

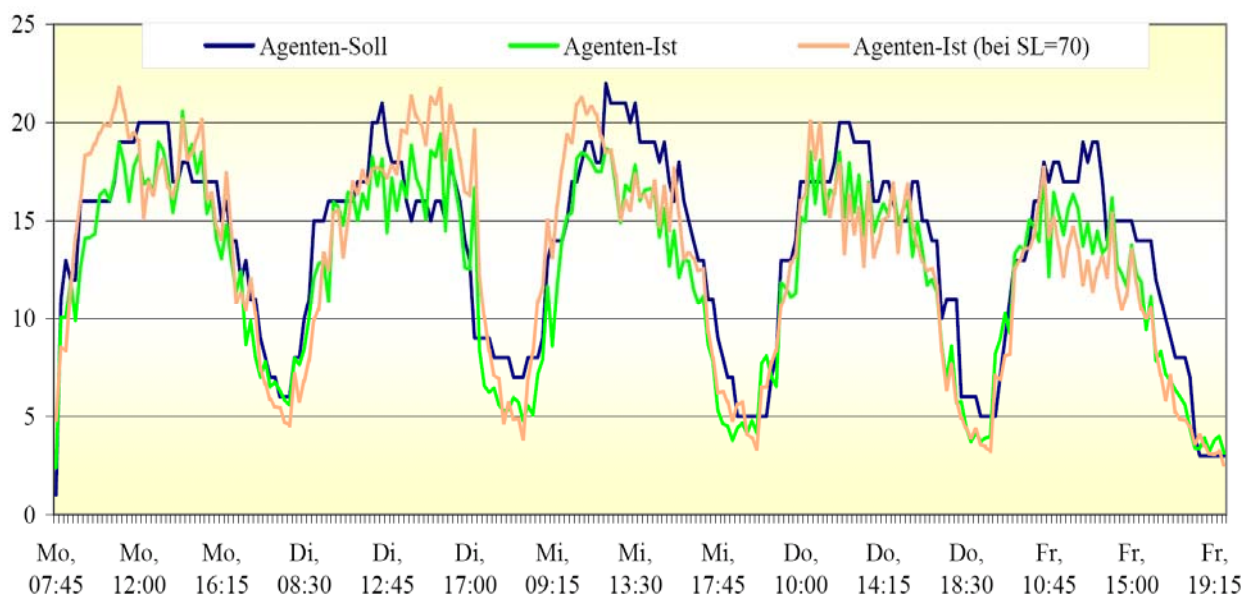
# IWI Diskussionsbeiträge # 22 (5. Februar 2008)<sup>1</sup>



ISSN 1612-3646

## Personaleinsatzplanung im Echtzeitbetrieb in Call Centern mit Künstlichen Neuronalen Netzen

Halyna Zakhariya<sup>2</sup>, Frank Köller<sup>3</sup> und Michael H. Breitner<sup>4</sup>



<sup>1</sup> Kopien oder eine PDF-Datei sind auf Anfrage erhältlich: Institut für Wirtschaftsinformatik, Leibniz Universität Hannover, Königsworther Platz 1, 30167 Hannover ([www.iwi.uni-hannover.de](http://www.iwi.uni-hannover.de)).

<sup>2</sup> Diplom-Ökonomin und externe Doktorandin, Niedersächsisches Hochschulkompetenzzentrum für SAP (CCC), Welfengarten 1 (PF 114), 30167 Hannover ([zakhariya@ccc.uni-hannover.de](mailto:zakhariya@ccc.uni-hannover.de)).

<sup>3</sup> Dr. rer. pol, Diplom-Technomathematiker, bhn Dienstleistungs GmbH & Co.KG, Hans-Lenze-Straße 1, 31855 Aerzen/Groß Berkel ([koeller.frank@bhn-services.com](mailto:koeller.frank@bhn-services.com)).

<sup>4</sup> Professor für Wirtschaftsinformatik und Betriebswirtschaftslehre und Direktor des Instituts für Wirtschaftsinformatik ([breitner@iwi.uni-hannover.de](mailto:breitner@iwi.uni-hannover.de)).

