Bedeutung zunächst unklar ist. Erst wenn bekannt wird, in welchem Kontext die Daten stehen und welche Beziehungen zwischen diesen besteht, können diese interpretiert werden und zu einer (relevanten) *Information* heranwachsen. Das *Wissen* entsteht letztlich durch die Verknüpfung von den vielen Daten und Informationen, sowie den damit gesammelten Erfahrungen.<sup>16</sup>

Durch den Einsatz von modernster Computerhard- als auch Software ist es möglich, sehr große Datenmengen zu erheben, zu verarbeiten und zu analysieren, wodurch in diesem Kontext der Begriff *Big Data*<sup>GL</sup> entstanden ist.<sup>17</sup> *Big Data* bezeichnet Datenmengen, die mit herkömmlichen Analysemethoden nicht mehr zu verarbeiten sind und deshalb die Anwendung des Data Minings benötigen.<sup>18,19</sup> Hierzu einige ausgewählte Beispiele aus verschiedenen Datenbereichsquellen:<sup>20</sup>

- **World Wide Web:** Die Anzahl der Dokumente im Internet hat seit langem die Milliarden-Marke geknackt, wobei die des unsichtbaren „Webs“ noch viel größer ist. Durch Nutzerzugriffe auf Inhalte, werden auf Serverseite Log-Dateien kreiert, um beispielsweise die Auslastung und Zugangszeiten zu pro-

<sup>15</sup> Vgl. Abbildung Shi et al., Intelligent Knowledge, 2015, S. 5.

<sup>16</sup> Vgl. Shi et al., Intelligent knowledge, 2015, S. 16-18.

<sup>17</sup> Vgl. Witten/Frank/Hall, Data mining: machine learning and techniques, 2011, S. 3.

<sup>18</sup> Vgl. Fasel/Meier, Big Data: Grundlagen, Systeme und Nutzungspotenziale, 2016, S. 5.

<sup>19</sup> Vgl. Shi et al., Intelligent knowledge, 2015, S. 1.

<sup>20</sup> Vgl. Aggarwal, Data mining: The textbook, 2015, S. 2.

tokollieren. Andererseits wird das Kundenverhalten auf kommerziellen Seiten aufgezeichnet, um personalisierte Werbung schalten zu können.

- **Benutzerinteraktion:** Festnetzanbieter nutzen die durch Telefonate entstandenen Daten wie Gesprächslänge und -ort, um relevante Muster über die Netzwerksauslastung, zielgerichtete Werbung oder auch anzusetzende Preise durch Datenanalyse zu extrahieren.
- **Internet of Things:** Durch kostengünstige (tragbare) Sensoren und deren kommunikative Vernetzung, entstand das *Internet of Things*<sup>GL</sup> (IoT). Einer der Trends der heutigen Informationstechnologie, welcher durch die Erhebung von Massendaten eine signifikante Rolle für das Data Mining einnimmt.
- **Weitere Beispiele:** Social Media Plattformen (allen voran Facebook, Twitter und Co.), Finanzmärkte (z.B. der Aktienmarkt), Sport (z.B. Baseball, Basketball, Football oder wie in dieser Arbeit Fußball), uvm.<sup>21,22,23</sup>

„Wir befinden uns in einer Welt, in der wir reich an Daten sind, jedoch arm an Informationen und Wissen.“<sup>24</sup> Der unglaublich rapide und enorme Datenzuwachs hat bei Weitem unsere menschliche Vorstellungskraft und Möglichkeiten übertroffen, so dass wir auf effiziente Werkzeuge angewiesen sind (siehe Kapitel 2.2.4 auf S. 24). Die sich immer weiter ausbreitende Lücke zwischen Daten und Informationen, führt nur noch durch die Anwendung von Methoden des Data Minings zu den begehrten „*Golden Nuggets of Knowledge*“.<sup>25</sup> Dazu müssen die (Roh-)Daten gezielt ausgewählt und umstrukturiert werden, um diese anschließend durch Algorithmen analysieren zu können. Folglich entstanden Data Mining Prozesse, die dieses Problem mit Hilfe systematischer Abläufe lösen sollen (vgl. Kapitel 2.1.2 auf S. 9). Zudem wird „Data Mining [...] heute durch eine zunehmende Anzahl von Software-Tools unterstützt. Dazu zählen unter anderem Software-Lösungen wie: KNIME, MATLAB, SPSS, SAS, STATISTICA, TIBCO Spotfire, R, Rapid Miner, Tableau, QlikView, oder WEKA.“<sup>26</sup> Das Software-Tool *MatLab* wird innerhalb der Funktionsmodellierung in Kapitel 2.3 auf S. 29 vorgestellt und anschließend als Werkzeug zur Anwendung von Data Mining Methoden in der Umsetzungsphase genutzt (vgl. Kapitel 4 auf S. 49).

<sup>21</sup> Vgl. *Fayyad/Piatetsky-Shapiro/Smyth*, From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases, 1996, S. 39.

<sup>22</sup> Vgl. *Han/Kamber/Pei*, Data mining: Concepts and techniques, 2012, S. 1-2.

<sup>23</sup> Vgl. *Chu*, Data mining and knowledge discovery for big data, 2014, S. 85 ff.

<sup>24</sup> *Han/Kamber/Pei*, Data mining: Concepts and techniques, 2012, S. 5.

<sup>25</sup> Vgl. ebd.

<sup>26</sup> Vgl. *Runkler*, Data Mining: Modelle und Algorithmen, 2015, S. 3.

## 2.1.2 Data Mining Prozesse

In der Literatur grenzen viele Wissenschaftler den Begriff des eigentlichen Data Minings, vom Gesamtprozess der Extraktion von Wissen ab. Andere wiederum behandeln beide Termini synonym zueinander.<sup>27,28,29</sup> Schlechte Qualität der Daten mindert die Leistungsfähigkeit des Data Minings. Um die Aussagekraft der Daten nicht zu gefährden, sind vorab Prozessschritte notwendig, die die Daten in adaptierter Form für die Methoden des Data Minings bereitstellen.<sup>30</sup> Hierzu werden im Folgenden kurz die zwei bekanntesten Prozessmodelle vorgestellt:

- *Knowledge Discovery in Data*<sup>GL</sup> (*KDD*)
- *Cross Industry Standard Process for Data Mining*<sup>GL</sup> (*CRISP-DM*)

### 2.1.2.1 Knowledge Discovery in Data

Der Begriff des *Knowledge-Discovery-in-Data*-Prozesses wurde in den frühen 90er-Jahren geprägt und wird als „nicht trivialer Prozess zur Identifizierung von gültigen, neuartigen, potentiell sinnvollen und letztlich verständlichen Mustern in Daten“<sup>31</sup> definiert.<sup>32</sup> Erstmals wurde der Terminus von Gregory Piatetsky-Shapiro auf der *International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 1989 in Detroit (USA), der Öffentlichkeit präsentiert.<sup>33</sup> Der in Abbildung 2 auf S. 10 dargestellte iterative KDD-Prozess nach Fayyad, beinhaltet folgende Schritte, wobei das DM als ein eigener Prozessschritt ausgewiesen wird.<sup>34</sup>

1. **Datenselektion:** Auswahl der geeigneten Datenmengen.
2. **Datenvorverarbeitung:** Behandlung fehlender oder problembehafteter Daten.

<sup>27</sup> Vgl. *Fayyad/Piatetsky-Shapiro/Smyth*, From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases, 1996, S. 39.

<sup>28</sup> Vgl. *Mariscal/Marbán/Fernández*, Survey of data mining and knowledge discovery process models, 2010, S. 2.

<sup>29</sup> Vgl. *García/Luengo/Herrera*, Data preprocessing in data mining, 2015, S. 1.

<sup>30</sup> Vgl. ebd., 2015, S. 10.

<sup>31</sup> *Fayyad/Piatetsky-Shapiro/Smyth*, From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases, 1996, S. 41.

<sup>32</sup> Vgl. *Mariscal/Marbán/Fernández*, Survey of data mining and knowledge discovery process models, 2010, S. 2.

<sup>33</sup> Vgl. *Adhikari/Adhikari*, Advances in Knowledge Discovery in Databases, 2015, S. 1.

<sup>34</sup> Vgl. *Cleve/Lämmel*, Data Mining, 2014, S. 5.



3. **Datentransformation:** Umwandlung in adäquate Datenformate.
4. **Data Mining:** Suche nach Mustern.
5. **Interpretation und Evaluation:** Interpretation der Ergebnisse und Auswertung dieser.

Auf die einzelnen Prozessschritte und deren Methoden wird genauer in Kapitel 2.2 auf S. 13 eingegangen. Die Abkürzung *KDD* steht in der Literatur für unterschiedliche Bezeichnungen, wie zum Beispiel *Knowledge Discovery in Databases*, *Knowledge Discovery in Data Mining* oder *Knowledge Discovery in Data Warehouses*.<sup>35</sup> Alle zielen dabei auf die Erforschung von Wissen aus Datenmengen ab, wofür in dieser Arbeit die allgemeingültige Bezeichnung *Knowledge Discovery in Data* verwendet wird.

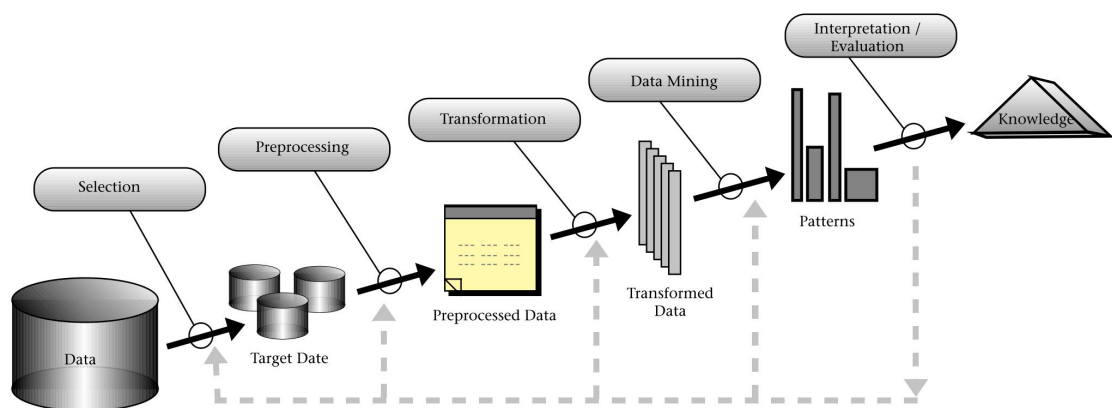


Abbildung 2: Der Knowledge Discovery in Data Prozess<sup>36</sup>

### 2.1.2.2 CRISP-DM

Das CRISP-DM-Modell wurde im Jahr 2000 durch ein Konsortium, bestehend aus mehreren nachfolgenden aufgeführten Firmen, entwickelt.<sup>37,38</sup>

<sup>35</sup> Vgl. Osei-Bryson/Barclay, Knowledge discovery process and methods, 2015, S. 26 ff.

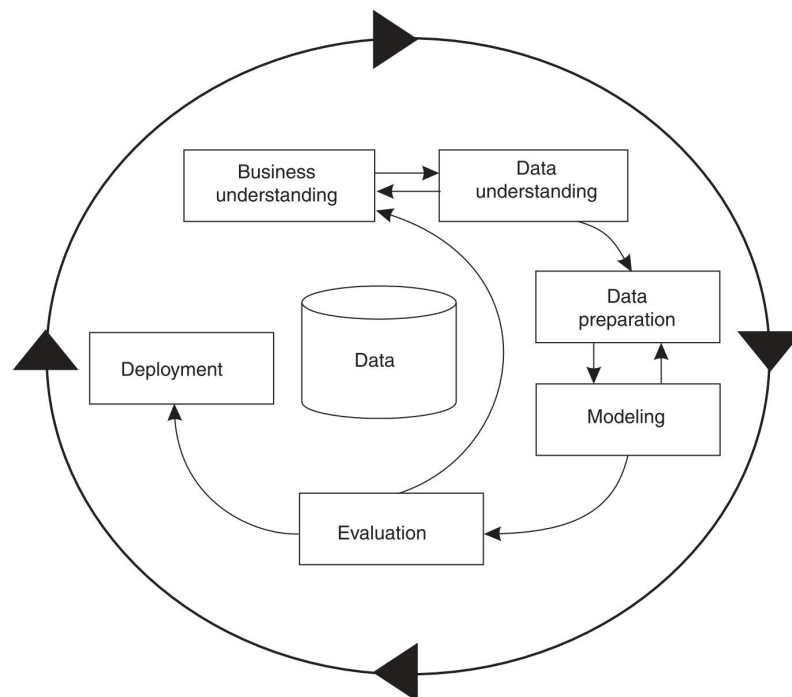
<sup>36</sup> Vgl. Abbildung Fayyad et al., From Data Mining to Knowledge, 1996, S. 41.

<sup>37</sup> Vgl. Cleve/Lämmel, Data Mining, 2014, S. 6.

<sup>38</sup> Vgl. Mariscal/Marbán/Fernández, Survey of data mining and knowledge discovery process models, 2010, S. 3.

- NRC Corporation
- Daimler AG
- SPSS Inc.
- Teradata
- OHRA

Dieses Modell verfolgt das Ziel, einen standardisierten und branchenübergreifenden Data-Mining-Prozess zu definieren und das dadurch berechnete Modell zu validieren. Hierbei wird von einem Lebenszyklus, bestehend aus sechs Etappen, ausgegangen, der in Abbildung 3 dargestellt wird.<sup>39</sup> Im Folgenden werden dazu die einzelnen Schritte des Prozesses aus der Abbildung (nummeriert von Schritt 1 bis 6) kurz beschrieben.

Abbildung 3: CRISP-DM Prozess<sup>40</sup>

---

<sup>39</sup> Vgl. *Cleve/Lämmel*, Data Mining, 2014, S. 6-8.

<sup>40</sup> Vgl. Abbildung *Mariscal* et al., A survey of data mining, 2010, S. 13

**1. Verstehen der Aufgabe** (*Business understanding*): Hier steht das grundsätzliche Verständnis des Fachgebietes und der Aufgabe im Vordergrund. Die Ziele werden definiert, Ressourcen des Unternehmens ermittelt und die Ausgangssituation bestimmt. Weiterhin müssen Erfolgskriterien quantifiziert und Risiken eruiert werden, um eine Kostenplanung aufstellen zu können.

**2. Verständnis der Daten** (*Data understanding*): Diese Phase beschäftigt sich mit den benötigten Daten zur Durchführung der Analyse. Daten werden gesammelt und beschrieben, um deren betrieblichen Kontext, indem sie stehen, zu verstehen.

**3. Datenvorbereitung** (*Data preparation*): Es gilt den Data-Mining-Prozess-Schritt vorzubereiten, wobei fehlerhafte und inkonsistente Daten korrigiert werden müssen, um diese schließlich in eine Datenstruktur transformieren zu können, die für die Methoden des Data Minings nutzbar sind.

**4. Data Mining - Modellbildung** (*Modeling*): In dieser Phase wird ein Modell mit Hilfe des Data Minings erstellt, welches durch einen iterativen Aufbau immer wieder verfeinert und verbessert wird.

**5. Evaluation:** Die erzielten Ergebnisse werden an den aus Phase 1 definierten Erfolgskriterien gemessen, um festzustellen, ob der wirtschaftliche Nutzen erzielt wird.

**6. Einsatz im Unternehmen** (*Deployment*): Zuletzt gilt es, den Einsatz der Resultate im Unternehmen vorzubereiten und diese in das operative Geschäft zu integrieren.

Das Modell bezieht und orientiert sich, wie schon am Namen zu erkennen ist, stark an wirtschaftlichen Projekten und beschreibt *Was* zu tun ist, jedoch nicht genau *Wie*, sodass Projektteams innerhalb dieses Rahmens beginnen ihre eigenen Methoden zu verwenden.<sup>41</sup>

Im Vergleich zum KDD-Modell nach Fayyad, sind die Phasen 1 und 2 des CRISP-DM-Modells sehr stark projektabhängig und spiegeln die Sicht der Industrie auf

<sup>41</sup> Vgl. Mariscal/Marbán/Fernández, Survey of data mining and knowledge discovery process models, 2010, S. 4.

das Projekt wider.<sup>42</sup> Im Gegensatz dazu konzentriert sich der KDD-Prozess auf die Datenbereitstellung und Analyse, sodass dieser als grundlegende Methodik für die spätere Umsetzung der wissenschaftlichen Aufgabenstellung herangezogen wird und genauer in Kapitel 2.2 beleuchtet wird.

Mariscal et al. diskutieren in ihrer Studie zahlreiche weitere Prozessmodelle zur Extraktion von Wissen aus riesigen Datenmengen, wobei die Kernelemente der Datenselektion, -vorverarbeitung und -transformation, sowie der anschließende Schritt des eigentlichen Data Minings immer wieder aufzufinden sind.<sup>43</sup> Nicht zuletzt ist zu erwähnen, dass in der Literatur unterschiedliche Auffassungen zu dem Begriff des Data Minings existieren und dieser oftmals mit den Data Mining Prozessen synonym verwendet wird. Ein Hinweis darauf sind auch die weit über 500 wissenschaftlichen Artikel zu dem Journal *Data Mining and Knowledge Discovery* auf *Springer Link*.

## 2.2 Knowledge Discovery in Data

Das folgende Kapitel beschreibt den *Knowledge-Discovery-in-Data*-Prozess, der im vorherigen Kapitel (vgl. Kapitel 2.1.2.1 auf S. 9) als grundlegende Methodik der Arbeit ausgewählt wurde. Hierzu werden die einzelnen Prozessschritte der Datenselektion, der Datenvorverarbeitung, der Datentransformation, der Data-Mining-Methoden, sowie der Interpretation der Ergebnisse konkretisiert, um diese in der späteren Umsetzung der wissenschaftlichen Aufgabe anwenden zu können.

„Experten [...] haben realisiert, dass eine große Anzahl an Datenquellen der Schlüssel zu bedeutsamen Wissen sein kann und das dieses Wissen in dem Entscheidungsfindungsprozess genutzt werden sollte. Eine einfache *Structured Query Language*<sup>GL</sup> (*SQL*)-Abfrage oder *Online Analytical Processing*<sup>GL</sup> (*OLAP*) reichen für eine komplexe Datenanalyse oft nicht aus.“<sup>44</sup> Hier greift der in Abbildung 2 auf S. 10 dargestellte KDD-Prozess, ein multiples iteratives Modell, in dem die einzelnen Schritte solange wiederholt und aufeinander abgestimmt werden müssen, bis aus den zugrundeliegenden Daten, Wissen abgeleitet werden kann.<sup>45</sup> Das Data Mining selbst kommt erst nach ausführlicher Datenvorbereitung zum Einsatz und kann so zu einer automatischen und explorativen Anpassung eines Modells – wie bei der Funk-

<sup>42</sup> Vgl. Cleve/Lämmel, Data Mining, 2014, S. 8.

<sup>43</sup> Vgl. vorgestellte Modelle aus Mariscal/Marbán/Fernández, Survey of data mining and knowledge discovery process models, 2010.

<sup>44</sup> Vgl. Adhikari/Adhikari, Advances in Knowledge Discovery in Databases, 2015, S. 1.

<sup>45</sup> Vgl. Mariscal/Marbán/Fernández, Survey of data mining and knowledge discovery process models, 2010, S. 7.

tionsmodellierung (vgl. Kapitel 2.3 auf S. 29) – an riesige Datenmengen genutzt werden.<sup>46,47</sup>

In der Literatur existieren unterschiedliche Vorstellungen der einzelnen Prozessschritte, wodurch es oftmals zu Überschneidungen zwischen den einzelnen Gebieten kommt. So findet sich die Methode der *Data Integration* einerseits in der Datenselektion wieder, andererseits auch in der Datenvorverarbeitung.<sup>48,49</sup> Im Folgenden wird versucht, diese Schritte klar voneinander abzutrennen. Hierbei wird sich größtenteils an den Ausarbeitungen von Han et al. und Cleve et al. orientiert.

### 2.2.1 Datenselektion

Die Datenselektion befasst sich hauptsächlich mit der Auswahl der geeigneten Datenmengen – der *Zieldaten* – auf Basis derer die spätere Erforschung stattfindet.<sup>50</sup> Der Datenanalyst befasst sich in dieser Phase mit der Bestimmung der für die Analyse geeigneten Daten und dem Export dieser Datenauswahl beispielsweise in eine Datenbank. Die selektierten Daten können zum Beispiel technischen oder rechtlichen Restriktionen unterliegen, wie zum Beispiel Zugriffs- oder Kapazitätsbeschränkungen. Hierbei sollte auf eine repräsentative Teilmenge des Datenbestandes zurückgegriffen werden.<sup>51</sup>

### 2.2.2 Datenvorverarbeitung

„Da die Zieldaten aus den Datenquellen lediglich extrahiert werden, ist im Rahmen der Datenvorverarbeitung die Qualität des Zieldatenbestandes zu untersuchen und – sofern nötig – dieser durch den Einsatz geeigneter Verfahren zu verbessern.“<sup>52</sup>

Diese essentielle Phase verfolgt das Ziel, die unstrukturierten und zunächst nutzlos scheinenden, selektierten Rohdaten, in qualitativ hochwertigere Daten umzuwandeln, um diese der passenden DM-Methode in einem geeigneten Format bereitzustellen

<sup>46</sup> Vgl. *Adhikari/Adhikari*, *Advances in Knowledge Discovery in Databases*, 2015, S. 1.

<sup>47</sup> Vgl. *Mariscal/Marbán/Fernández*, *Survey of data mining and knowledge discovery process models*, 2010, S. 7.

<sup>48</sup> Vgl. *García/Luengo/Herrera*, *Data preprocessing in data mining*, 2015, S. 1.

<sup>49</sup> Vgl. *Cleve/Lämmel*, *Data Mining*, 2014, S. 198.

<sup>50</sup> Vgl. *Fayyad/Piatetsky-Shapiro/Smyth*, *From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases*, 1996, S. 42.

<sup>51</sup> Vgl. *Cleve/Lämmel*, *Data Mining*, 2014, S. 9.

<sup>52</sup> Ebd.

zu können. Die Struktur und das Format müssen perfekt auf die vorliegende Aufgabe passen, ansonsten führt die geringe Qualität der Daten zu schlechten bzw. falschen Resultaten, bis hin zu Laufzeitfehlern.<sup>53</sup> Es gilt auch hier das Prinzip: GIGO – garbage in, garbage out.<sup>54</sup> Die oftmals schlechte Qualität der (Roh-)Daten ist durch *fehlende, ungenaue, inkonsistente bzw. widersprüchliche* Daten zu begründen.<sup>55,56</sup> Im Folgenden werden dazu einige Ursachen beispielhaft aufgeführt.