**Inhaltsverzeichnis**

	Seite
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Call Center .....</b>	<b>2</b>
<b>3. Künstliche neuronale Netze .....</b>	<b>4</b>
<b>4. Funktionsapproximation mit FAUN.....</b>	<b>7</b>
4.1. Datenaufbereitung .....	7
4.2. FAUN-Training .....	12
4.3. Fehleranalyse .....	13
4.4. Grafische Darstellung der Ergebnisse .....	16
<b>5. Soll-Ist Vergleich des Agenten Einsatzes.....</b>	<b>20</b>
<b>6. Fazit und Ausblick.....</b>	<b>25</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>28</b>

## 1. Einleitung

Die sich ständig verändernden Märkte und Marktgegebenheiten, Innovationen im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie sowie die Erneuerung des allgemeinen Wertesystems in Verbindung mit einem weiter steigenden Wettbewerbsdruck auf die Unternehmen führen unmittelbar dazu, dass die letzteren kontinuierlich nach Lösungen suchen, um einzigartige und konkurrenzfähige Produkte zu gestalten und sie zu vermarkten. Hierbei haben die meisten Unternehmen erkannt, dass eine gute Produktdifferenzierung nur dann erreicht werden kann, wenn dem Kunden neben dem eigentlichen Produkt eine gesteigerte Servicequalität geboten wird, weshalb die Unternehmen dazu übergehen, Produkte und Dienstleistungen kombiniert anzubieten. Zufriedene Kunden werden daher zunehmend zu einem Qualitätsmerkmal von Unternehmen.<sup>1</sup>

Eine Verbindung zwischen Unternehmen und Kunden gestaltet sich für immer mehr Kunden mittels eines Kommunikationsmediums und nicht mehr im direkten Kontakt. Trotz der Vielfalt von Kommunikationsmöglichkeiten gehört das Telefon nach wie vor zu den begehrtesten Medien.<sup>2</sup> Das ist auch der Grund warum „immer mehr Firmen und Institutionen ...Call Center nicht mehr als Insellösung [sehen], sondern als integralen Bestandteil der gesamten Unternehmensorganisation für den Geschäftserfolg, für die Kundengewinnung, Kundenbindung und für die Verbesserung der Kundenloyalität“.<sup>3</sup>

Dass Call Center von immer mehr Unternehmen eingesetzt werden, zeigt die wachsende Anzahl dieser Organisationseinheiten oder eigenständigen Unternehmen in Deutschland. Einhergehend hat sich damit auch die Zahl der Arbeitsplätze stark positiv entwickelt.<sup>4</sup> An dieser Stelle ist vor dem Hintergrund der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen, die sich solcher Call Center bedienen, interessant, inwieweit ihre Arbeit effizient und effektiv geplant werden kann. Ein wichtiger Faktor für ihre Wirtschaftlichkeit ist daher eine optimierte Personaleinsatzplanung.

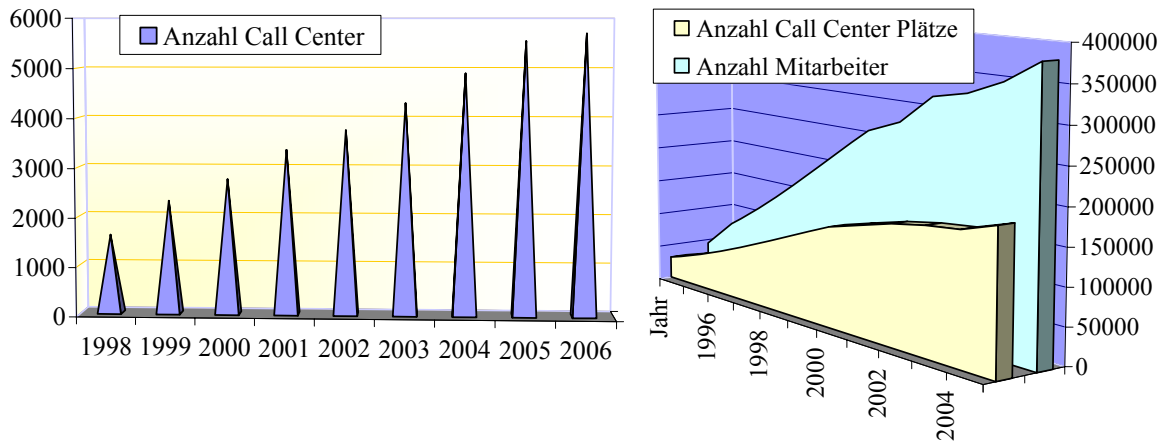
---

<sup>1</sup> Vgl. Kruse [1996, S. 13], Böse/Flieger [1999, S. 13f].

<sup>2</sup> Vgl. Cleveland/Mayben/Greff [1998, S. 7], Schneider/Emde/Rapp [2002, S. 6].

<sup>3</sup> so Michael-Maria Bommer (Vice President des Software-Spezialisten Genesys Telecommunications Laboratories) auf der Fachkonferenz G-Force. Zitiert nach: EU-Marketingportal [2007].

<sup>4</sup> wie auch Abb. 1 belegt.