Ungenaue bzw. falsche Daten können schon bei der Erhebung entstehen, wenn ein falsches Datenerhebungsinstrument ausgewählt wird. Bei Stichproben sollte die Gesamtmenge so präzise wie möglich widergespiegelt werden, um die Datenakkuratessse nicht zu gefährden.<sup>57</sup> Weiterhin können technische und menschliche Fehler zu ungenauen Daten führen, indem Personen beispielsweise ihre persönlichen Informationen bei einer Befragung absichtlich verschleiern (z.B. Standardwert für Geburtsdatum 1. Januar), wobei man diese Problematik auch als „*disguised missing data*“ bezeichnet.<sup>58,59,60</sup> Neben der falschen subjektiven Einschätzung des Menschen bei der Erhebung, können auch von einem technischen Blickwinkel ungenaue Daten ermittelt werden, wie z.B. durch (teils-)defekte Sensoren. Nicht zuletzt können Daten bei einem Transfer verfälscht werden bzw. sogar verloren gehen.<sup>61</sup>

Fehlende Daten lassen sich einerseits durch technische Mängel begründen, andererseits auch durch die Tatsache, dass bestimmte Attribute schlichtweg von Beginn an bei der Erhebung nicht beachtet wurden oder durch bestimmte Restriktionen nicht verfügbar waren.<sup>62</sup>

Die aufgezeigten Beispiele spiegeln nur einen kleinen Teil möglicher Ursachen wider und sollen die Bedeutsamkeit dieser Phase für den Data-Mining-Prozess aufzeigen. Die Datenvorbereitung stellt dabei einige leistungsstarke Werkzeuge zur Verfügung, um die Datenqualität nachhaltig zu verbessern.<sup>63,64,65</sup>

- **Data Cleaning:** In diesem Schritt werden die Daten bereinigt, indem beispielsweise *fehlerhafte* oder *störende* Daten korrigiert werden (siehe Kapitel

<sup>53</sup> Vgl. *García/Luengo/Herrera*, Data preprocessing in data mining, 2015, S. 10-11.

<sup>54</sup> Vgl. *Cleve/Lämmel*, Data Mining, 2014, S. 197.

<sup>55</sup> Vgl. *Han/Kamber/Pei*, Data mining: Concepts and techniques, 2012, S. 84.

<sup>56</sup> Vgl. *Cleve/Lämmel*, Data Mining, 2014, S. 196.

<sup>57</sup> Vgl. *Fahrmeir et al.*, Statistik: Der Weg zur Datenanalyse, 2007, S. 25.

<sup>58</sup> Vgl. *Han/Kamber/Pei*, Data mining: Concepts and techniques, 2012, S. 84.

<sup>59</sup> Vgl. *Fahrmeir et al.*, Statistik: Der Weg zur Datenanalyse, 2007, S. 24.

<sup>60</sup> Vgl. *Cleve/Lämmel*, Data Mining, 2014, S. 196.

<sup>61</sup> Vgl. *Han/Kamber/Pei*, Data mining: Concepts and techniques, 2012, S. 84.

<sup>62</sup> Vgl. ebd., 2012, S. 84-85.

<sup>63</sup> Vgl. *García/Luengo/Herrera*, Data preprocessing in data mining, 2015, S. 11 ff.

<sup>64</sup> Vgl. *Cleve/Lämmel*, Data Mining, 2014, S. 196 ff.

<sup>65</sup> Vgl. *Han/Kamber/Pei*, Data mining: Concepts and techniques, 2012, S. 84 ff.

2.2.2.1 auf S. 17).

- **Data Integration:** Diese Phase beschäftigt sich mit der fehlerfreien Zusammenführung von Daten, da diese oftmals aus mehreren unterschiedlichen Quellen stammen (siehe Kapitel 2.2.2.2 auf S. 20).
- **Data Reduction:** Um die Algorithmen der Data Mining Methoden nutzen zu können, muss die exorbitante Datenmenge reduziert bzw. komprimiert werden, sodass lange Laufzeiten verhindert beziehungsweise reduziert werden können (siehe Kapitel 2.2.2.3 auf S. 21).

Auf die in Abbildung 4 vereinfacht dargestellten Werkzeuge und ihre Konzepte, wird in den folgenden Unterkapiteln näher eingegangen.

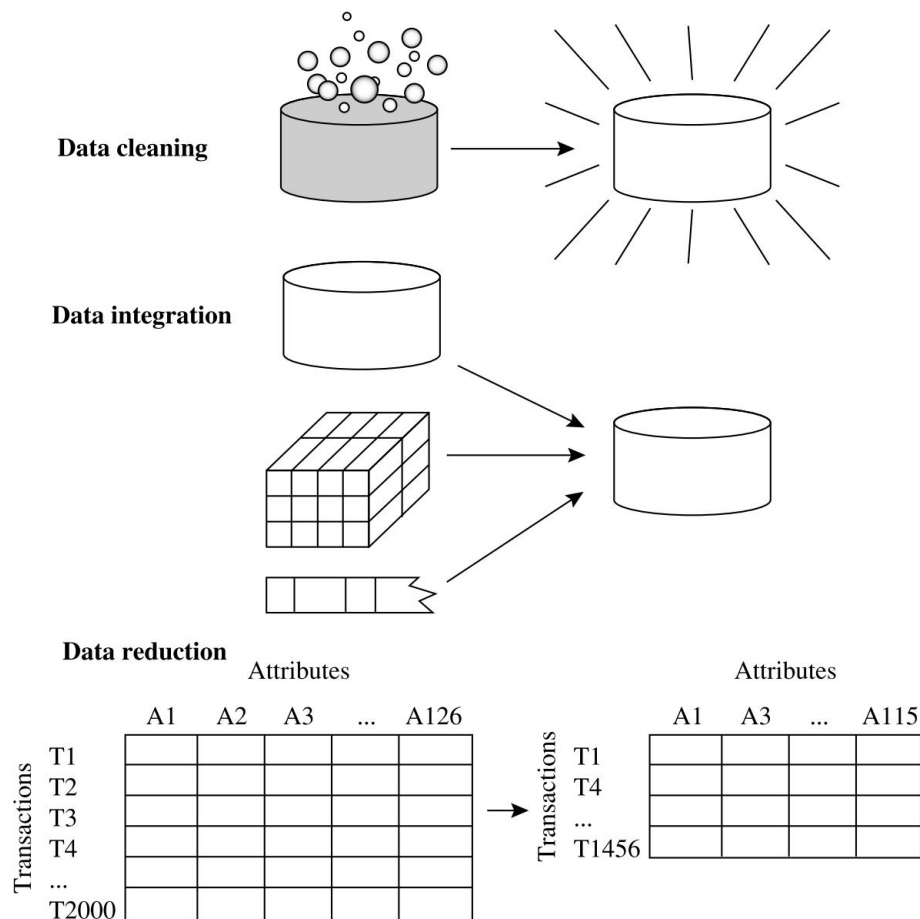


Abbildung 4: Werkzeuge der Datenvorverarbeitung<sup>66</sup>

### 2.2.2.1 Data Cleaning

In der realen Welt sind Daten häufig „unvollständig, mit Fehlern oder Ausreißern behaftet oder sogar inkonsistent.“<sup>67</sup> Um Fehler oder gar falsche Resultate im Data-Mining-Prozess frühzeitig zu vermeiden, ist es von großer Bedeutung, die Datenmengen zu bereinigen. Der Fokus sollte hierbei auf der Informationsneutralität liegen. Das bedeutet, es sollen möglichst keine neuen Informationen hinzugefügt werden, die das reale Abbild verzerren oder verfälschen können.<sup>68</sup> Folgende Problemarten gilt es zu behandeln:

**Fehlende Daten** Dem Datenanalyst stehen einige Möglichkeiten zur Verfügung, um auf fehlende Daten zu reagieren:<sup>69,70</sup>

- *Attribut ignorieren*  
Der Datensatz mit dem fehlenden Attribut wird gänzlich ignoriert oder gelöscht. Jedoch können dadurch wichtige Informationen für die Datenanalyse verloren gehen, wodurch dieses Verfahren nur bei Datensätzen mit mehreren Lücken angewandt werden sollte.
- *Manuelles Einfügen*  
Besitzt der Datenanalyst das nötige Wissen, kann dieser einzelne Datensätze nachträglich manuell einfügen. Dieser Vorgang entwickelt sich schnell zu einem sehr zeitaufwändigen und schwer zu realisierenden Vorgang, der aufgrund des Mangels an Ressourcen (personeller wie auch zeitlicher) nicht zu realisieren ist, sobald die Datenmenge wächst (z.B. Nachtrag von 500 Kundendaten per Hand).
- *Globale Konstante*  
Den fehlenden Wert durch eine globale Konstante (auch als Standardwert bezeichnet) zu ersetzen, ist sinnvoll, wenn auch ein leeres Feld als Information angesehen wird. Beispiele für Konstanten wären *unbekannt* oder *minus unendlich*.
- *Durchschnittswert*

<sup>66</sup> Vgl. Abbildung Han, Data Mining: Concepts and techniques, 2012, S. 87

<sup>67</sup> Cleve/Lämmel, Data Mining, 2014, S. 199.

<sup>68</sup> Vgl. ebd., 2014, S. 199-200.

<sup>69</sup> Vgl. Han/Kamber/Pei, Data mining: Concepts and techniques, 2012, S. 88-90.

<sup>70</sup> Vgl. Cleve/Lämmel, Data Mining, 2014, S. 200-201.



Handelt es sich bei dem fehlenden Attribut um einen metrischen Wert, so kann der Durchschnittswert aller Einträge als Ersatz verwendet werden. Der Durchschnittswert bietet sich als äußerst einfache Möglichkeit, wenn die Daten klassifiziert werden können und die Berechnung nur auf Datensätzen der selben Klasse angewandt wird. Die Methode der *K-Nearest Neighbours*<sup>GL</sup> (KNN)<sup>71</sup> steht zur Verfügung, wenn keine Klassen vorhanden sind. Hierbei wird der Durchschnitt, der dem aktuellen Datensatz ähnlichsten Werte benutzt.

- *Wahrscheinlichster oder häufigster Wert*

Durch statistische Methoden kann der wahrscheinlichste Wert für das fehlende Attribut ermittelt werden, jedoch sollte diese Angleichung begründet sein. Bei nicht numerischen Werten kann als weitere Möglichkeit auch der häufigste Wert als Ersatz für das fehlende Attribut verwendet werden.

**Verrauschte Daten und Ausreißer** Durch ungenaue Messwerte oder falsche Schätzungen entstehen die sogenannten *verrauschten Daten*.<sup>72</sup> Um diese bereinigen zu können, stehen dem Datenanalyst einige Verfahren zur Verfügung, durch welche diese fehlerbehafteten Daten angeglichen werden können.<sup>73</sup> Als *Ausreißer* bezeichnet man dabei Daten, die erheblich von den anderen Daten abweichen oder außerhalb eines Wertebereiches (z.B.  $0 < x < 100$ ) liegen.<sup>74</sup> Beispielsweise liegen bei einer Befragung Daten von 30- bis 50-Jährigen vor, darunter auch einer von einem 90-Jährigen, könnte es sich hierbei um einen Ausreißer handeln, aber auch um einen fehlerhaften Datensatz.<sup>75</sup> „Ob solche Ausreißer für das Data Mining ausgeblendet oder adaptiert werden sollten oder besser doch im Originalzustand zu verwenden sind, hängt vom konkreten Kontext ab.“<sup>76</sup>

- *Klasseneinteilung (binning)*

Durch die Gruppierung verrauschter Daten in Klassen, können diese beispielsweise durch den Mittelwert oder die naheliegenden Grenzwerte ersetzt werden.

- *Regression*<sup>GL</sup>

Die Darstellung der Daten in Form einer mathematischen Funktion, bietet die Möglichkeit, fehlerbehaftete Daten durch die berechneten Funktionswerte zu ersetzen. Für zwei Abhängigkeiten zwischen zwei Attributen steht hierbei

<sup>71</sup> Vgl. *García/Luengo/Herrera*, Data preprocessing in data mining, 2015, S. 76.

<sup>72</sup> Im englischen Sprachgebrauch als *noisy data* bekannt.

<sup>73</sup> Auch als *smoothing* bekannt.

<sup>74</sup> Vgl. *Han/Kamber/Pei*, Data mining: Concepts and techniques, 2012, S. 89-90.

<sup>75</sup> Vgl. *Cleve/Lämmel*, Data Mining, 2014, S. 196.

<sup>76</sup> Ebd.

neben der *linearen Regression*, auch die *multiple lineare Regression* für mehrere Attribute als Werkzeuge zur Verfügung (weiterführende Ausarbeitung zur Regressionsanalyse siehe Kapitel 2.3.1 auf S. 29).

- *Verbundbildung (clustering)*

Eine der einfachsten Möglichkeiten um Ausreißer zu erkennen, bietet die Verbundbildung, auch *Clustering*<sup>GL</sup> genannt. Hierbei werden ähnliche Daten, wie in Abbildung 5 dargestellt, zu *Clustern* zusammengeführt, wodurch sich die Ausreißer direkt identifizieren lassen.

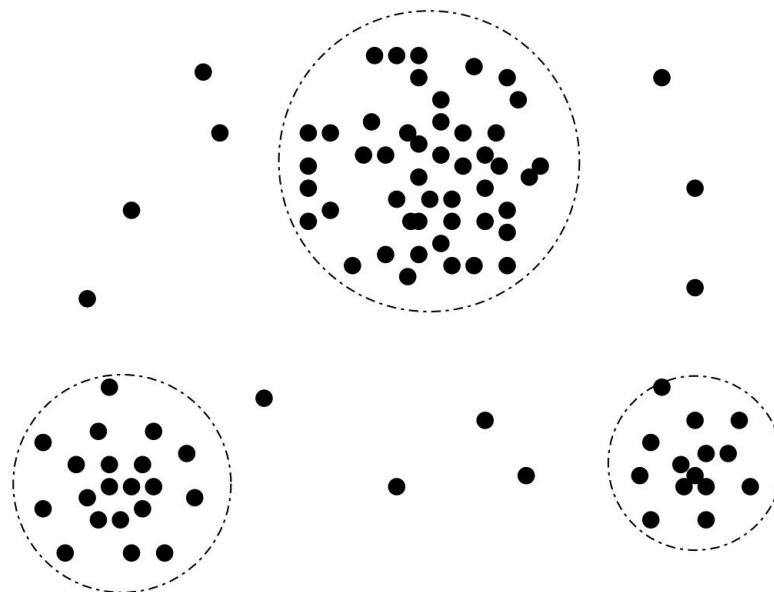


Abbildung 5: Outlierdetection mittels Clustering<sup>77</sup>

**Falsche und inkonsistente Daten** Bei falschen bzw. inkonsistenten Daten ergeben sich prinzipiell zwei Möglichkeiten zur Korrekturbehandlung. Einerseits können der Datensatz oder bestimmte Attribute durch *Löschen* entfernt werden, wobei jedoch die Gefahr einer zu großen Reduktion des Datenbestandes entsteht und relevante Informationen für das Data Mining verloren gehen könnten. Die zweite Korrekturvariante versucht den inkonsistenten Datensatz, durch die *Zuhilfenahme anderer Datensätze*, sinnvoll zu ersetzen. Sollte eine Unterscheidung zwischen *falsch* und *richtig* nicht möglich sein, wären beim Löschen immer mindestens zwei Datensätze betroffen.<sup>78</sup>

<sup>77</sup> Vgl. Abbildung Han, Data Mining: Concepts and techniques, 2012, S. 91

<sup>78</sup> Vgl. Cleve/Lämmel, Data Mining, 2014, S. 203-204.

### 2.2.2.2 Data Integration

Bei Data-Mining-Projekten ist oftmals die Integration mehrerer Datenbestände aus unterschiedlichen Quellen erforderlich. Diese Phase sollte mit äußerster Sorgfalt durchgeführt werden, um frühzeitig redundante und inkonsistente Datensätze zu vermeiden, wodurch die Genauigkeit und Geschwindigkeit der nachfolgenden Data Mining Algorithmen nicht gefährdet wird.<sup>79</sup> Folgende Punkte gilt es bei der Datenintegration zu beachten:

- **Identifikationsproblem von Entitäten:**

Bei der Datenintegration aus multiplen Datenquellen, wie beispielsweise Datenbanken oder Dokumenten, stellt die Schema-Integration wie auch die Objektanpassungen eine schwierige Herausforderung dar. Der Datenanalyst muss sicherstellen, dass zum Beispiel das Attribut *kunden\_nummer* aus der einen Datenquelle, die selbe Referenz besitzt, wie das Attribut *kunden\_id* aus einer anderen und es sich folglich um das selbe Attribut handelt. Dies wird allgemein als *Problem Identification Problem* bezeichnet.<sup>80,81</sup> Die Metadaten der Attribute beinhalten Informationen, wie *Name*, *Bedeutung*, *Datentyp*, *Wertebereich*, *uvm.* und können durch Abgleich derer zu einer Vermeidung von Fehlern bei der Integration beitragen. Weiterhin muss gesondert auf die *Datenstruktur* geachtet werden, um keine referentiellen Abhängigkeiten bzw. Beziehungen zwischen den Daten zu zerstören.<sup>82</sup>

- **Redundanzen bei Attributen:**

Ein Attribut, welches durch ein anderes Attribut ableitbar ist – wie zum Beispiel das Alter vom Geburtsjahr berechnet werden kann – wird als redundant bezeichnet. Die Vielzahl von Redundanzen führt zu unnötig großen Datenmengen, die wiederum die Performanz sowie die Resultate eines Data Mining Algorithmus negativ beeinträchtigen können.<sup>83</sup> Folglich sollte diese Problematik durch die Anwendung von statistischen Verfahren, in Form der Korrelationsanalyse, dezidiert behandelt werden. Für numerische Werte ist dabei der Einsatz von Korrelationskoeffizienten und Kovarianzen hilfreich. Um die Implikation zweier Attribute einer nominalen Datenmenge<sup>84</sup> bestimmen zu können,

<sup>79</sup> Vgl. Han/Kamber/Pei, Data mining: Concepts and techniques, 2012, S. 93-94.

<sup>80</sup> Vgl. Cleve/Lämmel, Data Mining, 2014, S. 199.

<sup>81</sup> Vgl. Han/Kamber/Pei, Data mining: Concepts and techniques, 2012, S. 94.

<sup>82</sup> Vgl. ebd.

<sup>83</sup> Vgl. García/Luengo/Herrera, Data preprocessing in data mining, 2015, S.41.

<sup>84</sup> Rein qualitative Merkmalsausprägungen ohne natürliche Rangordnung (wie z.B. das Geschlecht).

verwendet man in der Regel den  $\chi^2$  (*Chi-Quadrate*)-Test.<sup>85,86,87</sup>

- **Duplikatserkennung:**

Duplikate verkörpern Redundanzen auf Datensatzebene und führen einerseits zu unnötig großen Datenmengen, die sich wiederum auf die Performanz der Algorithmen auswirken. Andererseits führt jedoch auch die verfälschte Gewichtung der mehrfach vorkommenden Datensätze, zu falschen Analyseergebnissen. Ein häufiger Grund stellt dabei die Verwendung von denormalisierten Datenbanktabellen dar.<sup>88,89</sup>

- **Konflikte bei Attributswerten:**

Hierbei handelt es sich um die unterschiedliche Darstellung, Skalierung und Kodierung von Attributswerten. Beispielsweise kann das Attribut *Gewicht* durch das metrische System oder das britische Maßsystem repräsentiert werden, woraus bei der Zusammenführung von Daten in eine einheitliche Quelle immer wieder Konflikte resultieren.<sup>90,91</sup>

### 2.2.2.3 Data Reduction

Die bereits mehrfach angesprochene Problematik der riesigen Datenmengen bei Data-Mining-Projekten, steigert die Komplexität und vermindert die Effizienz der Algorithmen. Daher strebt die Datenreduktion – wie die Bezeichnung erkennen lässt – nach einer reduzierten repräsentativen Teilmenge, welche die Integrität des Originals nicht verliert. Dazu können folgende drei Techniken angewandt werden:<sup>92,93,94</sup>

1. Dimensionsreduktion
2. Datenkompression
3. Numerische Datenreduktion

<sup>85</sup> Vgl. *Han/Kamber/Pei*, Data mining: Concepts and techniques, 2012, S. 95..

<sup>86</sup> Vgl. *García/Luengo/Herrera*, Data preprocessing in data mining, 2015, S. 41.

<sup>87</sup> Vgl. *Cleve/Lämmel*, Data Mining, 2014, S. 64.

<sup>88</sup> Vgl. *Han/Kamber/Pei*, Data mining: Concepts and techniques, 2012, S. 98.

<sup>89</sup> Vgl. *García/Luengo/Herrera*, Data preprocessing in data mining, 2015, S. 43.

<sup>90</sup> Vgl. *Han/Kamber/Pei*, Data mining: Concepts and techniques, 2012, S. 99.

<sup>91</sup> Vgl. *Cleve/Lämmel*, Data Mining, 2014, S. 199.

<sup>92</sup> Vgl. *García/Luengo/Herrera*, Data preprocessing in data mining, 2015, S. 147 ff.

<sup>93</sup> Vgl. *Han/Kamber/Pei*, Data mining: Concepts and techniques, 2012, S. 99-100.

<sup>94</sup> Vgl. *Cleve/Lämmel*, Data Mining, 2014, S. 206-208.

**Dimensionsreduktion** Hierbei bleiben irrelevante Attribute des Datensatzes unberücksichtigt und nur für die Analyse relevante Daten werden miteinbezogen. Allgemein empfehlen sich dafür zwei Verfahren: Bei der schrittweisen *Vorwärtsauswahl* werden wesentliche Attribute einer sukzessiv wachsenden Zielmenge zugeordnet. Im Gegensatz dazu werden bei der *Rückwärtseliminierung* die uninteressanten Daten schrittweise aus der Zielmenge eliminiert.<sup>95</sup>

**Datenkompression** Bei dieser Technik wird durch Transformation oder Codierung versucht, eine Reduktion der Datenmenge zu erreichen. Fasst man beispielsweise die einzelnen Attribute *Tag, Monat und Jahr* zu einem neuen Attribut *Datum* zusammen, können Datensätze komprimiert werden.<sup>96</sup>

**Numerische Datenreduktion** Statt die gesamte Datenmenge für die Analyse heranzuziehen, wird innerhalb der numerischen Datenreduktion eine repräsentative Teilmenge – in Form einer Stichprobe – für das DM genutzt. Im Vordergrund steht hierbei die passende Auswahl unterschiedlicher Stichprobef Verfahren, wie der *zufälligen Stichprobe* oder der *repräsentativen Stichprobe*, woraus jedoch kein verzerrtes Abbild der Daten resultieren darf.<sup>97,98</sup>

### 2.2.3 Datentransformation

Nachdem die (Roh-)Daten selektiert, bereinigt und auf eine relevante Zielmenge reduziert wurden, müssen diese noch in eine adaptierte Form für die Algorithmen des Data Minings transformiert werden.<sup>99</sup> Oftmals müssen sogar neue Attribute aus einem Datensatz kreiert werden, da dieser nicht in geeigneter Struktur für das Data-Mining-Verfahren vorliegt.<sup>100</sup> Dazu es gibt eine Reihe an unterschiedlichen Transformationsmöglichkeiten, wobei in dieser Arbeit ein Auszug der relevanten Methoden vorgestellt werden soll:

**Codierung** Liegen beispielsweise Attribute mit einer ordinalen Ausprägung vor (wie *sehr groß, groß, mittel und klein*), müssen diese bei einer Verwendung des KNN-

<sup>95</sup> Vgl. Cleve/Lämmel, Data Mining, 2014, S. 206.

<sup>96</sup> Vgl. ebd., 2014, S. 207.

<sup>97</sup> Vgl. Fahrmeir et al., Statistik: Der Weg zur Datenanalyse, 2007, S. 25-27.

<sup>98</sup> Vgl. Cleve/Lämmel, Data Mining, 2014, S. 207.

<sup>99</sup> Vgl. Han/Kamber/Pei, Data mining: Concepts and techniques, 2012, S. 112.

<sup>100</sup> Vgl. García/Luengo/Herrera, Data preprocessing in data mining, 2015, S. 48.

Algorithmus in numerische Werte transformiert werden (Werte zwischen 0 und 1). Hierbei würde sich folgende Codierung für das Attribut *Körpergröße* anbieten:<sup>101</sup>

- *sehr groß*  $\rightarrow 1$
- *groß*  $\rightarrow 0,66$
- *mittel*  $\rightarrow 0,33$
- *klein*  $\rightarrow 0$

Die Ordnungsrelation, hier *sehr groß*  $>$  *groß*  $>$  ..., darf dabei jedoch nicht verloren gehen. In Abhängigkeit zu dem jeweiligen Verfahren, müssen Daten, so wie dies bei Maßeinheiten immer wieder der Fall ist, oftmals kodiert werden.<sup>102</sup>

**Normalisierung und Skalierung** Unterschiedliche Maßeinheiten – wie *Körpergröße* und *Körpergewicht* – können die Datenanalyse negativ beeinflussen und müssen daher in eine einheitliche Skalierung transformiert werden, um eine gleiche Gewichtung aller Attribute zu erreichen. Man bedient sich hierbei in der Regel an der *Min-Max-Normalisierung* (siehe Abbildung 6) oder der *Z-Transformation*, um numerische Werte auf ein  $[0,1]$  Intervall zu normieren.<sup>103,104</sup>

$$x_{neu} = \frac{x - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)} \quad (1)$$

Abbildung 6: Min-Max-Normalisierung

**Datenaggregation** Nicht nur aus Sicht der Datenkompression (vgl. Kapitel 2.2.2.3 auf S. 22) ist die Datenaggregation erforderlich. Vielmehr „kann die Aggregation aus inhaltlichen Gründen sinnvoll sein.“<sup>105</sup> Wenn Daten auf einer zu detaillierten Ebene vorliegen – wie beispielsweise Einwohnerzahlen von Stadtteilen – müssen diese für einen Städtevergleich erst summiert werden, um bundesweite Aussagen treffen zu können. Je nach Kontext können verschiedene Aggregationsmethoden (wie z.B.

<sup>101</sup> Vgl. Cleve/Lämmel, Data Mining, 2014, S. 210.

<sup>102</sup> Vgl. ebd., 2014, S. 211.

<sup>103</sup> Vgl. Han/Kamber/Pei, Data mining: Concepts and techniques, 2012, S. 114.

<sup>104</sup> Vgl. Cleve/Lämmel, Data Mining, 2014, S. 212.

<sup>105</sup> Ebd., 2014, S. 214.

Summenbildung, Durchschnitt, usw.) für die Transformation zu einem einzigen Wert angewendet werden.<sup>106</sup>

**Datenglättung** Die bereits in Kapitel 2.2.2.1 auf S. 18 vorgestellten Techniken zur Bereinigung von verrauschten Daten und Ausreißern, finden auch bei der Transformation ihre Verwendung. Die Datenglättung strebt nach einer reduzierten Datenmenge, in welcher jeder numerische Wert durch einen idealisierten Wert, wie beispielsweise der *Regression*, ersetzt wird.<sup>107</sup>

## 2.2.4 Data-Mining-Methoden

Nachdem die Daten in geeigneter Form vorliegen, kommt das eigentliche Herzstück des KDD-Prozesses – das *Data Mining* – zum Tragen. In diesem Schritt wird zu nächst überprüft, welche grundlegende Data-Mining-Aufgabe es zu lösen gilt, um anschließend ein passendes Analyseverfahren zur Identifizierung von Mustern und Zusammenhängen auswählen zu können.<sup>108</sup> Die interdisziplinäre Wissenschaft des Data Minings umfasst bewährte Techniken aus mehreren Forschungsgebieten, welche auf verschiedenste Problemfälle der Realität, wie Zeitreihenanalysen, Funktionsmodellierungen, Klassifikation uvm., angewendet werden können. Grundsätzlich basieren fast alle Analyseverfahren auf der Mathematik, insbesondere der Statistik.<sup>109</sup> Im allgemeinen unterteilt man die Data-Mining-Methoden in zwei Kategorien: *Prognose* und *Beschreibung*. Hierzu gibt Abbildung 7 auf S. 27 einen Überblick über die Einteilung der etablierten Methoden, welche im Folgenden kurz aufgeführt werden.

**Prognose:** In dem Bereich der Prognose unterscheidet man zwischen zwei Gruppen: *statistische Methoden* und *symbolische Methoden*. Letztere versuchen das Wissen durch Symbolik und Verknüpfung, auf einer leichter interpretierbaren Ebene für Menschen, zu vermitteln. Im Gegensatz dazu, repräsentieren statistische Methoden das Wissen mit Hilfe der Erstellung von mathematischen Modellen.<sup>110</sup> Die am häufigst angewendeten statistischen Methoden sind die:<sup>111,112</sup>

<sup>106</sup> Vgl. Han/Kamber/Pei, Data mining: Concepts and techniques, 2012, S. 112.

<sup>107</sup> Vgl. Cleve/Lämmel, Data Mining, 2014, S. 214-215.

<sup>108</sup> Vgl. ebd., 2014, S. 10.

<sup>109</sup> Vgl. ebd., 2014, S. 12.

<sup>110</sup> Vgl. García/Luengo/Herrera, Data preprocessing in data mining, 2015, S. 3.

<sup>111</sup> Vgl. ebd., 2015, S. 3-5.

<sup>112</sup> Vgl. Han/Kamber/Pei, Data mining: Concepts and techniques, 2012, S. 23-24.

- *Regressionsanalyse*

Die älteste DM-Methode dient zur Funktionsmodellierung von einer abhängigen oder mehreren unabhängigen Variablen. Die Form der Funktion wird dabei durch das ausgewählte Verfahren, beispielsweise *lineare oder quadratische Regression*, bestimmt und kann anhand bestimmter Parameter validiert werden, wie „gut“ diese zu den eingebrachten Daten passt.<sup>113</sup>

- *(Künstliche) Neuronale Netze<sup>GL</sup> (NN)*

In diesem Teilbereich der künstlichen Intelligenz wird versucht, einen Wissensspeicher zu kreieren, der ähnlich unserem leistungsfähigen Gehirn funktioniert. Hierbei werden die biologischen Elemente und Vorgehensweise des Gehirns, in Form von *Neuronen*, in die Welt des Computers übertragen. Durch gerichtete und gewichtete Verbindungen sind diese Neuronen untereinander verknüpft und bilden so ein gemeinsames Netz für die Informationsverarbeitung.<sup>114</sup>

- *Super Vector Machine<sup>GL</sup> (SVM)*

Die auf ML basierende Methode versucht Objekte zu klassifizieren. Dabei werden alle Objekte als Vektoren in einem Raum dargestellt und durch sogenannte *Hyperebenen* (fungieren als Trennflächen) geteilt, um eine möglichst zuverlässige Zuordnung der Daten in vordefinierte Klassen zu erreichen.<sup>115</sup>

Im Bereich der symbolischen Methoden hat sich die Technik des *Entscheidungsbaumes* etabliert. Sie dient ebenfalls der Klassifizierung von Objekten, indem innerhalb jedes Iterationsschrittes das am *besten* zu klassifizierende Attribut gefunden wird, um die Daten daran aufzusplitten. Durch dieses Verfahren entsteht ein Entscheidungsbaum, von dem Regeln, wie *If-Else-Zweige*, abgeleitet werden können.<sup>116</sup>

## Beschreibung:

- *Clustering*

Im Gegensatz zur Klassifizierung sind bei der Methode des Clustering zuvor keine Klassen bzw. Gruppen definiert. Dieses weitverbreitete Werkzeug im Bereich des Data Minings versucht Daten in sogenannte *Cluster* zu unterteilen, wobei die Elemente dieser Gruppen sich möglichst ähnlich (*homogen*), jedoch auch gleichzeitig von den anderen Clustern deutlich zu unterscheiden sein sollten (*heterogen*).<sup>117</sup>

<sup>113</sup> Vgl. *García/Luengo/Herrera*, Data preprocessing in data mining, 2015, S. 3.

<sup>114</sup> Vgl. *Cleve/Lämmel*, Data Mining, 2014, S. 47.

<sup>115</sup> Vgl. *Aggarwal*, Data mining: The textbook, 2015, S. 313.

<sup>116</sup> Vgl. *García/Luengo/Herrera*, Data preprocessing in data mining, 2015, S. 5.

<sup>117</sup> Vgl. *Anderberg*, Cluster Analysis for Applications, 2014, S. 3.



- *Assoziationsanalyse*

Diese Methode versucht Wissen durch assoziative Beziehungen zwischen den Daten herzuleiten. Das einfachste Beispiel hierfür wäre im Einzelhandelsbereich: „Wenn ein Kunde Produkt A kauft, würde dieser auch Produkt B kaufen.“ Durch diese extrahierten Muster, können wiederum Regeln abgeleitet werden.

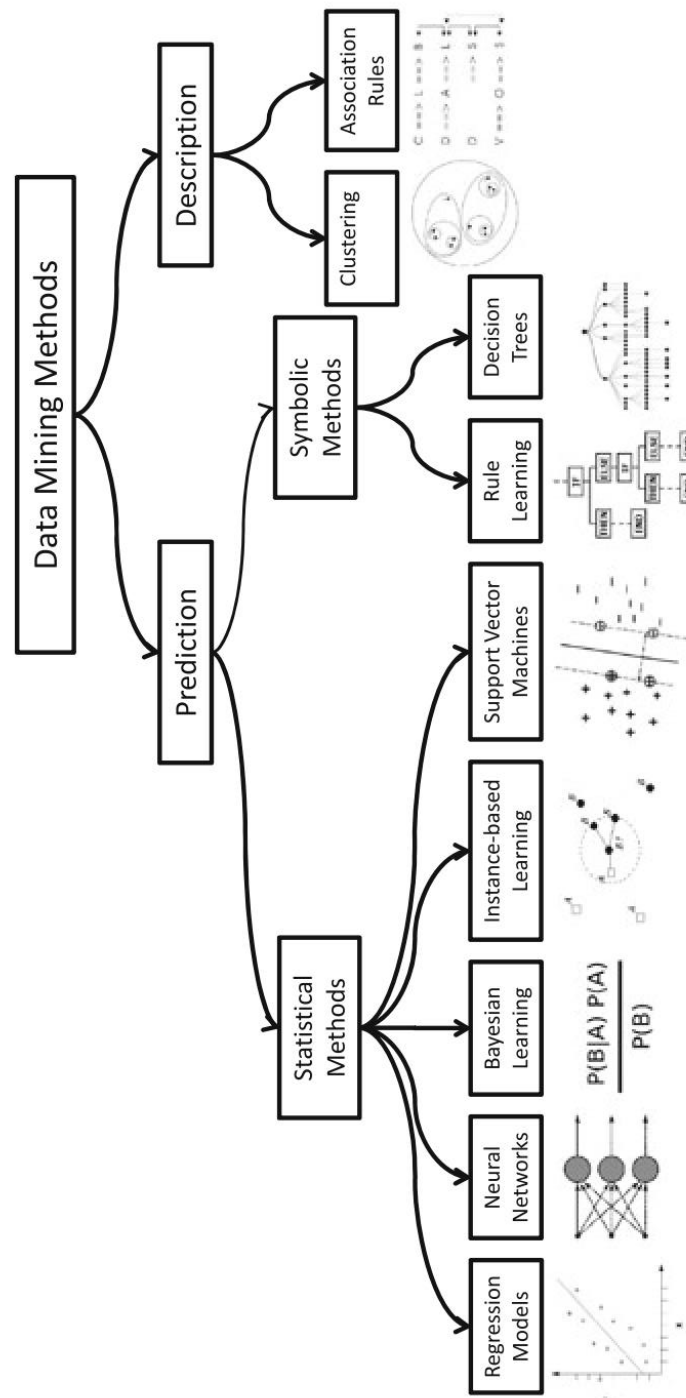
**Visualisierung als Werkzeug:** Nicht zuletzt ist die Visualisierung unerlässlich für den Erfolg eines Data-Mining-Projektes. Die Resultate werden oftmals zur Entscheidungsfindung herangezogen, wobei die Entscheidungsträger nicht immer direkt am Prozess beteiligt sind. Die Ergebnisse müssen folglich in einer anschaulichen und nachvollziehbaren Form dargestellt werden, um Vertrauen und Akzeptanz in die Resultate zugewinnen.<sup>118</sup> Weiterhin kann die Visualisierung auch schon in der Datenvorverarbeitung genutzt werden oder als eigenständige Methode innerhalb des Data Minings, da sich häufig erst Zusammenhänge zwischen den Attributen durch die Darstellung der Daten erkennen lassen.<sup>119</sup>

**Auswahl der Methode:** Für die Modellierung einer Funktion zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit eines Torerfolges im Fußball (auch bekannt unter dem Begriff *Expected Goals*), kann die passende Data-Mining-Methode aus der Abbildung 7 auf S. 27 ausgewählt werden. Der zu erwartende Torerfolg soll folglich prognostiziert und durch ein mathematisches Modell repräsentiert werden. Unter den statistischen Methoden eignet sich für die Modellierung einer Funktion am besten die Regressionsanalyse, da ein Torerfolg von mehreren Faktoren abhängig ist. Dementsprechend wird dieses Verfahren als Data-Mining-Methode für die Beantwortung der vorliegenden Problemstellung ausgewählt und dessen Bestandteile zunächst in Kapitel 2.3 auf S. 29 betrachtet, um diese Technik in der späteren Umsetzung anwenden zu können.

---

<sup>118</sup> Vgl. Cleve/Lämmel, Data Mining, 2014, S. 14.

<sup>119</sup> Vgl. ebd.

Abbildung 7: Übersicht: Data-Mining-Methoden<sup>120</sup>

Vgl. Abbildung García et al., Data preprocessing in data mining, 2015, S. 4.

### 2.2.5 Interpretation

Am Ende jedes KDD-Prozesses steht die Interpretation sowie die Evolution der entdeckten Muster und Beziehungen aus dem Data Mining. Oftmals können Unternehmen keinen Nutzen aus den Analyseverfahren erzielen, da diese häufig irrelevante, triviale, bedeutungslose oder sogar bereits bekannte Daten generieren. Die gewonnenen Muster sollten den folgenden vier Kriterien genügen, um neues Wissen zu repräsentieren:<sup>121</sup>

1. **Validität:** Hierbei wird die Gültigkeit des Muster für das gefundene Modell, als auch in Bezug auf neue Daten, in einem objektiven Maßstab bewerten.
2. **Neuartigkeit:** Das Kriterium beantwortet die Frage, inwiefern das neu erworbene Wissen zu den bisherigen Forschungen steht. Einerseits es kann den Wissensstand ergänzen oder im Widerspruch dazu stehen.
3. **Nützlichkeit:** Beschreibt das Nutzen, welches für den Anwender durch die Resultate erzielt wurde.
4. **Verständlichkeit:** Die Ergebnisse des Modells sollten von einem anderen Anwender verstanden werden.

Anhand dieser Anforderungen sollen die späteren Resultate der modellierten Funktionen gemessen werden. Um dabei eine aussagekräftige Interpretation der Ergebnisse treffen zu können, erfordert es ein hohes Maß an Verständnis der vorliegenden Problemstellung. Dazu bietet sich ein Team von Experten an, welche die Resultate validieren, sodass eine korrekte Bewertung erzielt werden kann. Für die Interpretationsphase eignet sich die Verwendung von Werkzeugen, wie der Visualisierung, um schnellen Aufschluss über die gewonnenen Muster und Zusammenhänge zu erlangen. Innerhalb des iterativen KDD-Prozesses (siehe Abbildung 2 auf S. 10) ist ein Rücksprung in die vorherigen Phasen typisch.<sup>122</sup> Meist müssen Daten nochmal nachbereitet, eine andere Data-Mining-Methode ausgewählt oder sogar Daten neu selektiert werden, wenn das gewünschte Ergebnis sich mit der verwendeten Datenbasis nicht erreichen lässt.<sup>123</sup>

---

<sup>121</sup> Vgl. *Cleve/Lämmel*, Data Mining, 2014, S. 11-12.

<sup>122</sup> Vgl. ebd., 2014, S. 11.

<sup>123</sup> Vgl. ebd.

## 2.3 Funktionsmodellierung

Nachdem die Regressionsanalyse in Kapitel 2.2.4 auf S. 24 als Data-Mining-Methode für diese Arbeit festgelegt wurde, wird der Leser im folgenden Kapitel mit den grundlegenden Bestandteilen der Funktionsmodellierung mit Hilfe der Regression vertraut gemacht (siehe Kapitel 2.3.1). Dazu werden die unterschiedlichen Modelle der Regression vorgestellt und in Bezug auf die vorliegende Problemstellung bewertet. Anschließend wird in Kapitel 2.3.2 auf S. 39 das Software-Tool *MATrix LABoratory* (*MATLAB*) zur Lösung und graphischen Darstellungen von mathematischen Problemen in Bezug auf die Regressionsanalyse beschrieben, um dessen Konzepte und Funktionsweise für die spätere Umsetzung nachvollziehen zu können.

### 2.3.1 Regressionsanalyse

#### 2.3.1.1 Allgemein

Die Regression (lat. *regredi* für umkehren, zurückkehren) beinhaltet im Allgemeinen die Analyse einer abhängigen Variablen von einer oder mehreren unabhängigen Variablen.<sup>124</sup> Dabei drücken die unabhängigen Variablen die abhängige Variable mittels einer *Regressionsgleichung* aus.<sup>125</sup> Die in der mathematischen Gleichung beinhaltenen Parameter (auch *Regressoren* genannt) müssen so gewählt und justiert werden, dass eine möglichst genau Anpassung der resultierenden Funktion an die vorhandenen Daten erzielt wird.<sup>126,127</sup> Diese rein datenbasierte mathematische Beschreibung hat ihren Ursprung in einer Studie von Francis Galton<sup>128</sup>, in der die Körpergröße von Kindern in Bezug zu derer ihrer Eltern analysiert wurde.<sup>129</sup> Anhand der vorliegenden Problemstellung dieser Arbeit, lässt sich das Vorgehen der Regressionsanalyse beispielhaft demonstrieren:

Es wird versucht, die Abhängigkeit der Wahrscheinlichkeit eines Torerfolges (=abhängige Variable), von den Einflussfaktoren, wie der Distanz oder des Winkel zum Tor bzw. der Koordinaten des Schusses (=unabhängige Variablen), mit Hilfe einer Funktion (=Regressionsgleichung) zu ermitteln.

<sup>124</sup> Vgl. *Studenmund*, Using econometrics: A practical guide, 2014, S. 5.

<sup>125</sup> Vgl. *Fahrmeir et al.*, Statistik: Der Weg zur Datenanalyse, 2007, S. 475.

<sup>126</sup> Vgl. *Günther/Velten*, Mathematische Modellbildung und Simulation, 2014, S. 68.

<sup>127</sup> Vgl. *Schimek*, Smoothing and regression, 2000, S. 1-2.

<sup>128</sup> britischer Naturforscher im 19. Jahrhundert - prägte erstmals den Begriff der *Regression*

<sup>129</sup> Vgl. *Günther/Velten*, Mathematische Modellbildung und Simulation, 2014, S. 68.

Anhand der *linearen Regression* sollen die grundlegenden Bestandteile aller Regressionsmodelle erläutert werden. Um eine Punktwolke (die beobachteten Daten) durch eine Funktion  $\hat{f}$  zu approximieren, bedient man sich der quadratischen Abstände der Datenpunkte zur Funktion und versucht diese durch die *Methode der kleinsten Quadrate*<sup>GL</sup> (MDKQ) zu minimieren.<sup>130</sup> Die lineare Regressionsfunktion dabei liegt in der Form

$$\hat{f}(x) = \hat{\alpha} \cdot x + \hat{\beta} \quad (2)$$

vor.<sup>131</sup> Wie in Abbildung 8 auf S. 31 exemplarisch dargestellt ist, werden die Abstände zwischen den beobachteten Datenpunkten (orangefarbene Kreise) und der Funktion ( $y_i - \hat{y}(x_i) \rightarrow i = 1, \dots, m$ ) summiert, woraus sich die *Summe der Fehlerquadrate* (=Residual Sum of Squares (RSS)) ergibt:<sup>132</sup>

$$RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}(x_i))^2 \quad (3)$$

Durch die Berechnung der RSS wird die Distanz zwischen den Daten und dem Modell berechnet. Um eine möglichst genaue Abbildung der Daten durch das Modell gewährleisten zu können, müssen die Parameter  $\hat{\alpha}$  und  $\hat{\beta}$  so gewählt werden, dass die Summe der Fehlerquadrate minimal ist.<sup>133</sup> Es gilt:

$$\min_{a,b \in \mathbb{R}} RSS \quad (4)$$

Das mathematische Vorgehen für die Ermittlung eines Minimums einer Funktion mit mehreren Variablen – partielle Ableitung von  $RSS(\hat{\alpha}, \hat{\beta})$  – wird verwendet, um die Parameter der Regressionsfunktion ausfindig zu machen.<sup>134</sup>

$$\hat{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^m x_i y_i - m \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^m x_i^2 - m \bar{x}^2} \quad (5)$$

<sup>130</sup> Vgl. *Hastie/Tibshirani/Friedman*, The elements of statistical learning, 2016, S. 44.

<sup>131</sup> Vgl. *Fahrmeir et al.*, Statistik: Der Weg zur Datenanalyse, 2007, S. 476.

<sup>132</sup> Vgl. *Studenmund*, Using econometrics: A practical guide, 2014, S. 37.

<sup>133</sup> Vgl. *Günther/Velten*, Mathematische Modellbildung und Simulation, 2014, S. 69.

<sup>134</sup> Vgl. *Studenmund*, Using econometrics: A practical guide, 2014, S. 39.

$$\hat{\beta} = \bar{y} - \hat{\alpha}\bar{x}^2 \quad (6)$$

Diese grundlegenden Bestandteile finden sich in allen Regressionsmodellen wieder, die in Kapitel 2.3.1.2 kurz vorgestellt werden.

### 2.3.1.2 Regressionsmodelle

In der Praxis haben sich durch den allgemein Ansatz der Regression eine Vielzahl von Modellen etabliert, die je nach Anwendungsfall ihre Verwendungen finden:

- **Lineare Regression**

Am bekanntesten ist die lineare Regression, die auch oft als „Ausgleichsgerade“ bezeichnet wird und zur Prognose einer unabhängigen Größe  $y$ , in Abhängigkeit *einer* bekannten Größe  $x$ , angewendet wird.<sup>135</sup> Eine Funktion  $\hat{f}(x)$  wie Gleichung 2 auf S. 30 ist von ihren Regressoren  $\alpha$  und  $\beta$  *linear* abhängig und heißt deshalb *lineare Regressionsfunktion*.<sup>136</sup> In Abbildung 8 ist eine solche Funktion beispielhaft dargestellt.

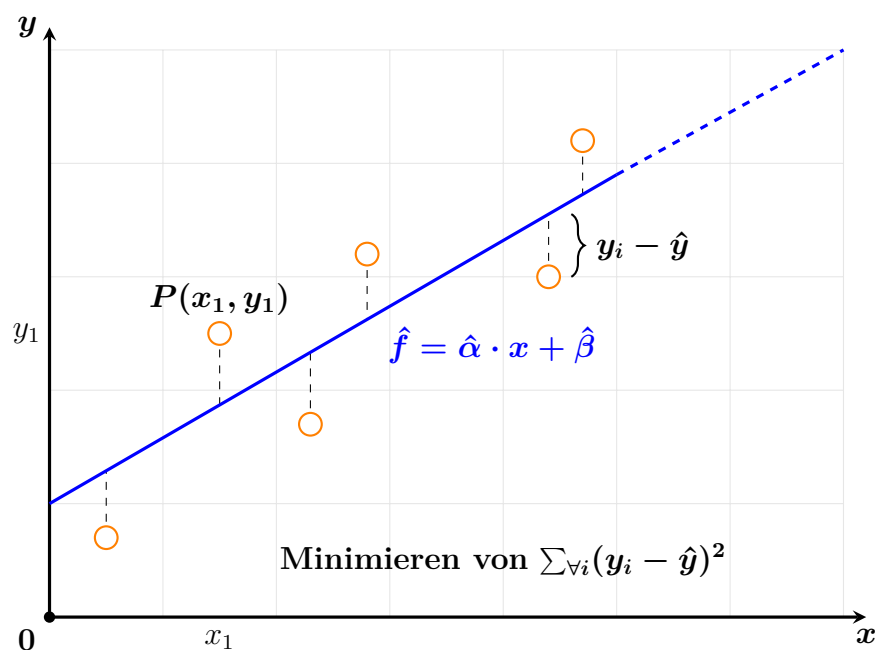


Abbildung 8: Grafische Darstellung der linearen Regression<sup>137</sup>

<sup>135</sup> Vgl. Fahrmeir et al., Statistik: Der Weg zur Datenanalyse, 2007, S. 475.

<sup>136</sup> Vgl. Günther/Velten, Mathematische Modellbildung und Simulation, 2014, S. 68.

### • Nichtlineare Regression

In vielen realen Anwendungen kann die Regressionsfunktion nicht durch die Linearkombination der Regressionskoeffizienten berechnet werden, da diese in *linearer* Weise von den Regressoren abhängt. Allgemein lässt sich dieses Modell mit  $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$  und  $\mathbf{a} = (a_1, \dots, a_s)$  wie folgt ausdrücken:<sup>138</sup>

$$\hat{f}(\mathbf{x}) = f(\mathbf{x}, \mathbf{a}) \quad (7)$$

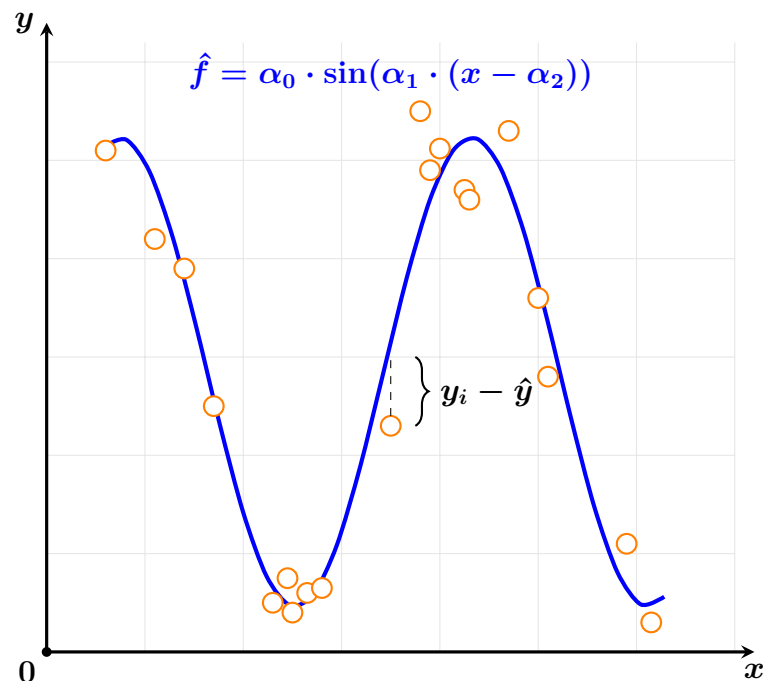
In Abbildung 9 auf S. 33 liegen die Daten in einem oszillierenden, sinusförmigen Muster vor und können folglich mit der allgemeinen Sinusfunktion beschrieben werden ( $\hat{f} = \alpha_0 \cdot \sin(\alpha_1 \cdot (x - \alpha_2))$ ). Bei dieser nichtlinearen Regressionsfunktion können die Regressoren dazu verwendet werden, die Funktion möglichst genau an die Daten anzupassen, wobei  $\alpha_0$  die Amplitude bestimmt,  $\alpha_1$  die Periode und  $\alpha_2$  die Sinus-Funktion entlang der  $x$ -Achse verschiebt.<sup>139</sup> Auch hier lassen sich mit Hilfe des Standardmodells, der Minimierung der kleinsten Quadrate, die Parameter bestimmen.<sup>140</sup>

<sup>137</sup> Abbildung in Anlehnung an Backhaus et al., Multivariate Analysemethoden, 2016, S. 71.

<sup>138</sup> Vgl. Günther/Velten, Mathematische Modellbildung und Simulation, 2014, S. 85.

<sup>139</sup> Vgl. ebd., 2014, S. 85-86.

<sup>140</sup> Vgl. Fahrmeir et al., Statistik: Der Weg zur Datenanalyse, 2007, S. 509.

Abbildung 9: Grafische Darstellung der nichtlinearen Regression<sup>141</sup>

- **Multiple Regression** In den meisten technischen und wirtschaftlichen Anwendungsfällen ist die Zielvariable  $y$  von mehr als einer unabhängigen Variable abhängig. Dieser Fall kann durch die *multiple* oder auch *multivariate Regression* behandelt werden, wobei sich diese Regressionsfunktion mit den unabhängigen Variablen ( $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$ ) und beliebigen reellen Funktionen ( $f_i$ ) im Allgemeinen wie folgt ausdrücken lässt:<sup>142</sup>

$$\hat{f}(\mathbf{x}) = \alpha_0 + \alpha_1 f_1(\mathbf{x}) + \alpha_2 f_2(\mathbf{x}) + \dots + \alpha_s f_s(\mathbf{x}) \quad (8)$$

Die Vorgehensweise zur Ermittlung der Parameter entspricht der, der linearen Regression – auch hier wird die Methode der Minimierung der kleinsten Quadrate angewendet. Liegt beispielsweise eine Punktwolke wie in Abbildung 10 auf S. 34 vor, kann diese durch die Funktion

$$\hat{f}(x_1, x_2) = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 \quad (9)$$

<sup>141</sup> Abbildung in Anlehnung an Günther et al., Mathematische Modellbildung und Simulation, 2014, S. 86.

<sup>142</sup> Vgl. Studenmund, Using econometrics: A practical guide, 2014, S. 41-42.



beschrieben werden, wobei der Regressor  $\alpha_0$  die Verschiebung der Fläche entlang der  $y$ -Achse,  $\alpha_1$  die Steigung der Variable  $x_1$  sowie  $\alpha_2$  die Steigung von  $x_2$  angibt.

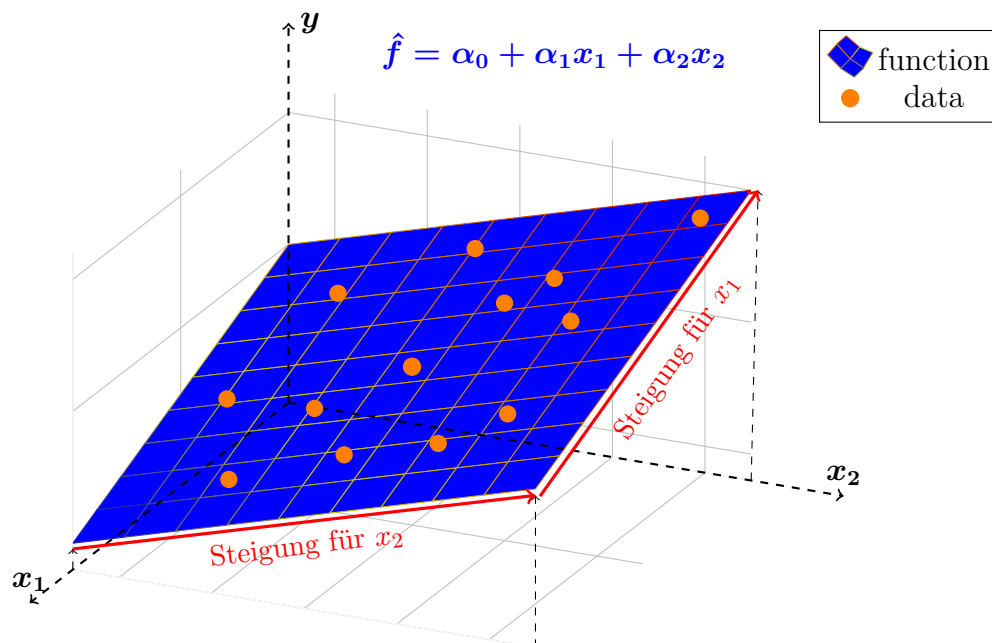


Abbildung 10: Grafische Darstellung der multiplen Regression<sup>143</sup>

- **Nichtparametrische Regression** In vielen Anwendungen lässt sich nicht von vornherein eine Regressionsfunktion mit bestimmter Spezifizierung der Parameter vorhersagen. In den vorangehenden Beispielen – ob linear oder nichtlinear – wurde jeweils ein konkreter Ausdruck vorgegeben, um mittels Minimierung die Funktion an die Daten anzupassen. Betrachtet man Abbildung 11 auf S. 35, so lässt sich schnell erkennen, dass es dazu keine passende mathematische Funktion geben wird.<sup>144</sup> Die nichtparametrische Regression verfolgt das Ziel, die Funktion  $\hat{f}$  möglichst genau zu schätzen. Etabliert haben sich hierbei Methoden wie *Spline-Regressionen* und *lokale Regressionsschätzer*, die jedoch aufgrund ihres numerischen Aufwands hier nicht detailliert beschrieben werden und selbst nur durch die Verwendung von statistischen Programmpaketen (vgl. MATLAB Kapitel 2.3.2 auf S. 39) Anwendungen finden.<sup>145</sup>

<sup>143</sup> Eigene Darstellung

<sup>144</sup> Vgl. Günther/Velten, Mathematische Modellbildung und Simulation, 2014, S. 91.

<sup>145</sup> Vgl. Fahrmeir et al., Statistik: Der Weg zur Datenanalyse, 2007, S. 510.

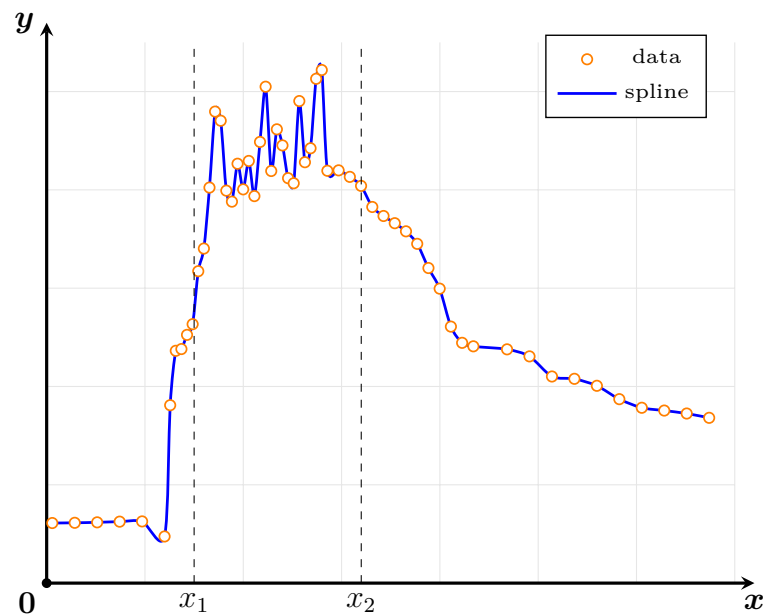


Abbildung 11: Grafische Darstellung der nichtparametrischen Regression<sup>146</sup>

„Splinefunktionen gehören zu den wichtigsten und verbreitetsten Regressionsmethoden und werden quer durch alle Disziplinen z.B. in Betriebswirtschaft, Informatik, Bildverarbeitung, Medizin, Maschinen.“<sup>147</sup>

Der Gedanke der *smoothing splines*<sup>148</sup> ist, den Bereich der  $x$ -Werte durch ein feines Gitter so zu unterteilen, das sich die angrenzenden Intervalle durch glatt miteinander verbundene Polynomfunktionen niedrigen Grades (oftmals kubisches Polynom) approximieren lassen.<sup>149</sup> In Abbildung 12 auf S. 36 ist dazu die Punktwolke aus Abbildung 11 im Wertebereich zwischen  $x_1$  und  $x_2$  genauer dargestellt, um das Resultat dieses Verfahren besser betrachten zu können. Legt man das Augenmerk ausschließlich auf den Intervallbereich  $I_i$ , so lässt sich dieser Bereich durch ein kubisches Polynom ausdrücken. Werden all diese Intervalle als eigene Funktionen definiert und stückweise an den „Knotenpunkten“ (Übergang zwischen den einzelnen Intervallen) stetig und differenziert aneinander gesetzt, erhält man die gesuchte Regressionsfunktion  $\hat{f}(x)$ .<sup>150</sup>

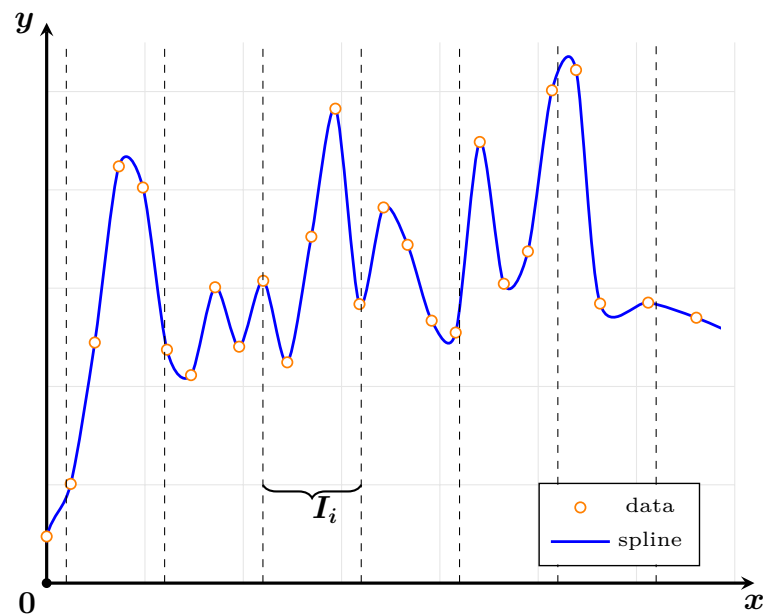
<sup>146</sup> Abbildung in Anlehnung an Günther et al., Mathematische Modellbildung und Simulation, 2014, S. 92.

<sup>147</sup> Günther/Velten, Mathematische Modellbildung und Simulation, 2014, S.93.

<sup>148</sup> Die englische Übersetzung bedeutet so viel wie *glättende Verzahnung*.

<sup>149</sup> Vgl. Fahrmeir et al., Statistik: Der Weg zur Datenanalyse, 2007, S. 510.

<sup>150</sup> Vgl. ebd.

Abbildung 12: Anwendung der *Spline*-Regression<sup>151</sup>

**Bewertung** Wie in der Einleitung dieses Kapitels beschrieben, wird die Wahrscheinlichkeit eines Torerfolges durch mehrere Faktoren, wie beispielsweise den Koordinaten des Schusses, beeinflusst, wodurch die *lineare Regression* für die Modellierung ausgeschlossen werden kann, da die Zielvariable in der vorliegenden Problemstellung von mindestens zwei unabhängigen Variablen abhängt. In einem multiplen Regressionsmodell können mehrere unabhängige Variablen behandelt werden, jedoch müsste auch hier von vornherein eine parametrische Spezifikation der Funktion angegeben werden. Eine erste mögliche Vorstellung in Bezug wäre dazu die Funktion  $\hat{f}(x_1, x_2) = \alpha_0 e^{-x_1} \cdot \alpha_1 \sin(\alpha_2 \cdot (\pi x_2 - \alpha_3))$ , die in Abbildung 13 auf S. 37 abgebildet ist.

<sup>151</sup> Eigene Darstellung: Vergrößerung der Punktwolke aus Abbildung 11 auf S. 35 im Wertebereich  $x_1$  bis  $x_2$

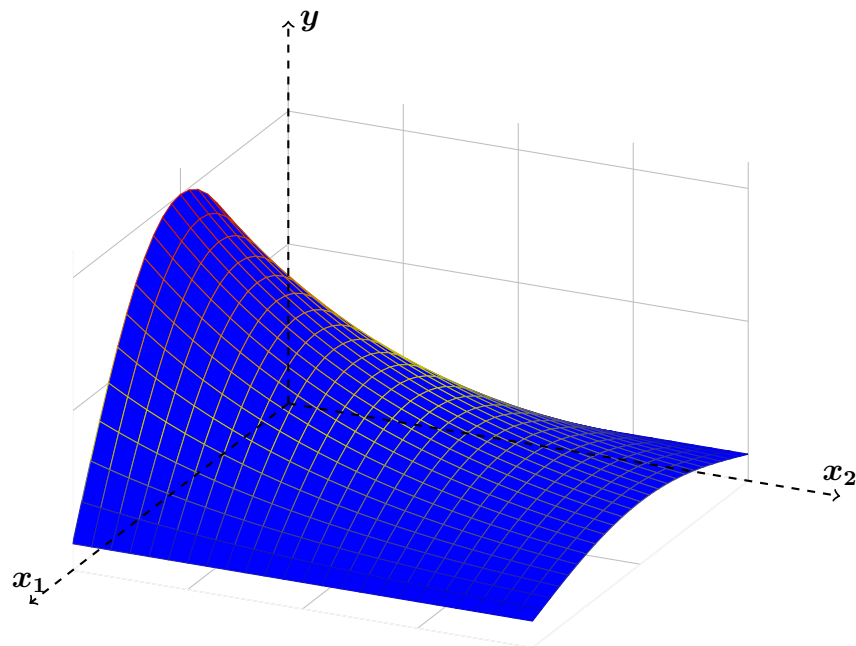


Abbildung 13: Erste Vorstellung der Funktion in Bezug auf die Koordinaten des Schusses<sup>152</sup>

Die Parameter  $x_1$  (=Breite des Spielfeldes) und  $x_2$  (=Länge des Spielfeldes) geben hierbei die Koordinaten den Punkt an, von dem aus geschossen wurde, wobei das gegnerische Tor auf der  $x_1$ -Achse – also bei  $x_2 = 0$  – mittig platziert ist. Die Vermutung ist, dass sich die Wahrscheinlichkeit  $y$  mit zunehmender Nähe zum Tor steigert, wodurch die Fläche in Richtung Tor stetig erhöht und eine Art „Gipfel“ entsteht. Bereits bei der Betrachtung dieser Vermutung, ist zu erkennen, dass eine „herkömmliche“ mathematische Funktion das Ergebnis zu einer sehr verfälschenden Glättung führt. Wenn beispielsweise ein Schuss auf der Höhe der Grundlinie seitlich des Tores abgegeben wurde, dann ist allein aufgrund des Winkels ein Torerfolg fast unmöglich und die Wahrscheinlichkeit somit falsch repräsentiert. Folglich ist es sinnvoll, *nicht-parametrische Regressionsfunktionen* in Form von *Splines* zu verwenden, um eine exakte Anpassung der Funktion an die vorliegenden Daten zu erreichen. Eine detaillierte Gegenüberstellung der multiplen und nichtparametrischen Regression wird innerhalb der Umsetzung in Kapitel 4.4 auf S. 61 aufgezeigt.

<sup>152</sup> Eigene Darstellung

### 2.3.1.3 Bestimmtheitsmaß

Um die Qualität der Anpassung des Modells an die Daten zu überprüfen, stellt der graphische Vergleich zwischen Modell und Daten die simpelste Möglichkeit dar. Betrachtet man nochmals die Sinus-Funktion aus Abbildung 9 auf S. 33, kann schnell festgestellt werden, dass das Modell sehr gut an die Daten angepasst wurde.<sup>153</sup> Für eine exakte Modellierung wird jedoch Bestimmtheitsmaß  $R^2$  notwendig, welches den *goodness of fit* (dt. *Anpassungsgüte*) misst.<sup>154</sup> Die Qualität des Modells wird dabei auf einer Skala zwischen 0 und 1 dargestellt, wobei ein sehr hoher Wert für eine gute Anpassung und ein niedriger Wert für eine schlechte Anpassung des Modells an die Daten spricht. Diese Skala dient dazu, um verschiedene Regressionsmodelle miteinander vergleichen zu können.<sup>155</sup> Das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  misst dabei zu welchem prozentualen Anteil die Abweichung der gemessenen abhängigen Variablen durch die unabhängigen Variablen des Modells erklärt wird und ist formal wie folgt definiert:<sup>156,157,158</sup>

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = \frac{RSS}{TSS} \quad (10)$$

Wie in Gleichung 10 zu erkennen ist, kann das  $R^2$  auch als Verhältnis von RSS zu *Total Sum of Squares* ( $TSS$ ), also der erklärten Variation zur gesamten Abweichungsumme, dargestellt werden.<sup>159,160</sup> Die Hinzunahme von weiteren erklärenden  $x$ -Variablen führt im schlechtesten Fall dazu, dass das Bestimmtheitsmaß gleich bleibt, unabhängig davon ob die zusätzlichen Variablen die Qualität des Modells verbessern. Man spricht dabei von einer *Überparametrisierung* des Modells.<sup>161</sup> Um diesen Fall zu vermeiden, verwendet man in der Praxis das *korrigierte Bestimmtheitsmaß*  $\bar{R}^2$  (engl.: *adjusted  $R^2$* ), dass die Hinzunahme von Variablen mit geringer Erklärungskraft „bestraft“ (die Qualität der Anpassung sinkt).<sup>162</sup> Die Aufnahme einer zusätzlichen Variable sollte nur dann in Erwägung gezogen werden, wenn der

<sup>153</sup> Vgl. Günther/Velten, Mathematische Modellbildung und Simulation, 2014, S.71.

<sup>154</sup> Vgl. Studenmund, Using econometrics: A practical guide, 2014, S. 51.

<sup>155</sup> Vgl. Günther/Velten, Mathematische Modellbildung und Simulation, 2014, S.71.

<sup>156</sup> Vgl. Daróczy, Mastering data analysis, 2015, S.118.

<sup>157</sup> Vgl. Günther/Velten, Mathematische Modellbildung und Simulation, 2014, S.72.

<sup>158</sup> Vgl. Studenmund, Using econometrics: A practical guide, 2014, S. 51.

<sup>159</sup> Vgl. ebd., 2014, S. 48.

<sup>160</sup> Vgl. Daróczy, Mastering data analysis, 2015, S.119.

<sup>161</sup> Vgl. Cleff, Deskriptive Statistik und moderne Datenanalyse, 2008, S. 160.

<sup>162</sup> Vgl. ebd., 2008, S. 161.

dadurch gewonnene Erklärungswert für das Modell größer als der „Bestrafungsabschlag“ des korrigierten Bestimmtheitsmaßes ist. Das  $\bar{R}^2$  kann daher zum Vergleich von Regressionsmodellen mit unterschiedlicher Anzahl von unabhängigen Variablen herangezogen werden, um die Anpassungsgüte des Modells an die Daten zu messen.<sup>163</sup> Die ursprüngliche Interpretation von  $R^2$  geht jedoch durch Bestrafung der Hinzunahme weiterer Parameter weites gehend verloren, sodass beide Bestimmtheitsmaße für eine Bewertung herangezogen werden sollten.<sup>164</sup>

In diesem Kontext spricht man in der Fachsprache auch von **Overfitting**, einer Überanpassung des Modells durch Hinzunahme irrelevanter Variablen, die zu einer unnötigen Steigerung der Komplexität führen. Das Modell scheint dabei für die vorliegenden Daten exakt zu passen, scheitert jedoch bei der Prognose von noch ungesehenen Daten. **Underfitting** ist die gegenteilige Bezeichnung und beschreibt ein zu simpel gewähltes Modell, welches zu wenig relevante Regressoren enthält und relativ schlecht an die Daten angepasst ist.<sup>165</sup>

### 2.3.2 MatLab

Da die Verfahren der Regressionsmodelle, wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, sehr komplex und aufwendig sind, und deren Umsetzung nur noch durch rechnergestützte Mathematik möglich ist, bietet sich die Nutzung eines hierfür speziell ausgerichteten Software-Tools an.<sup>166</sup> Die MATLAB-Plattform stellt eine intuitive und zugleich auch interaktive Umgebung für die Modellierung von Funktionen bereit und wird zur Lösung der vorliegenden Problemstellung in der Version *R2016B*<sup>167</sup> verwendet. Im Folgenden soll dem Leser die Software, sowie die von ihr gebotenen Möglichkeiten zur Datenanalyse und Regressionsmodellierung, kurz vorgestellt werden.

#### 2.3.2.1 Allgemein

MATLAB ist eine von MathWorks Inc. entwickelte Software-Plattform, die 1984 erstmalig kommerziell ausgeliefert und seitdem stetig weiter entwickelt wurde.<sup>168,169</sup>

<sup>163</sup> Vgl. *Studenmund*, Using econometrics: A practical guide, 2014, S. 56.

<sup>164</sup> Vgl. *Cleff*, Deskriptive Statistik und moderne Datenanalyse, 2008, S. 161.

<sup>165</sup> Vgl. *Cios*, Data mining: A knowledge discovery approach, 2007, S. 470.

<sup>166</sup> Weitere Software-Tools: R, SPSS, KNIME, SAS, uvm.

<sup>167</sup> Testversion für Studenten

<sup>168</sup> Vgl. *Pietruszka*, MATLAB in der Ingenieurpraxis, 2014, S. 1.

<sup>169</sup> Vgl. *Shardt*, Statistics for chemical and process engineers, 2015, S. 337.

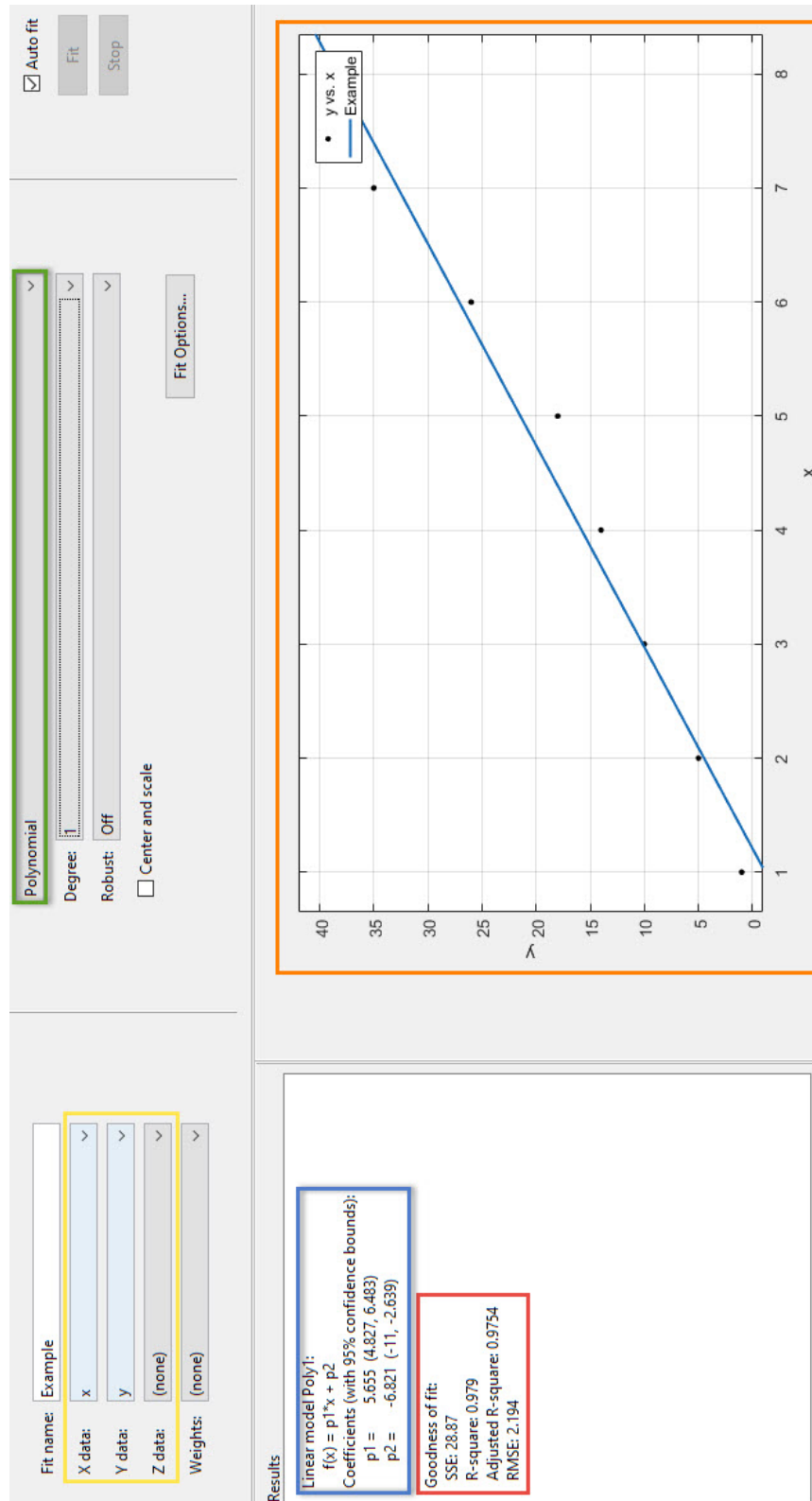
Es wird für ML, Signal- und Bildverarbeitung, Finanzmathematik, Robotik und viele weitere Anwendungsbereiche genutzt und gilt heute als die verbreitetste Software für Analysen und Designs von Systemen und Produkten.<sup>170</sup> Darüber hinaus eignet es sich besonders für Data-Mining-Methoden, wie der beispielsweise Regression oder Klassifizierung. Das Portfolio umfasst rechnerunterstützte numerische Berechnungen und Visualisierungen, sowie eine eigene Hochsprache mit Programmierumgebung. Weiterhin werden vorgefertigte spezifische Bibliotheken in Form von Toolboxes angeboten, wie beispielsweise das in dieser Arbeit verwendete *Curve Fitting Tool* (CFT) zur Funktionsmodellierung.<sup>171</sup> Dadurch können beispielsweise numerisch aufwendige Verfahren der Regressionsanalyse, wie die *nichtparametrische Regression* (siehe Kapitel 2.3.1.2 auf S. 31), schnell und interaktiv durchgeführt werden.

### 2.3.2.2 Regressionsanalyse

Die MATLAB-Plattform realisiert die Regressionsanalyse in Form der dafür vorgefertigten Bibliothek CFT. Die Bestandteile und das Verfahren dieser Toolbox soll mit Hilfe der Abbildung 14 auf S. 41 anhand eines einfachen Beispiels erläutert werden. Hierbei liegen Datenwerte zu der unabhängigen Variable  $x$  und der abhängigen Variable  $y$  vor, die zunächst den Achsen zugeordnet werden (siehe gelber Kasten oben links). Im nächsten Schritt kann aus einer Vielzahl von Funktionstypen eine passende ausgewählt werden, wie in diesem Fall eine Polynomfunktion 1. Grades (siehe grüner Kasten), da eine *lineare Regressionsfunktion* vermutet wird. Das CFT berechnet mit den Methoden der Regressionsanalyse, sprich der Minimierung der Summe der kleinsten Quadrate (vgl. Kapitel 2.3.1 auf S. 29), die gesuchten Parameter  $p_1$  und  $p_2$  der Regressionsfunktion (siehe blauer Kasten). Des Weiteren werden auch die zuvor dargestellten Bestimmtheitsmaße  $R^2$  und  $\bar{R}^2$ , die den *Goodness of fit* messen, ausgegeben, sodass eine Evaluation des Modells vorgenommen werden kann (siehe roter Kasten). In diesem Fall liegt mit etwa 98% eine sehr genaue Anpassung des Modells an die Daten vor. Zuletzt kann die resultierende Funktion sowie die Datenpunkte in einem Koordinatensystem betrachtet werden, um auch eine graphische Vorstellung zu erlangen. Das Tool bietet eine intuitive Benutzung, wodurch verschiedene (vermutete) Regressionsmodelle schnell und einfach mit einander verglichen werden können, ohne dabei die aufwendigen und komplexen Rechenmethoden selbst durchführen zu müssen. Neben dieser graphischen Möglichkeit bietet MATLAB auch in der mitgelieferten Programmierumgebung vorgefertigte Funktionen für die Regressionsanalyse, auf die hier jedoch nicht weiter eingegangen wird.

<sup>170</sup> Vgl. Gupta, Numerical Methods using MATLAB, 2014, S. 1.

<sup>171</sup> Vgl. Pietruszka, MATLAB in der Ingenieurpraxis, 2014, S. 1.

Abbildung 14: Bestandteile des Curve Fitting Tools<sup>172</sup>

Screenshot aus MATLAB



## 3 Analysephase

### 3.1 Expected Goals

Diese Passage soll dem Leser den aktuellen Forschungsstand der *Expected Goals* vermitteln, deren Bedeutsamkeit für den Fußballsport dabei explizit aufzeigen, sowie den Einfluss von Data-Mining-Methoden hinsichtlich der Wissensgewinnung darstellen.

„*Expected Goals - Das angesagteste Statistikmodell im Profifußball*“

So betitelt Nils Nordmann seinen Online-Artikel im Interview mit Dustin Böttger, Geschäftsführer von *Global Soccer Network (GSN)*, einem der gefragtesten Datenanalysten aus Deutschland, der mit mehreren Bundesligavereinen in Kooperation steht.<sup>173</sup> Statistische Analysen sind im Bereich des Fußballs keine Neuheit mehr, jedoch liegt der Ursprung der sportlichen Datenanalyse in einer anderen Sportart. Der amerikanische Historiker und Statistiker Bill James veröffentlichte 1977 erste Analysen zwischen geschlagenen und gefangenen Bällen im Baseball, um eine objektive Bewertung der Gesamtleistung eines Spielers aufstellen zu können. Schumaker, Solieman und Chen bezeichnen diese Entwicklung als eine Art „Revolution“ – einen Wandel von traditionellen Statistiken hin zum Wissensmanagement.<sup>174</sup> Diese löste eine Welle der Kreation neuer Maßzahlen aus, wovon einige im Jahr 2002 von der amerikanischen Baseball Profimannschaft *Oakland A's Billy Bean* als Grundlage zur Zusammenstellung eines neuen Teams dienten. Die *Boston Red Sox* ließen sich von dieser Idee inspirieren und gewannen anschließend sogar 2004 und 2007 die Meisterschaft.<sup>175</sup> Auch aus anderen Sportarten gibt es vergleichbare Beispiele, wie die Revolution im Basketball im Jahr 1980 durch den Statistiker Dean Oliver, der neue Messwerte zur Beurteilung von Spielern veröffentlichte.<sup>176</sup>

<sup>173</sup> Nils Nordmann, *Expected Goals: Das angesagteste Statistikmodell im Profifußball*, 2016.

<sup>174</sup> Vgl. Schumaker/Solieman/Chen, *Sports Data Mining*, 2010, S.36.

<sup>175</sup> Vgl. ebd.

<sup>176</sup> Dean Oliver beratete 2005 die *Seattle Supersonics* und verhalf zur amerikanischen Meisterschaft

Waren im Fußball in der Vergangenheit noch rein quantitative *Key Performance Indicators* (KPI) wie der Ballbesitz, die Passquote oder die Anzahl der Torschüsse von Bedeutung, wird das Spiel heutzutage bis in das kleinste Detail (z.B. die Anzahl der vertikal „überspielten“ Gegenspieler durch einen Pass) analysiert. Durch den Fortschritt der Videotechnik können alle Aktionen eines Spieles aufgezeichnet werden, wodurch sich neue stichhaltige Bewertungsmethoden heraus kristallisiert haben. Sumpter, Anderson und weitere Fachexperten untersuchen mit Hilfe von Mathematik und Statistik das Spiel und stellen in ihren Ausführungen einige Thesen und Modelle auf.<sup>177,178,179</sup> Eines der momentan angesagten Modelle sind die „**Expected Goals**“ (*dt. die zu erwartenden Tore*), welche die Qualität von Torschüssen vielseitig, objektiv und plausibel misst.<sup>180</sup> Dazu wird jedem Schuss, unter der Berücksichtigung von Parametern (wie beispielsweise der Position oder des Körperteils mit dem geschossen wurde), eine bestimmte Erfolgswahrscheinlichkeit zugewiesen. Die Bestimmung der Wahrscheinlichkeit, die Auswahl der einbezogenen Schüsse wie auch Parameter, als auch das gesamte Modell wird öffentlich von den Analytikern (meist aus Unternehmen der Sportanalyse/-beratung) kurz ausgeführt oder gar komplett geheimgehalten. Einblicke in ihre Modellierungen bieten unter anderem Opta Sports<sup>181</sup>, der TV-Sender Sky Sports,<sup>182</sup> oder Experten, wie Michael Caley, in ihren Internetpublikationen.<sup>183</sup> Ein *Expected-Goal-Modell* offeriert eine statistisch belegte und damit objektive Bewertung von Schüssen und bildet einen neuen KPI über die Qualität einer Torchance. Anhand dieser Grundlage ist es möglich, weitere Bewertungsmethoden für Spieler und Mannschaften zu ermitteln, die vor allem im Scouting-Bereich ihre Anwendung finden. Durch die qualitative Bewertung der Schüsse eines Stürmers mittels des Expected-Goal-Modells, kann eine objektive Aussage über dessen Erfolgsquote getroffen werden (beispielsweise ob diese über den erwarteten Tore liegt), welche dann zur Spielauswahl herangezogen werden kann. Eine Gefahr in der Modellierung der Expected Goals stellt die *Überparametrisierung* (vgl. Kapitel 2.3.1.3 auf S. 38) dar. Werden zu viele Parameter, z.B. welcher Spieler geschossen hat und ob mit seinem starken oder schwachen Fuß geschossen wurde, seine Tagesform, die Leistung des generischen Torhüters, usw. für die Modellierung herangezogen, verliert das Modell durch zu viele Details seine Abstraktion und folglich die allgemeine Aussagekraft für alle Schüsse. Die Kunst liegt in der Kapitel 2.3.1.3 auf S. 38 beschriebenen Balance von *Underfitting* und *Overfitting* des Modells.

<sup>177</sup> Vgl. Sumpter, *Soccermatics*, 2016.

<sup>178</sup> Vgl. Anderson/Sally, *The numbers game*, 2014.

<sup>179</sup> Vgl. Heuer/Müller/Rubner, *Soccer: Is scoring goals a predictable Poissonian process?*, 2010.

<sup>180</sup> Nils Nordmann, *Expected Goals: Das angesagteste Statistikmodell im Profifußball*, 2016.

<sup>181</sup> Vgl. Philipp Obloch, *OptaPro Neuheit: Expected Goals*, 2015.

<sup>182</sup> Vgl. Philipp Ertl, *Expected Goals: Welche Teams sind am effizientesten?*, 2016.

<sup>183</sup> Vgl. Michael Caley, *Bringing baseball stat nerdiness to football*, 2017.

Durch die Professionalisierung der Datenaufnahme im Fußball werden stetig mehr Daten während eines Spieles erhoben<sup>184</sup>, woraus im Laufe einer Saison eine Datenmenge resultiert, die die Leistungsfähigkeit herkömmlicher Analysewerkzeuge übersteigt. Um wertvolle Informationen aus den umfangreichen Daten zu extrahieren, greifen auch Datenanalysten im Bereich des Fußball auf die Prozesse und Methoden des Data Minings zurück. Ausführliche Einblicke in die Komplexität der Datenanalyse im Sport stellen unter anderem Schumaker et al. in ihrer Ausarbeitung vor.<sup>185</sup> Data-Mining-Methode wie das Clustering zur Einteilung von Spielertypen, die Regressionsanalyse zur Ermittlung von Erfolgsfaktoren einer Saison, Entscheidungsbäume zur Bestimmung des perfekten Ein- und Auswechslungszeitpunktes, als auch Neuronale Netze zur Prognose von Spielausgängen, werden zur Wissensgewinnung verwendet.<sup>186</sup> Darüber hinaus werden einige dieser Techniken zur komplexen Erkennung von Taktiken und Spielphilosophien eingesetzt, welche in der Ausführung von Rein konkretisiert werden.<sup>187</sup>

## 3.2 Opta-Spieldaten

Im Folgenden Abschnitt wird der Leser mit den zugrundeliegenden Daten dieser Arbeit vertraut gemacht, welche die Basis für die anschließende Funktionsmodellierung bilden. Es wird ein Überblick über das Format der bereitgestellten Daten, als auch der darin enthaltenen Informationen gegeben, um die in der Umsetzung verwirklichten Prozessschritte der Datenselektion, -vorverarbeitung und -transformation nachvollziehen zu können.

Neben Datenprovidern wie *Die Liga – Fußballverband e.V. (DFL)*, Heimspiel oder Amisco, liefert der weltweit führende Anbieter von Sportdaten, *Opta-Sports*, unter Anderem detaillierte Informationen über Spielevents. Dabei werden pro Spiel zwischen 1600 bis 2000 Aktionen, darunter Pässe, Fouls, Tore uvm., erfasst und aufbereitet.<sup>188</sup> Opta stellt die Daten mittels einer *Extensible Markup Language (XML)*-Datei (siehe Abbildung 21 auf S. 64) bereit, welche zunächst für eine bessere Weiterverarbeitung in ein *JavaScript Object Notation (JSON)*-Format *geparst* werden. Listing 1 auf S. 45 zeigt dazu exemplarisch ein Opta-Event mit allen darin beinhaltenden Informationen.

<sup>184</sup> beispielsweise durch Videobildverarbeitung oder Sensordaten

<sup>185</sup> Vgl. Schumaker/Soliman/Chen, Sports Data Mining, 2010.

<sup>186</sup> Vgl. Gunjan Kumar, Machine Learning for Soccer Analytics,.

<sup>187</sup> Vgl. Rein/Memmert, Big data and tactical analysis in elite soccer, 2016.

<sup>188</sup> Vgl. Opta-Sports, The collection process, 2017a.

---

```

1  {
2    "$": {
3      "id": "2016516030",
4      "event_id": "1029",
5      "type_id": "16",
6      "period_id": "1",
7      "min": "36",
8      "sec": "31",
9      "player_id": "55634",
10     "team_id": "156",
11     "outcome": "1",
12     "x": "95.0",
13     "y": "43.5",
14     "timestamp": "2014-08-22 20:14:39.71",
15     "last_modified": "2014-08-25 14:25:09"
16   },
17   "Q": {
18     ...
19   }
20 }

```

---

Listing 1: Struktur der Opta-Daten

Jedes Event besitzt eine eindeutige ID innerhalb des Spiels („event\_id“) und eine spezifische, dem Spiel übergeordnete „id“, welche zur Identifizierung in der gesamten Opta-Datenbank dient. Über die „player\_id“ kann der agierende Spieler des Events identifiziert werden, sowie dessen Teamzugehörigkeit über die „team\_id“. Des Weiteren kann die Position der Aktion auf dem Spielfeld über die „x“- und „y“-Koordinaten lokalisiert, als auch der genau Zeitpunkt ermittelt werden (siehe Zeile 6-8). Das Attribut „type\_id“ beschreibt die Art eines Events durch einen numerischen Wert, wobei in diesem Fall die 16 für einen Torerfolg steht. Eine „type\_id“ von 1 beispielsweise würde einen Pass repräsentieren, während der „outcome“ den Erfolg des Events angibt. Ein „outcome“ von 1 wäre dann ein erfolgreicher Pass zum Mitspieler, ein „outcome“ von 0 hingegen würde einen Fehlpass widerspiegeln. Unter dem Attribut „Q“ finden sich über 300 mögliche Qualifier, welche weitere detaillierte Informationen zu bestimmten Events geben. Die Qualifier 9 bzw. 28 geben beispielsweise Auskunft, ob der Torerfolg aus einem Elfmeter oder aus einem Eigentor resultierte.<sup>189</sup>

Die Position des Events wird wie beschrieben durch die „x“- und „y“-Koordinaten bestimmt und kann mit Hilfe der Abbildung 15 auf S. 46 graphisch aufgezeigt werden. Die eigene Torlinie liegt dabei immer bei x=0, die gegnerische Torlinie bei

---

<sup>189</sup> Vgl. *Opta-Sports*, F24 Appendices, 2017b, S.1.

$x=100$ , sowie die Mitte des gegnerischen Tores bei  $y=50$ , wodurch sich die Spielrichtung von links nach rechts ergibt. Der in Listing 1 auf S. 45 dargestellte Schuss wurde folglich von einer zum Tor relativ nahen Position ausgeführt. Die Werte für  $x$  und  $y$  werden dabei prozentual zur Spielfeldlänge bzw. -breite angegeben, um Events aus verschiedenen Spielen (=unterschiedliche Spielfeldgrößen) vergleichen zu können.<sup>190</sup> Der spätere Ursprungspunkt der Funktion ( $x=0$  und  $y=0$ ) soll in der Mitte des gegnerischen Tores ( $x=100$  und  $y=50$ ) liegen, sodass die Koordinatenpunkte transformiert werden müssen (siehe Anforderung 6).

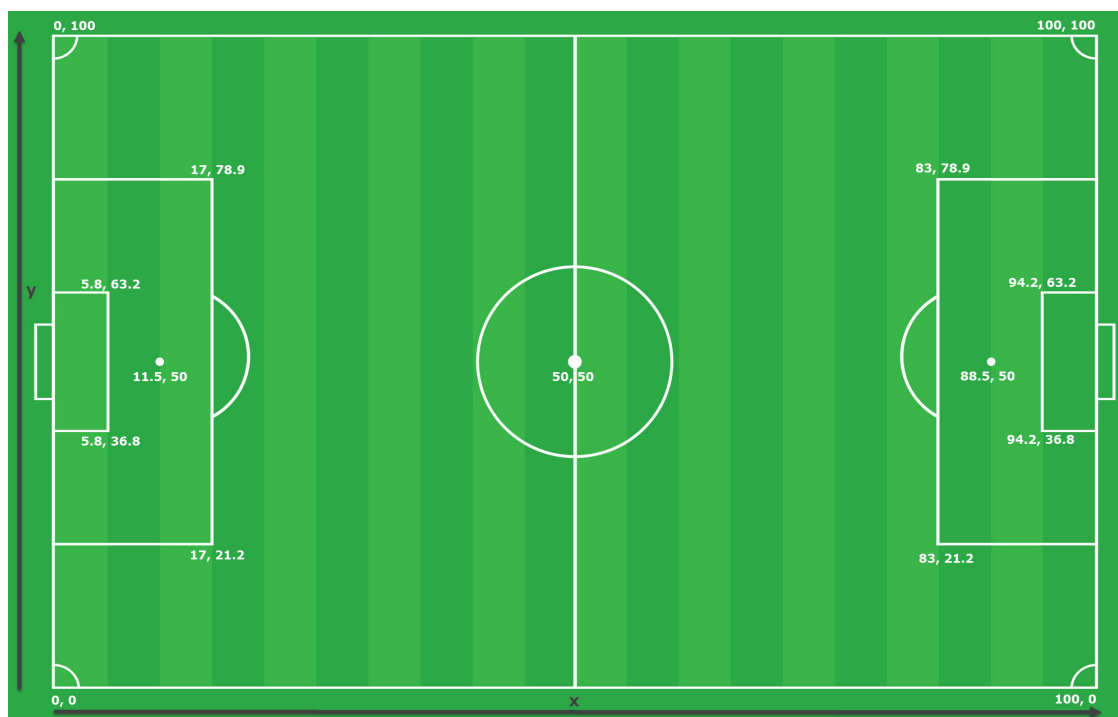


Abbildung 15: Koordinatensystem Opta<sup>191</sup>

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Wahrscheinlichkeit eines Torerfolges von einer bestimmten Position. Folglich liegt der Fokus auf der Selektion aller Schüsse, die über die Type-IDs 13, 14, 15 und 16 identifiziert werden können. Tabelle 2 auf S. 47 gibt dazu einen Überblick über die einzelnen Events inklusive kurzer Beschreibungen. Aus der Tabelle können die Schüsse in die für die Funktionsmodellierung wichtigen Kategorien **Tor** und **Nicht-Tor** eingeteilt werden. Schüsse mit der Type-ID 13, 14, 15 werden demzufolge als Nicht-Tor sowie die Type-ID 16 als Tor verbucht.

<sup>190</sup> Vgl. *Opta-Sports*, F24 Appendices, 2017b, S.1.

<sup>191</sup> Abbildung in Anlehnung an *Opta-Sports*, F24 Appendices, 2017b, S. 43.

Schuss-Events		
Type-ID	Name	Beschreibung
13	Miss	Jeder Schuss, der am Tor vorbei ging
14	Post	Der Ball hat den Torrahmen getroffen
15	Attempt Saved	Alle Schüsse, die gehalten wurden
16	Goal	Alle Tore

Tabelle 2: Schuss-Events

Aus der dritten Anforderung (vgl. Auflistung der Anforderung Tabelle 1 auf S. 4) lässt sich schließen, dass für die Modellierung nur Schüsse berücksichtigt werden dürfen, die aus dem „*laufenden*“ Spiel abgegeben wurden. Die Qualifier 9, 25 und 26 geben darüber Aufschluss, ob ein Schuss aus einer Standardsituation (Eckball, Freistoß oder Elfmeter) hervorgeht. Ferner müssen Eigentore ausgeschlossen werden, da diese – wie in Anforderung 4 beschrieben – die Modellierung verzerren würden. Geblockte Schüsse müssen ebenfalls unberücksichtigt bleiben, anlässlich der Tatsache, dass keine konkrete Aussage getroffen werden kann, ob solch ein Schuss in einem Torerfolg resultiert hätte (vgl. Anforderung 5). Tabelle 3 fasst dazu nochmal alle relevanten Qualifier zusammen.

Relevante Qualifier		
Q-ID	Name	Beschreibung
9	Penalty	Schussversuch resultiert aus einem Elfmeter
25	From Corner	Schussversuch resultiert direkt aus einer Ecke
26	Free Kick	Schussversuch resultiert direkt aus einem Freistoß
28	Own Goal	Eigentor (inverse Koordinaten)
82	Blocked	Schussversuch der geblockt wurde

Tabelle 3: Relevante Qualifier

Als Datenbasis für diese Arbeit wurden von Opta folgende Spieldaten aus der ersten deutschen Fußballliga bereitgestellt:

- Bundesliga-Saison 2013/2014 (GER)
- Bundesliga-Saison 2014/2015 (GER)
- Bundesliga-Saison 2015/2016 (GER)
- Bundesliga-Saison 2016/2017 (GER)

Damit liegt eine ausreichend große und repräsentative Datenmenge mit über 15.000 verfügbaren Schüssen für eine Funktionsmodellierung vor, die im folgenden Kapitel (vgl. Kapitel 4 auf S. 49) umgesetzt wird.

### **3.3 Wirtschaftliche Betrachtung**

- Scouting
- Einkauf von Daten
- Zusammenstellung einer ganzen Mannschaft (siehe Baseball, Basketball)
- ...

## 4 Umsetzung

Die Umsetzung der vorliegenden Problemstellung wird mit Hilfe des in Kapitel 2.2 auf S. 13 vorgestellten KDD-Prozesses durchgeführt. Anhand der erlangten Grundlagen und Methoden der einzelnen Prozessschritte, werden diese sukzessive durchlaufen, um eine möglichst exakte Modellierung der Funktion zu realisieren. Zunächst werden die relevanten Daten in Kapitel 4.1 selektiert, anschließend aufbereitet (vgl. Kapitel 4.2 auf S. 51) und in das für die Regressionsanalyse passende Format transformiert (vgl. Kapitel 4.3 auf S. 56). Im darauf folgenden Schritt des Data Minings wird die Funktion unter der Betrachtung des Winkels und der Distanz, als auch in Bezug auf die Koordinaten des Schusses anhand der Regression (vgl. Kapitel 2.3 auf S. 29) modelliert. Abschließend werden die aus MATLAB gewonnenen Ergebnisse interpretiert und evaluiert, um eine fundierte Entscheidung über die Auswahl eines Modells treffen zu können.

### 4.1 Datenselektion

Opta Sports erfasst in einem Fußballspiel zwischen 1600 und 2000 verschiedene Events (z.B. Pässe, Schüsse, Fouls, uvm.), aus denen eine geeignete Datenmenge für die Funktionsmodellierung ausgewählt werden muss. Zunächst werden die im XML-Format vorliegenden Daten eines Spieles für eine bessere Weiterverarbeitung in ein JSON-Format geparkt. Über die in Kapitel 3.2 auf S. 44 beschriebenen **Type-IDs** und **Qualifiers** können die relevanten Schüsse aus dieser großen Datenmenge selektiert werden. Aus der Tabelle 2 auf S. 47 lassen sich alle Schussversuche innerhalb eines Spiels identifizieren, wobei die Zieldaten nur Schüsse beinhalten dürfen, die während des „freien“ Spiels abgegeben wurden, nicht aus Eigentoren resultierten und die nicht geblockt wurden (vgl. Tabelle 1 auf S. 4). Die Eliminierung solcher Schüsse erfolgt durch die in Tabelle 3 auf S. 47 aufgelisteten Qualifier. Die Eigentore wurden nicht von vornherein ausgeschlossen und konnte erst durch die Visualisierung aller Torerfolge in Abbildung 16 auf S. 50 ausgeschlossen werden, da diese sonst eine verfälschte Wahrscheinlichkeit für einen Torerfolg aus dieser Position widerspiegeln. Aufgrund der Qualifier ist es somit möglich, Schüsse wie das „Eigentor des Jahres“<sup>192</sup> von C. Kramer aus 45 Metern Entfernung von der Berechnung auszuschließen.

<sup>192</sup> Vgl. F.A.Z., Das Eigentor des Jahres, 2014.



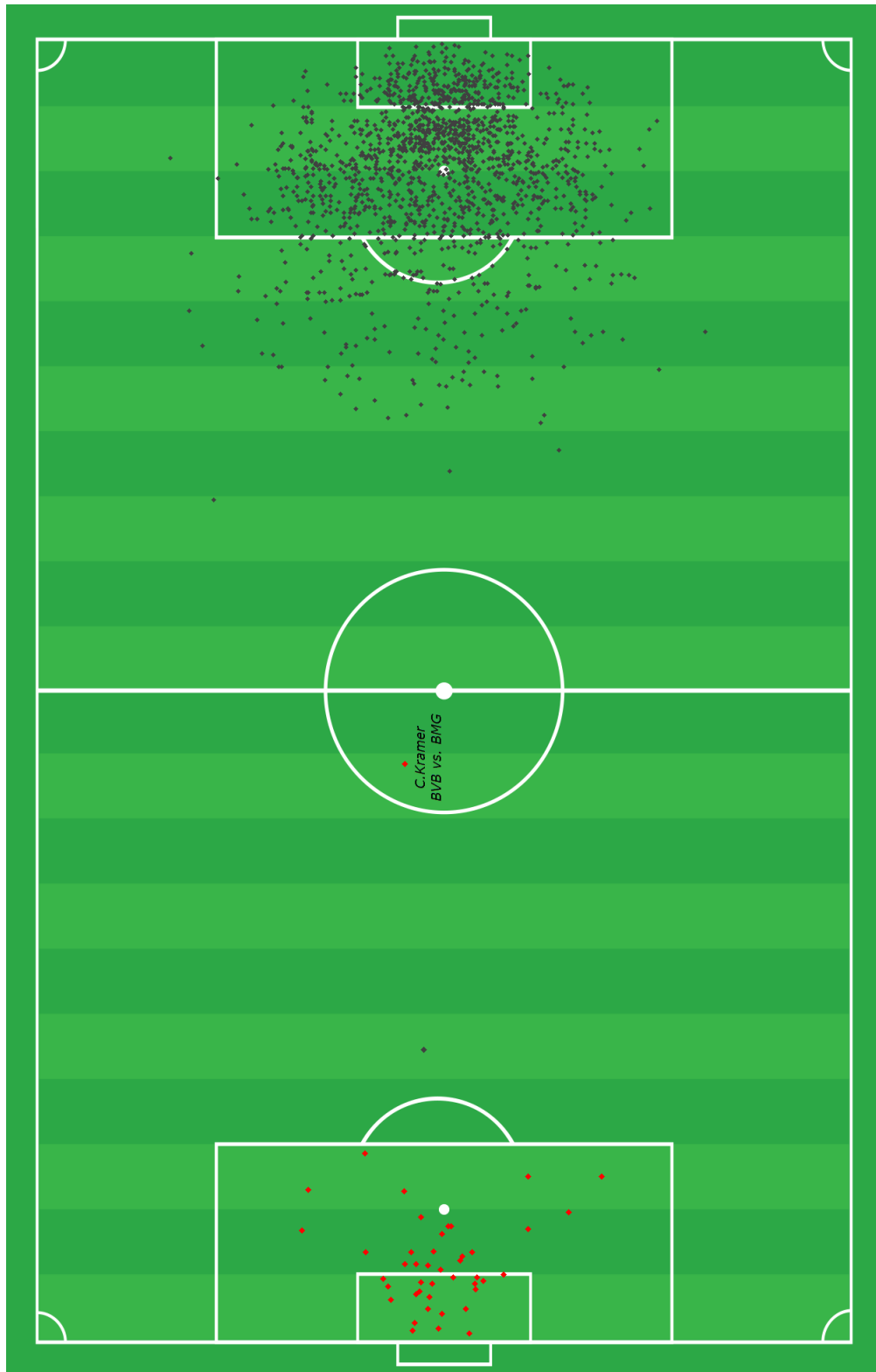


Abbildung 16: Ausschluss der Eigentore (rote Punkte)

## 4.2 Datenvorverarbeitung

Wie in den Grundlagen der Datenvorverarbeitung (vgl. Kapitel 2.2.2 auf S. 14) begründet, ist diese Phase von besonderer Bedeutung für die Güte der DM-Resultate. Es gilt, die Qualität der zuvor selektierten Zieldaten durch den Einsatz von geeigneten Verfahren nachhaltig zu verbessern und diese in einem für die DM-Methode passendem Format bereitzustellen. Dazu müssen im Folgenden die Daten (in Form der selektierten Schüsse) zunächst von Fehlern bereinigt (siehe Data Cleaning Kapitel 4.2.1), anschließend fehlerfrei mit den Daten aller anderen verfügbaren Spielen zusammengeführt (siehe Data Integration Kapitel 4.2.2 auf S. 54) und schließlich auf eine verwertbare Datenmenge reduziert werden (siehe Data Reduction Kapitel 4.2.3 auf S. 55).

### 4.2.1 Data Cleaning

Das Data Cleaning beschäftigt sich mit der durch fehlende, verrauschte und inkonsistente Daten (vgl. Kapitel 2.2.2.1 auf S. 17) auf tuenden Problematik. Diese werden nachfolgend näher untersucht und behandelt.

**Fehlende Daten** Das ein ganzes Event, wie in diesem Falle ein Schuss, überhaupt nicht erfasst wurde, ist sehr unwahrscheinlich, da Opta als marktführender Datenprovider großen Wert auf Akkuratess und Vollständigkeit der bereitgestellten Daten legt. Für eine exakte Überprüfung müssten über 90.000 Spielminuten ( $34 \text{ Spieltage} \cdot 3,5 \text{ Saisons} \cdot 9 \text{ Spiele pro Spieltag} \cdot 90 \text{ Minuten}$ ) händisch darauf geprüft werden, was sich aus zeitlichen Ressourcen nicht realisieren lässt. Fehlen „lediglich“ einzelne Attribute in einem Datensatz, wie beispielsweise die x-Koordinate des Schusses, können diese Datensätze auf unterschiedliche Weise behandelt werden (siehe Kapitel 2.2.2.1 auf S. 17). Ebenso könnte in diesem Fall das fehlende Attribut wieder manuell eingefügt werden, wodurch allerdings wieder ein zeitintensiver Vorgang entsteht. Die Verwendung von globalen Konstanten, Durchschnitts- oder Erwartungswerten als Ersatz für das fehlende Attribut würde aufgrund der Einzigartigkeit eines Schusses wiederum in einer Verzerrung der Realität enden. Infolgedessen wird solch ein Datensatz gänzlich ignoriert, da dieser vielmehr zu einer Verfälschung als zu einer Verbesserung des Modelles führt. Die Datensätze aller 15.000 verfügbaren Schüsse sind vollständig und nicht von fehlenden Daten bzw. Attributen betroffen. Sollte beispielsweise ein Qualifier für die Identifizierung eines Elfmeters fehlen, muss geprüft werden, ob die Positionsdaten des Schusses gleich denen des Elfmeterpunktes

sind und unmittelbar ein Foulspiel vorangegangen ist, um diesen Schussversuch anschließend manuell abgleichen zu können.<sup>193</sup> Solche Adaptionen führen allerdings zu einem zeitaufwendigen Vorgang, wenn vorangegangene Events zur Validierung mitbezogen werden müssen. Letztlich muss auf die Qualität der Daten vertraut und mögliche Fehlervarianzen akzeptiert werden.

**Verrauschte Daten und Ausreißer** Ausreißer bezeichnen Daten, die erheblich von den vorliegenden Daten abweichen. Ob solche Ausreißer folglich ausgeblendet, adaptiert oder im Originalzustand verwendet werden sollten, hängt dabei vom konkreten Data-Mining-Kontext ab. Abbildung 17 auf S. 53 (Eigentore sind ausgeschlossen) zeigt dazu rot-umkreist die Ausreißer unter den Torerfolgen. Diese heben sich deutlich von der Grundgesamtheit der gruppierten Torerfolge in der Nähe des gegnerischen Tores ab. Beispielsweise traf Moritz Stoppelkamp vom SC Paderborn in der Partie gegen Hannover 96 im Herbst 2014 mit seinem Schuss aus einer Distanz von 84 Metern, welcher bis heute einen Rekord in der deutschen Bundesligageschichte einnimmt.<sup>194</sup> Dieser seltene aber entscheidende Torerfolg demonstriert die Relevanz der Behandlung solcher Daten. Aus einer Entfernung von 84 Metern wird relativ selten bis überhaupt nicht auf das gegnerische Tor geschossen. Sollte jedoch, wie in diesem Fall, solch ein Versuch in einem Torerfolg resultieren, so grenzt die relative Häufigkeit<sup>195</sup> in diesem Bereich an die 100%, was wiederum für eine hohe Wahrscheinlichkeit für einen Torerfolg sprechen würde. Dies ist dadurch begründet, dass es nahe zu keine Schussversuche und damit auch keine Fehlversuche aus dieser Distanz gibt. Zur Erkennung solcher Ausreißer stehen, wie in Kapitel 2.2.2.1 auf S. 17 aufzeigt, einige Verfahren zur Verfügung, welche sich auf eindimensionale Datensätze einfach anwenden lassen. Durch die Zweidimensionalität des Koordinatensystems und der Tatsache, dass sich die Schussversuche beispielsweise nicht durch eine multiple Regressionsfunktion ausdrücken lassen (siehe Abbildung 17 auf S. 53), müssen die Ausreißer manuell identifiziert werden (*visuelles Clustering*), wobei das Ausmaß der deutlich abweichenden Torerfolge noch handhabbar ist. Die Entwicklung eines Algorithmus für die Erkennung solcher Ausreißer in der vorliegenden Datenmenge würde darüber hinaus den Rahmen dieser Arbeit übersteigen. Die Anpassung der Ausreißer an die umliegenden Daten führt nur dann zum Erfolg, wenn genügend Schussversuche aus diesem Bereich vorliegen. Ferner würde die Verwendung des Originalzustands zu einer Verfälschung führen, sodass diese Schüsse bei der Modellierung manuell ausgeschlossen werden müssen. Dazu stellt MATLAB innerhalb des CFT ein entsprechendes Werkzeug für die Entfernung von Ausreißern bereit.

<sup>193</sup> Dieser Fall trat insgesamt lediglich einmal ein.

<sup>194</sup> Vgl. DFB, Rekordtore im deutschen Fußball, 2014.

<sup>195</sup> Absolute Häufigkeit (Torerfolge) geteilt durch die Anzahl aller Objekte der Menge (alle Schussversuche).

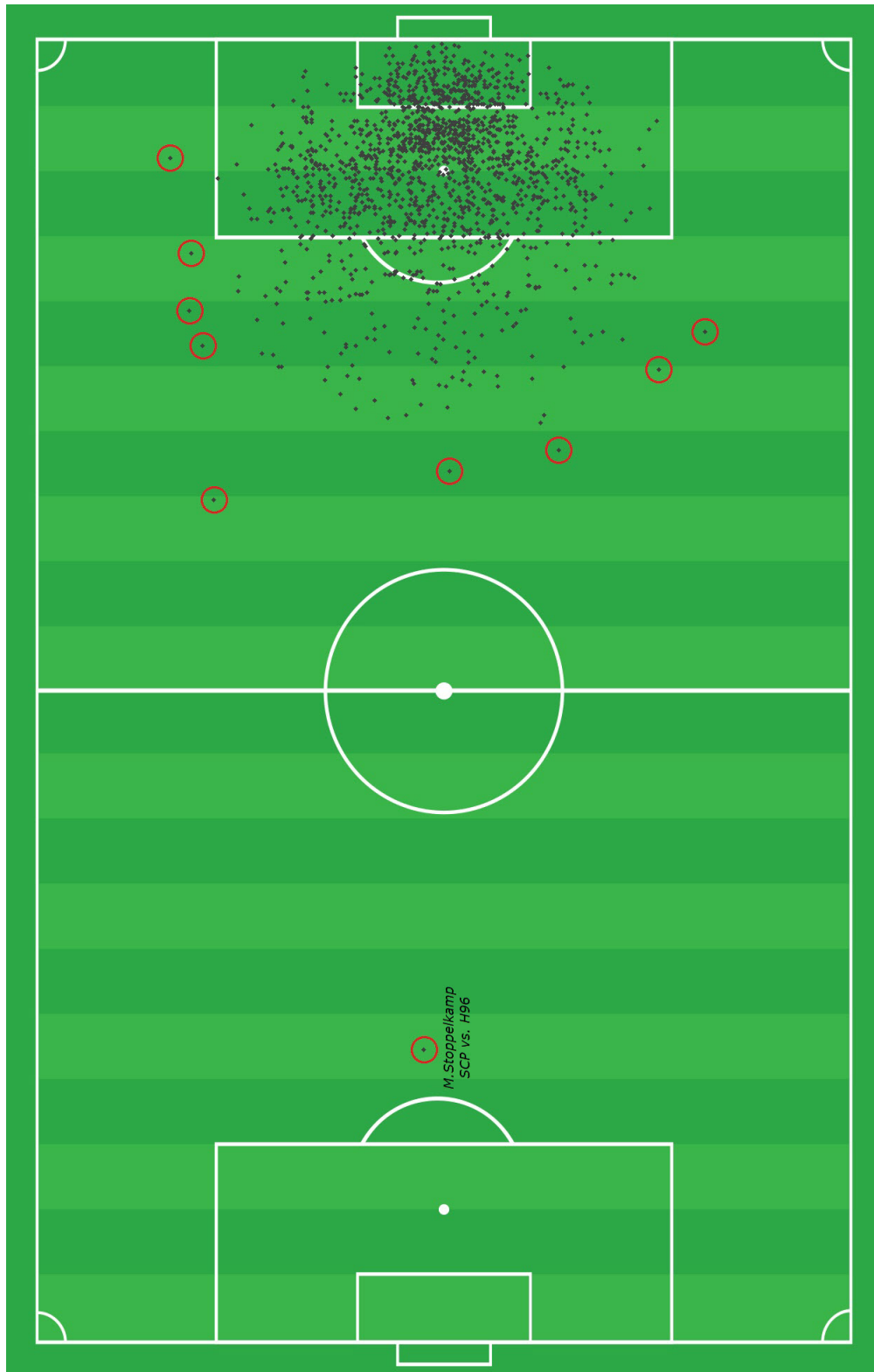


Abbildung 17: Darstellung der Ausreißer bei Torerfolgen

**Inkonsistente Daten** Datensätze bei denen Attribute außerhalb des Wertebereichs liegen, wie beispielsweise negative Koordinaten oder bei denen der Wert größer als 100 ist, können durch Löschen entfernt oder durch die Zuhilfenahme anderer Datensätze sinnvoll ersetzt werden. Dazu werden alle Schüsse auf konsistente Koordinaten geprüft und im Fehlerfall manuell behandelt, wobei lediglich bei zwei Schüssen dieser Fall eingetreten ist. Wurden die Koordinaten falsch erfasst, ein Qualifier inkorrekt Weise gesetzt bzw. nicht gesetzt, müssten aller Schüsse erneut geprüft werden, was wie erwähnt einen nicht realisierbaren Vorgang darstellt. In solchen Fällen kann die Konsistenz der Daten nicht festgestellt bzw. aufgedeckt werden, sodass vermeidliche Fehler toleriert werden müssen.

**Problem der weißen Linien** Im Rahmen dieser Arbeit wurde abseits der Aufgabestellung eine Problematik bei der Erkennung von Events, die direkt auf einer Linie stattfanden, eruiert. Anlass dazu gab die Visualisierung aller Torschüsse, wodurch ein Muster entlang der Spiellinien festgestellt wurde. Die im Anhang (siehe Abbildung 22 auf S. 65) Darstellung aller Pässe - über 700.000 - bestätigt die Annahme, dass entlang der Linien des Spielfeldes die Events ungenau erfasst werden. Dies ist dadurch begründet, dass die automatische Videoverarbeitung den weißen Ball auf der weißen Linie nur schlecht bis gar nicht erkennen kann. Infolgedessen müssen auch bei den Schüssen kleine, jedoch vorhandene Koordinatenabweichungen hingenommen werden.

### 4.2.2 Data Integration

In dieser Phase werden die selektierten und aufbereiteten Daten der einzelnen Spiele zu einer Datenquelle zusammengeführt. Bei der Konkatenation der Spiele muss auf ein einheitliches Format der Datensätze geachtet werden. Da alle von Opta bereitgestellten Spieldaten die gleiche Formatierung besitzen, hierzu zählen gleichnamige Attributnamen und -werte, treten keine Identifikationsprobleme von Entitäten oder Konflikte bei Attributswerten auf. Jedes Event ist genau einem Spiel zugeordnet und kann über eine eindeutige ID identifiziert werden, sodass Duplikate ausgeschlossen werden können.

### 4.2.3 Data Reduction

Um die Effizienz der Regressionsanalyse zu steigern und zugleich die Laufzeit zu verkürzen, muss die Datenmenge reduziert werden. Dazu werden die in Kapitel 2.2.2.3 auf S. 21 beschriebenen Techniken der Dimensionsreduktion verwendet. Dabei werden alle irrelevanten Attribute der Datensätze eliminiert und nur die für die Analyse interessanten Attribute – in Form der Koordinaten und ob der Schuss in einem Torerfolg resultierte – berücksichtigt. In Listing 1 auf S. 45 sind unter "\$" alle Informationen eines Schusses abgebildet, wobei folgende Metadaten aus dem Datensatz entfernt werden können:

- Die IDs des Events (`id` und `event_id`)
- Der Zeitpunkt des Events (`period_id`, `min` und `sec`)
- Der beteiligte Spieler und dessen Teamzugehörigkeit (`player_id` und `team_id`)
- Der Outcome ist bei Schüssen immer 1 (`outcome`)
- Weitere Metadaten (`timestamp` und `last_modified`)

Somit lässt sich die Datenmenge bereits auf die wesentlichen Attribute reduzieren, wodurch der Umfang der Daten für die Analyse deutlich abnimmt. Zuvor wurden alle Schüsse anhand der Anforderungen (vgl. Tabelle 1 auf S. 4) und den Qualifier (vgl. Tabelle 3 auf S. 47) ausgewählt, sodass letztere ebenfalls aus dem Datensatz eliminiert werden können. Aus den verbleibenden Attributen bilden sich Datensätze (Schüsse) – angeordnet in einem *Array* – mit folgender Struktur:

---

```
1  [  
2    {  
3      "type_id": "16",  
4      "x": "95.0",  
5      "y": "43.5"  
6    },  
7    {  
8      "type_id": "13",  
9      "x": "89.2",  
10     "y": "75.9"  
11   },  
12   . . .  
13 ]
```

---

Listing 2: Struktur der Daten nach der Reduzierung

## 4.3 Datentransformation

Die Daten – in Form von Torschüssen – wurden zuvor selektiert, bereinigt und anschließend auf eine relevante Zielmenge reduziert. In dieser Phase müssen diese Daten in eine adaptierte Form für die anschließende Regressionsanalyse transformiert werden, wozu einige der in Kapitel 4.3 vorgestellten Methoden verwendet werden. Nachfolgend werden allgemeine Transformationen (vgl. Kapitel 4.3.1), wie die des Koordinatensystems, sowie speziell für die Betrachtungswinkel (vgl. Kapitel 4.3.3 auf S. 59 und Kapitel 4.3.2 auf S. 58) ausgerichteten Transformationen durchgeführt, um ein passendes Format für die Verarbeitung in MATLAB bereitstellen zu können.

### 4.3.1 Allgemeine Transformationen

Im Folgenden werden die allgemeinen Transformationen betrachtet, welche sowohl für die Betrachtung des Winkels und der Distanz zum Tor als auch in Bezug auf die Koordinaten des Schusses notwendig sind.

**Unterscheidung zwischen Tor und Nicht-Tor** Nach der Datenreduzierung liegen die Datensätze wie im Listing 2 auf S. 55 abgebildeten Format vor, wobei die `type_id` Aufschluss über das Resultat des Schusses gibt. Aus der Tabelle 2 auf S. 47 lässt sich entnehmen, dass die Type-IDs 13, 14 und 15 einen Schuss ohne Torerfolg widerspiegeln, sowie die Type-ID 16 einen Torerfolg. Demzufolge wird das Attribut `type_id` durch eine *Codierung* in das Attribut `goal` transformiert, welches die numerischen Werte 0 für **Nicht-Tor** und 1 für **Tor** annimmt. Listing 3 auf S. 57 zeigt dazu exemplarisch das adaptierte Format der Schüsse aus Listing 2 auf S. 55.

**Transformation des Koordinatensystems** Aus Anforderung 6 (vgl. Tabelle 1 auf S. 4) geht hervor, dass der Ursprungspunkt  $P(0|0)$  der Funktion in der Mitte der gegnerischen Torauslinie liegen muss, sodass eine Transformation des Koordinatensystems nötig ist. Der Ursprungspunkt  $P(0|0)$  liegt im vorgegebenen Koordinatensystem von Opta (siehe Abbildung 15 auf S. 46) in der eigenen Spielhälfte (links) auf dem unteren Eckstoßpunkt und muss, wie in Abbildung 18 auf S. 57 dargestellt, verschoben werden. Zusätzlich werden die Achsen umgekehrt, wodurch sich folgende Transformationsregeln der x- und y-Koordinate ergibt:

$$\begin{aligned}x_{neu} &\Rightarrow y - 50 \\y_{neu} &\Rightarrow |x - 100|\end{aligned}$$

Diese Transformationsregeln werden so angewendet, dass die jeweiligen x- und y-Werte in numerischer Form aktualisiert vorliegen. Da beide Koordinatenwerte gleich skaliert sind, ist keine *Normalisierung* der Attribute notwendig.

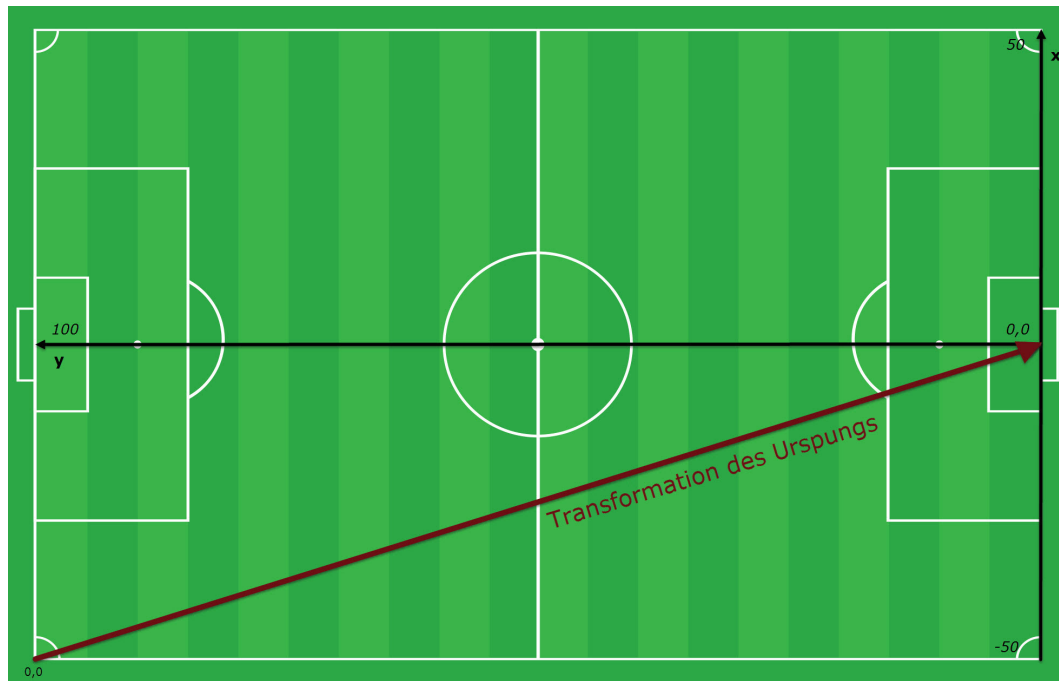


Abbildung 18: Transformation des Koordinatensystems

Folglich ergibt sich nach diesen Transformationen eine neue Struktur der Datensätze, die in Bezug auf die Daten aus Listing 2 auf S. 55 im Listing 3 dargestellt sind.

```

1  [
2    {
3      "goal": 1,
4      "x": -6.5,
5      "y": 5
6    },
7    {
8      "goal": 0,
9      "x": 25.9,
10     "y": 10.8,
11   },
12   ...
13 ]

```

Listing 3: Struktur der Daten nach der allgemeinen Transformation



### 4.3.2 Transformation für Koordinatenbetrachtung

Um die Laufzeit der Regressionsanalyse (vgl. Kapitel 4.4.1 auf S. 61) innerhalb von MATLAB zu reduzieren, gilt es die Datenmenge zu komprimieren. Die Datenaggregation ist hierbei jedoch auch aus inhaltlichen Gründen sinnvoll, da die Schüsse auf einer zu detaillierten Ebene vorliegen (jeder Schussversuch wird einzeln betrachtet). Hierzu wird das Spielfeld zunächst in Raster der Größe 1x1 (Maßstab der Koordinatenwerte) eingeteilt, wie in Abbildung 19 verdeutlicht. Diese Einteilung bietet die Möglichkeit eine komprimierte und gleich gewichtete Aussagekraft über die Wahrscheinlichkeit eines Torerfolges innerhalb jedes Quadrats zu treffen.

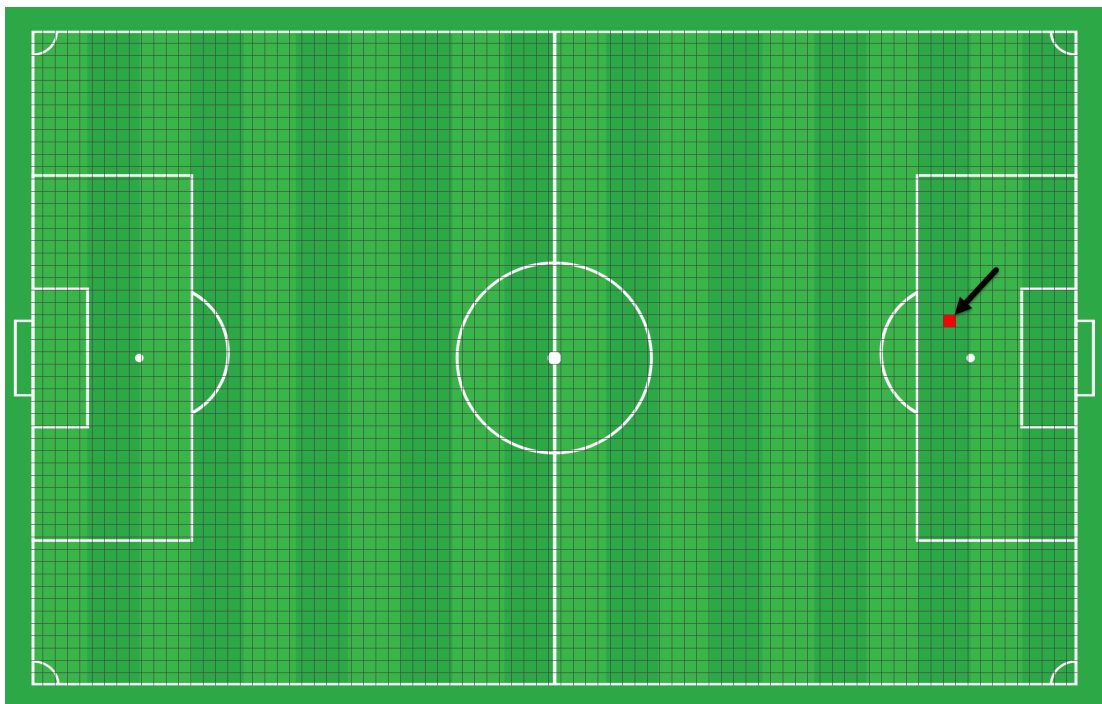


Abbildung 19: Einteilung des Spielfeldes in Raster

Betrachtet man dazu alle Schussversuche die im rot markierten Quadrat liegen, so kann durch die Gleichung 11, mit Hilfe der relativen Häufigkeit, die Wahrscheinlichkeit  $p$  ermittelt werden. Sollten keine Schüsse innerhalb eines Quadrats vorliegen, wird automatisch die Wahrscheinlichkeit 0 angenommen.

$$p = \frac{\text{Anzahl der Tore im Quadrat}}{\text{Gesamtzahl der Schussversuche im Quadrat}} \quad (11)$$

Nachdem alle Schussversuche eingeteilt und die einzelnen relativen Häufigkeiten der Quadrate berechnet wurden, kann aus der Tabelle 4 die Wahrscheinlichkeit für jede beliebige Kombination aus x- und y-Koordinate ( $p_{xy}$ ) abgelesen werden.<sup>196</sup> Dabei gilt für die x-Koordinate der Wertebereich  $-50 \leq m \leq 50$  und für die y-Koordinate  $1 \leq k \leq 100$ . Für die Spiegelung (vgl. Anforderung 7 in Tabelle 1 auf S. 4) des Spielfeldes entlang der y-Achse wird die durchschnittliche Wahrscheinlichkeit aus den gegenüberliegenden Quadranten ( $Q(x, y)$ ) herangezogen. Beispielsweise wird hierzu die Wahrscheinlichkeit 1 aus  $Q(-5, 10)$  mit der Wahrscheinlichkeit 0 aus  $Q(5, 10)$  summiert und anschließend durch zwei geteilt, um den Mittelwert 0.5 zu erhalten.

Datenaggregation Koordinaten					
Koordinaten	$x_1$	$x_2$	$x_3$	...	$x_m$
$y_1$	$p_{11}$	$p_{12}$	$p_{13}$	...	$p_{1m}$
$y_2$	$p_{21}$	$p_{22}$	$p_{23}$	...	$p_{2m}$
$y_3$	$p_{31}$	$p_{32}$	$p_{33}$	...	$p_{3m}$
...	...	...	...	...	...
$y_k$	$p_{k1}$	$p_{k2}$	$p_{k3}$	...	$p_{km}$

Tabelle 4: Datenaggregation für die Koordiantenbetrachtung

### 4.3.3 Transformation für Winkel- und Distanzbetrachtung

Für die Betrachtung der Wahrscheinlichkeit in Abhängigkeit des Winkels und der Distanz des Schusses<sup>197</sup> zum Tor, müssen zunächst die Koordinaten durch mathematische Berechnungen transformiert werden. Die Distanz kann dabei mit Hilfe des *Satz des Pythagoras* – in umgestellter Form der Gleichung 12 – ermittelt werden. Die x- und y-Koordinaten, sowie die Distanz bilden das in Abbildung 20 auf S. 60 dargestellte rechtwinkligen Dreiecks.

$$Distanz = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (12)$$

Zur Berechnung des Winkels wird zunächst festgelegt, dass ein Schuss aus zentraler Position zum Tor den Winkel  $0^\circ$  und ein Schuss von der Torauslinie einen Winkel von  $90^\circ$  widerspiegelt. Abbildung 20 auf S. 60 verdeutlicht diese Annahme, wobei

<sup>196</sup> Die Koordinatenwerte werden jeweils aufgerundet.

<sup>197</sup> Es wird der Punkt vom dem der Schuss ausgeht genommen.

es keine „negativen“ Winkel gibt, sodass immer der Betrag der x-Koordinate herangezogen wird. Somit werden beide Seiten des Spielfeldes automatisch gespiegelt und Anforderung 7 (vgl. Tabelle 1 auf S. 4) erfüllt. Durch die Anwendung des *Arktangens* in Gleichung 13 kann innerhalb des rechtwinkligen Dreiecks der Winkel von der Position des Schusses zum Tor berechnet werden.

$$\text{Winkel} = \arctan\left(\frac{|x|}{y}\right) \quad (13)$$

Die Abbildung 20 verdeutlicht diese Berechnungen nochmals anhand einer Skizze mit der eingezeichneten Distanz und Winkel des Schussversuches (rotes Kreuz).

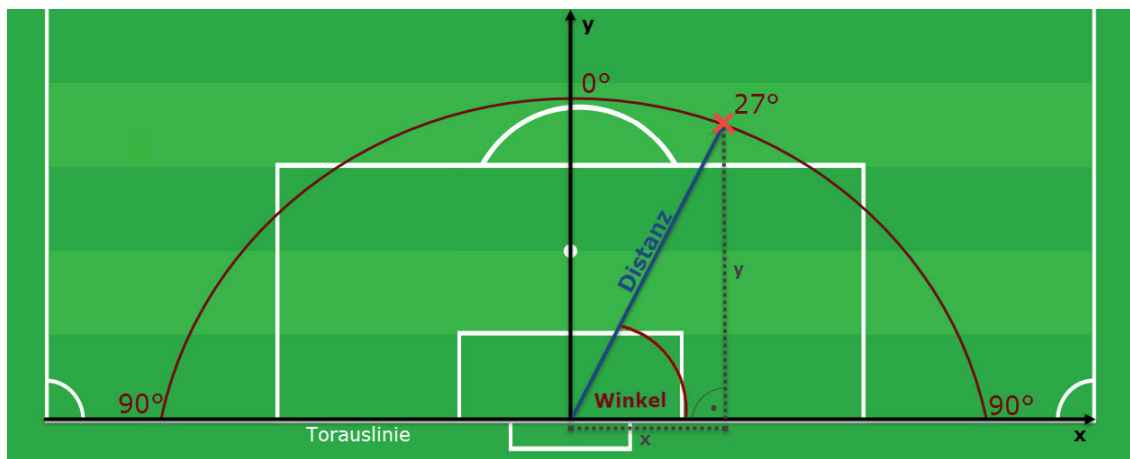


Abbildung 20: Berechnung der Distanz und des Winkels

Das Listing 4 zeigt hierzu die resultierende Struktur der Daten nach der Transformation der Koordinaten in die Winkel- und Distanzwerte anhand der Schüsse aus Listing 3 auf S. 57.

```

1  [
2    {
3      "goal": 1,
4      "angle": 52.4,
5      "distance": 8.2
6    },
7    {
8      "goal": 0,
9      "angle": 67.4,
```

```

10     "distance": 28.1,
11   },
12   ...
13 ]

```

Listing 4: Struktur der Daten für die Winkel- und Distanzbetrachtung

Wie bei der zuvor dargestellten Rastereinteilung der Koordinaten, werden auch hier die Attribute *Distanz* (mit  $1 \leq m \leq 100$ ) und *Winkel* (mit  $0 \leq k \leq 90$ ) in Intervalle der Größe 1 eingeteilt und die Schussversuche in diese Gruppen eingeordnet. Winkel- und Distanzwert werden wie die Koordinaten zuvor dabei immer aufgerundet. Anschließend wird für jede Gruppierung mit Hilfe der relativen Häufigkeit die Wahrscheinlichkeit  $p$  ermittelt, in dem die Anzahl der Schüsse mit resultierendem Torerfolg durch die Gesamtzahl der Schussversuche geteilt wird (vgl. Gleichung 11 auf S. 58). Folglich kann für jede Kombination der Attributwerte aus Distanz und Winkel eine Wahrscheinlichkeit ( $p_{wd}$ ) bestimmt werden, die aus Tabelle 5 abgelesen werden kann. Die Schüsse aus Listing 4 auf S. 60 würden dementsprechend in die Kombinationen  $p_{53,9}$  bzw.  $p_{68,29}$  eingruppiert werden.

Datenaggregation Winkel und Distanz					
Winkel/Distanz	$d_1$	$d_2$	$d_3$	...	$d_m$
$w_1$	$p_{11}$	$p_{12}$	$p_{13}$	...	$p_{1m}$
$w_2$	$p_{21}$	$p_{22}$	$p_{23}$	...	$p_{2m}$
$w_3$	$p_{31}$	$p_{32}$	$p_{33}$	...	$p_{3m}$
...	...	...	...	...	...
$w_k$	$p_{k1}$	$p_{k2}$	$p_{k3}$	...	$p_{km}$

Tabelle 5: Datenaggregation für die Winkel- und Distanzbetrachtung

## 4.4 Modellierung der Funktion

### 4.4.1 Betrachtung der Koordinaten

### 4.4.2 Betrachtung des Winkels- und der Distanz

## 4.5 Interpretation der Ergebnisse

# **5 Zusammenfassung**

## **5.1 Fazit**

## 5.2 Ausblick

# A Opta

```
<Games timestamp="2015-09-26T20:06:31">
  <Game id="810481" away_team_id="157" away_team_name="Borussia Dortmund" competition_id="22" competition_name="German Bundesliga"
    <Event id="1573203035" event_id="1" type_id="34" period_id="16" min="0" sec="0" team_id="157" outcome="1" x="0.0" y="0.0" time="0"
      <Q id="997227314" qualifier_id="194" value="38392" />
      <Q id="1792806832" qualifier_id="130" value="4" />
      <Q id="1959500357" qualifier_id="59" value="38, 28, 29, 33, 25, 15, 27, 23, 17, 7, 11, 1, 6, 8, 9, 10, 20, 26" />
      <Q id="1109540647" qualifier_id="44" value="1, 2, 2, 3, 2, 2, 3, 3, 4, 4, 4, 5, 5, 5, 5, 5, 5" />
      <Q id="642422841" qualifier_id="197" value="74" />
      <Q id="103615391" qualifier_id="227" value="0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0" />
      <Q id="1627062592" qualifier_id="131" value="1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 0, 0, 0, 0, 0, 0" />
      <Q id="1721477929" qualifier_id="30" value="45281, 111251, 52516, 179411, 39476, 38392, 19560, 83090, 54694, 118876, 50523,
    </Event>
    <Event id="2047628700" event_id="1" type_id="34" period_id="16" min="0" sec="0" team_id="1902" outcome="1" x="0.0" y="0.0" time="0"
      <Q id="814431370" qualifier_id="227" value="0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0" />
      <Q id="815294611" qualifier_id="197" value="2153" />
      <Q id="1839117835" qualifier_id="131" value="1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 0, 0, 0, 0, 0, 0" />
      <Q id="1089596543" qualifier_id="130" value="2" />
      <Q id="4574233" qualifier_id="194" value="37606" />
      <Q id="472485919" qualifier_id="44" value="1, 2, 2, 3, 2, 2, 3, 3, 4, 4, 3, 5, 5, 5, 5, 5, 5" />
      <Q id="2076308602" qualifier_id="30" value="73140, 88169, 160540, 37606, 161450, 69147, 51184, 19766, 105835, 85370, 90514,
      <Q id="1893088171" qualifier_id="59" value="1, 3, 15, 16, 25, 4, 6, 8, 9, 31, 10, 5, 12, 13, 17, 19, 20, 22" />
    </Event>
    <Event id="590848314" event_id="53" type_id="32" period_id="1" min="0" sec="0" team_id="157" outcome="1" x="0.0" y="0.0" time="0"
      <Q id="1604108621" qualifier_id="127" value="Left to Right" />
    </Event>
    <Event id="986265508" event_id="54" type_id="32" period_id="1" min="0" sec="0" team_id="1902" outcome="1" x="0.0" y="0.0" time="0"
      <Q id="1929434758" qualifier_id="127" value="Right to Left" />
    </Event>
    <Event id="1468915720" event_id="55" type_id="43" period_id="1" min="0" sec="0" player_id="105835" team_id="1902" outcome="1"
      <Q id="1735340735" qualifier_id="144" value="7" />
      <Q id="2078224733" qualifier_id="56" value="Center" />
      <Q id="807206474" qualifier_id="307" value="102" />
      <Q id="5923517" qualifier_id="285" value="0" />
    </Event>
```

Abbildung 21: Auszug aus der XML-Datei mit den Events

Die Abbildung 21 zeigt einen Ausschnitt aus der XML-Datei in der alle Events eines Spiels aufzeichnet sind. Im oberen Teil sind die Mannschaftsaufstellungen zu sehen, wobei jeder Spieler eine eigene ID besitzt. Darunter folgt gelb markiert zum Anpfiff der Partie der erste Pass mit dem *Outcome* 1, welcher einen erfolgreichen Pass identifiziert.



Abbildung 22: Problem der weißen Linien



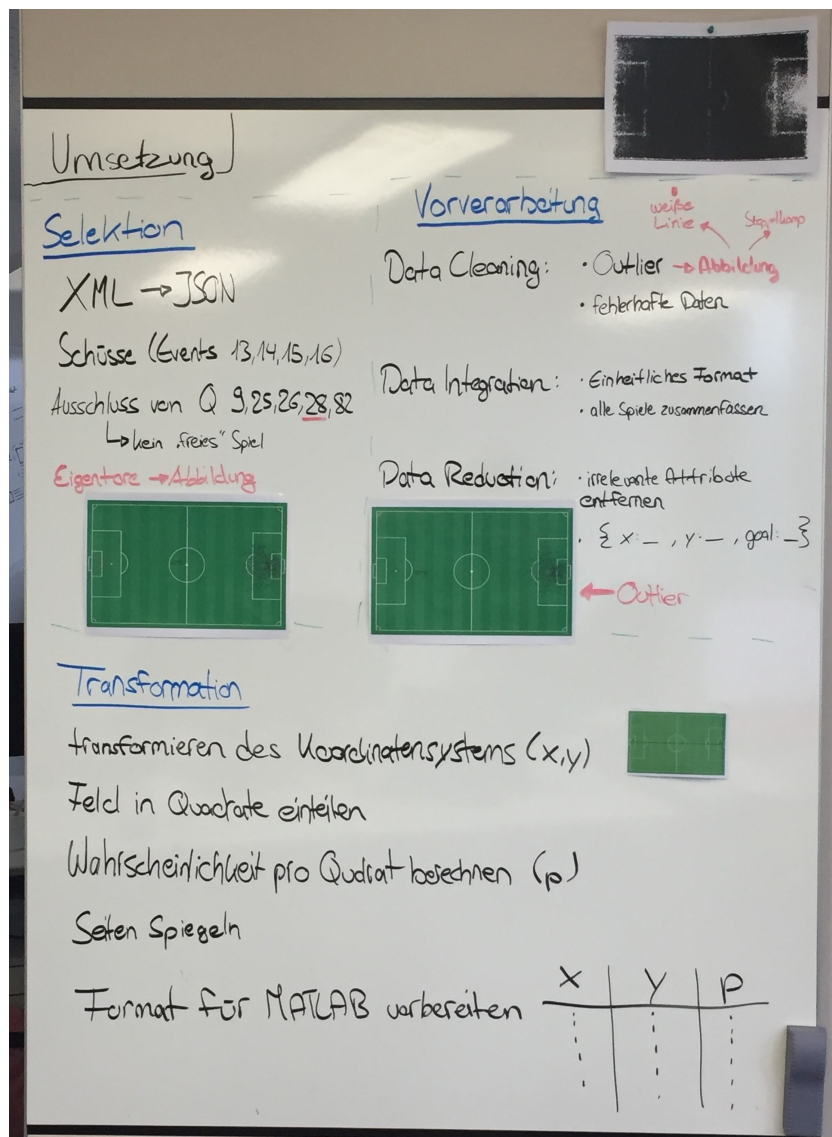


Abbildung 23: Überblick Umsetzung (wird wieder rausgenommen)

## B MatLab Code

# Glossar

## **Big Data**

Definition folgt → S. 7

## **Clustering**

Definition folgt → S. 19

## **Cross Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM)**

Definition folgt → S. 9, 10, 12

## **Data Mining (DM)**

Definition folgt → S. 6, 9, 14, 22, 25, 51

## **Internet of Things (IoT)**

Definition folgt → S. 8

## **K-Nearest Neighbours (KNN)**

Definition folgt → S. 18, 22

## **Knowledge Discovery in Data (KDD)**

Definition folgt → S. 9, 12, 13, 24, 28

## **Künstliche Intelligenz**

Definition folgt → S. 6

## **Machine Learning (ML)**

Definition folgt → S. 5, 25, 40

## **Methode der kleinsten Quadrate (MDKQ)**

Definition folgt → S. 30

## **Neuronale Netze (NN)**

Definition folgt → S. 25

## **Online Analytical Processing (OLAP)**

Definition folgt → S. 13

**Regression**

Definition folgt → S. 18, 29

**Structured Query Language (SQL)**

Definition folgt → S. 13

**Super Vector Machine (SVM)**

Definition folgt → S. 25

# Literaturverzeichnis

- Adhikari, Animesh/Adhikari, Jhimli* [Advances in Knowledge Discovery in Databases, 2015]: Advances in Knowledge Discovery in Databases. Band 79, Intelligent Systems Reference Library. Cham and s.l.: Springer International Publishing, 2015, ISBN 9783319132112
- Aggarwal, Charu C.* [Data mining: The textbook, 2015]: Data mining: The textbook. Cham: Springer, 2015, ISBN 978-3-319-14142-8
- Anderberg, Michael R.* [Cluster Analysis for Applications, 2014]: Cluster Analysis for Applications: Probability and Mathematical Statistics: A Series of Monographs and Textbooks. Band 19, Probability and mathematical statistics. Burlington: Elsevier Science, 2014, ISBN 0120576503
- Anderson, Chris/Sally, David* [The numbers game, 2014]: The numbers game: Why everything you know about football is wrong. [fully updated with new world cup chapter] Auflage. London u.a.: Penguin Books, 2014, ISBN 978-0-241-96362-3
- Chu, Wesley W.* [Data mining and knowledge discovery for big data, 2014]: Data mining and knowledge discovery for big data: Methodologies, challenge and opportunities. Band volume 1, Studies in big data. Heidelberg: Springer, 2014, ISBN 978-3-642-40837-3
- Cios, Krzysztof J.* [Data mining: A knowledge discovery approach, 2007]: Data mining: A knowledge discovery approach. New York and New York: Springer, 2007, ISBN 0387333339
- Cleff, Thomas* [Deskriptive Statistik und moderne Datenanalyse, 2008]: Deskriptive Statistik und moderne Datenanalyse: Eine computergestützte Einführung mit Excel, SPSS und STATA ; [Bachelor geeignet! Lehrbuch]. 1. Auflage. Wiesbaden: Gabler, 2008, ISBN 978-3-8349-0202-3
- Cleve, Jürgen/Lämmel, Uwe* [Data Mining, 2014]: Data Mining. [Elektroni-

- sche Ressource] Auflage. München: De Gruyter Oldenbourg, 2014, ISBN 9783486713916
- Daróczy, Gergely* [Mastering data analysis, 2015]: Mastering data analysis with R: Gain clear insights into your data and solve real-world data science problems with R - from data munging to modeling and visualization. Birmingham: Packt Publishing, 2015, Community experience distilled, ISBN 9781783982028
- DFB* [Rekordtore im deutschen Fußball, 2014]: Stoppelkamp und wer noch? Rekordtore im deutschen Fußball. 2014 (URL: <http://www.dfb.de/news/detail/stoppelkamp-und-wer-noch-rekordtore-im-deutschen-profifussball-106319/>) – Zugriff am 30.01.2017
- Fahrmeir, Ludwig et al.* [Statistik: Der Weg zur Datenanalyse, 2007]: Statistik: Der Weg zur Datenanalyse. 6. Auflage. Berlin: Springer, 2007, Springer-Lehrbuch, ISBN 978-3-540-69739-8
- Fasel, Daniel/Meier, Andreas (Hrsg.)* [Big Data: Grundlagen, Systeme und Nutzungspotenziale, 2016]: Big Data: Grundlagen, Systeme und Nutzungspotenziale. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2016, Edition HMD, ISBN 9783658115883
- Fayyad, Usama/Piatetsky-Shapiro, Gregory/Smyth, Padhraic* [From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases, 1996]: From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. AI Magazine, 17 1996, Nr. 3, 37, ISSN 0738-4602
- F.A.Z.* [, 2014]: Das Eigentor des Jahres. 2014 (URL: <http://www.faz.net/aktuell/sport/fussball/bundesliga/kramer-schiesst-das-eigentor-des-jahres-13258164.html>) – Zugriff am 30.01.2017
- García, Salvador/Luengo, Julián/Herrera, Francisco* [Data preprocessing in data mining, 2015]: Data preprocessing in data mining. Band 72, Intelligent Systems Reference Library. Cham: Springer, 2015, ISBN 978-3-319-10247-4
- Gunjan Kumar* [Machine Learning for Soccer Analytics, ]: Machine Learning for Soccer Analytics. (URL: <https://www.researchgate.net/publication/257048220?channel=doi&linkId=0c96052441dfabfc87000000&showFulltext=true>) – Zugriff am 09.01.2017
- Günther, Marco/Velten, Kai* [Mathematische Modellbildung und Simulation, 2014]: Mathematische Modellbildung und Simulation: Eine Einführung für Wissenschaftler, Ingenieure und Ökonomen. Weinheim: Wiley-VCH-Verl., 2014, Lehrbuch Physik, ISBN 978-3-527-41217-4

- Gupta, Abhishek K.* [Numerical Methods using MATLAB, 2014]: Numerical Methods using MATLAB. Berkeley CA: Apress, 2014, ISBN 978–1–4842–0154–1
- Han, Jiawei/Kamber, Micheline/Pei, Jian* [Data mining: Concepts and techniques, 2012]: Data mining: Concepts and techniques. 3. Auflage. Amsterdam: Elsevier/Morgan Kaufmann, 2012, The Morgan Kaufmann series in data management systems, ISBN 978–0–12–381479–1
- Hastie, Trevor J./Tibshirani, Robert J./Friedman, Jerome H.* [The elements of statistical learning, 2016]: The elements of statistical learning: Data mining, inference, and prediction. 2. Auflage. New York, NY: Springer, 2016, Springer series in statistics, ISBN 9780387848570
- Heuer, A./Müller, C./Rubner, O.* [Soccer: Is scoring goals a predictable Poissonian process?, 2010]: Soccer: Is scoring goals a predictable Poissonian process? EPL (Europhysics Letters), 89 2010, Nr. 3, 38007 <URL: [https://www.researchgate.net/publication/45899136\\_Soccer\\_Is\\_scoring\\_goals\\_a\\_predictable\\_Poissonian\\_process](https://www.researchgate.net/publication/45899136_Soccer_Is_scoring_goals_a_predictable_Poissonian_process)>, ISSN 0295–5075
- Mariscal, Gonzalo/Marbán, Óscar/Fernández, Covadonga* [Survey of data mining and knowledge discovery process models, 2010]: A survey of data mining and knowledge discovery process models and methodologies. The Knowledge Engineering Review, 25 2010, Nr. 02, 137–166, ISSN 0269–8889
- Michael Caley* [, 2017]: Bringing baseball stat nerdiness to football. 2017 <URL: <https://mcofa.wordpress.com/>> – Zugriff am 27.01.2017
- Nils Nordmann* [Expected Goals: Das angesagteste Statistikmodell im Profifußball, 2016]: Expected Goals: Das angesagteste Statistikmodell im Profifußball. 2016 <URL: <https://www.welt.de/sport/fussball/article151870094/Das-angesagteste-Statistikmodell-im-Profifussball.html>> – Zugriff am 20.01.2017
- Opta-Sports* [The collection process, 2017a]: The collection process. 2017 <URL: <http://www.optasports.com/about/how-we-do-it/the-data-collection-process.aspx>> – Zugriff am 19.01.2017
- Opta-Sports* [F24 Appendices, 2017b]: F24 Appendices: Elements/attribute/value descriptions. 2017 <URL: <http://www.optasports.com/praxis/documentation/football-feed-appendices/f24-appendices.aspx>> – Zugriff am 19.01.2017

- Osei-Bryson, Kweku-Muata/Barclay, Corlane (Hrsg.)* [Knowledge discovery process and methods, 2015]: Knowledge discovery process and methods to enhance organizational performance. 2015, ISBN 9781336194304
- Philipp Ertl* [Expected Goals: Welche Teams sind am effizientesten?, 2016]: Expected Goals: Welche Teams sind am effizientesten? 2016  $\langle$ URL: <http://www.skysportaustria.at/bundesliga-at/expected-goals-welche-teams-sind-am-effizientesten/> $\rangle$  – Zugriff am 26.01.2017
- Philipp Obloch* [OptaPro Neuheit: Expected Goals, 2015]: OptaPro – Neuheit: Expected Goals. 2015  $\langle$ URL: <http://www.optasportspro.com/de/ueberuns/optapro-blog/posts/2015/blog-optapro-%E2%80%93-neuheit-expected-goals/> $\rangle$  – Zugriff am 26.01.2017
- Pietruszka, Wolf Dieter* [MATLAB in der Ingenieurpraxis, 2014]: MATLAB® und Simulink® in der Ingenieurpraxis: Modellbildung, Berechnung und Simulation. 4. Auflage. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014, ISBN 978-3-658-06420-4
- Rein, Robert/Memmert, Daniel* [Big data and tactical analysis in elite soccer, 2016]: Big data and tactical analysis in elite soccer: future challenges and opportunities for sports science. SpringerPlus, 5 2016, Nr. 1, 1410
- Runkler, Thomas A.* [Data Mining: Modelle und Algorithmen, 2015]: Data Mining: Modelle und Algorithmen intelligenter Datenanalyse. 2. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015, Computational Intelligence, ISBN 978-3-8348-2171-3
- Schimek, Michael G. (Hrsg.)* [Smoothing and regression, 2000]: Smoothing and regression: Approaches, computation, and application. New York NY u.a.: Wiley, 2000, Wiley series in probability and statistics : Applied probability and statistics section, ISBN 0-471-17946-9
- Schumaker, Robert P./Solieman, Osama K./Chen, Hsinchun* [Sports Data Mining, 2010]: Sports Data Mining. Band 26, Integrated Series in Information Systems. 1. Auflage. Boston MA: Springer Science+Business Media LLC, 2010, ISBN 978-1-4419-6730-5
- Shardt, Yuri A.W.* [Statistics for chemical and process engineers, 2015]: Statistics for chemical and process engineers: A modern approach. 2015, ISBN 978-3-319-21509-9



- Shi, Yong et al.* [Intelligent knowledge, 2015]: Intelligent knowledge: A study beyond data mining. s.l.: Springer-Verlag, 2015, SpringerBriefs in Business
- Studenmund, Arnold H.* [Using econometrics: A practical guide, 2014]: Using econometrics: A practical guide. Pearson new international ed. of 6th rev. ed. Auflage. Boston Mass. u.a.: Pearson, 2014, ISBN 978-1-29202-127-0
- Sumpter, David* [Soccermatics, 2016]: Soccermatics: Mathematical adventures in the beautiful game. London: Bloomsbury Sigma, 2016, ISBN 1472924134
- Witten, Ian H./Frank, Eibe/Hall, Mark A.* [Data mining: machine learning and techniques, 2011]: Data mining: Practical machine learning tools and techniques. 3. Auflage. San Francisco, Calif.: Kaufmann, 2011, The Morgan Kaufmann series in data management systems, ISBN 978-0-12-374856-0

# Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere hiermit

- dass ich meine Bachelorarbeit mit dem Thema:  
**Modellierung einer Funktion zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit  
eines Torerfolges im Fußball**  
selbstständig verfasst und
- keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.
- Ich versichere zudem, dass die eingereichte elektronische Fassung mit der gedruckten Fassung übereinstimmt.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Ort, Datum

Unterschrift