**Abb. 1: Call Center in Deutschland (2006 Schätzwerte)<sup>5</sup>**

In der Literatur wird das Call Center Management im Hinblick auf die Personaleinsatzplanung häufig mit den analytischen Modellen der Warteschlangentheorie gelöst. Es soll festgestellt werden, inwieweit eine Personaleinsatzplanung mit Hilfe Künstlicher neuronaler Netze des dreilagigen Perzeptrons unter Einsatz des FAUN<sup>6</sup>-Neurosimulators erfolgen kann. Grundlage bilden dabei Daten des Call Centers BHW Direktservice GmbH. Diese sollen vor dem Training entsprechend analysiert und aufbereitet werden sowie eine ausführliche und begründete Analyse der Ergebnisse<sup>7</sup> unter Einbeziehung des Soll-Ist Vergleichs nach dem Training zu erfolgen hat.

## 2. Call Center

Ein Call Center ist eine Organisationseinheit, in der mehrere Arbeitsplätze, die mit Telefon ausgestattet sind, dem Ziel dienen, die Servicequalität eines Unternehmens in erster Linie durch bessere Erreichbarkeit zu erhöhen. Die Kernaufgabe für die Mitarbeiter richtet sich somit vorrangig auf die Ausübung des telefonischen Kundendienstes.

<sup>5</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Datamonitor (2006).

<sup>6</sup> FAUN = Fast Approximation with Universal neural Networks.

<sup>7</sup> Zur Ergebnisauswertung soll die Computer algebra Software Maple eingesetzt werden.

Call Center gehören der Dienstleistungsbranche an und sind sowohl im öffentlichen als auch im privaten Sektor<sup>8</sup> zahlreich vertreten. Das Produkt eines Call Centers kann als Tele-Dienst bezeichnet werden, was auf die räumliche Trennung zwischen den Dienstleistern und -nachfragern deutet. Diese sind meist nur zeitlich aneinander gebunden. Die Mitarbeiter eines Call Centers werden auch Agenten genannt. Call Center können je nach Komplexität des Produktes zur Auskunftserteilung und Beratung dienen, im Rahmen der Auftragsannahme als Buchungs-, Bestellungen- und Reservierungsserviceeinheiten fungieren sowie im Bereich Beschwerdemanagement, Marktforschung und Telefonverkauf eingesetzt werden.<sup>9</sup>

Je nachdem wie die Arbeit im Call Center organisatorisch gestaltet wird, kann zwischen Inbound-, Outbound- und Inbound-Outbound-Call Centern unterschieden werden.<sup>10</sup> Das Inbound-Call Center beschäftigt sich ausschließlich mit den eingehenden Telefonaten in den Bereichen Kundenhotline, User Help-Desk oder Bestellungenannahme, wobei oft die Serviceleistungen der einzelnen Bereiche auch kombiniert angeboten werden.<sup>11</sup> Dagegen befasst sich das Outbound-Call Center mit den ausgehenden Telefongesprächen und ist in dieser Form eher vereinzelt vorzufinden, beispielsweise in der Telemarketingbranche oder im Bereich der Marktforschung. Häufiger werden die beiden oben beschriebenen Betriebsarten in Form von Inbound-Outbound-Call Centern miteinander verknüpft.<sup>12</sup> In dem vorliegenden Aufsatz wird nur das Inbound-Call Center detaillierter betrachtet, da bei dieser Art des Betriebs die Ankunftsrate sowie die Dauer der Anrufe sehr starken Schwankungen unterliegen und somit die Frage des effizienten Agenteneinsatzes eine wichtige Rolle bei der Planung spielt.<sup>13</sup>

Um längerfristig zu bestehen sollte ein Call Center profitabel bleiben, was wiederum weitgehende Kostenreduzierung zwecks vertretbarer Gewinnerzielung bedeutet.<sup>14</sup> Bei der Betrachtung der Tabelle 1, die einen Überblick über die Kostenstruktur in Call Cen-

---

<sup>8</sup> Bereiche des privaten Sektors: Handel, Bank- und Versicherungswesen, Telekommunikation, Transportunternehmen. Öffentliche Bereiche, wie Strom-, Gas- und Wasserversorgern. Vgl. Helber/Stolletz [2004, S. 1].

<sup>9</sup> Vgl. Kruse [1996, S. 18f.].

<sup>10</sup> Vgl. Böse/Flieger [1999, S. 8].

<sup>11</sup> Vgl. Böse/Flieger [1999, S. 9].

<sup>12</sup> Vgl. Böse/Flieger [1999, S. 10f.].

<sup>13</sup> Vgl. Helber/Stolletz [2004, S. 6].

<sup>14</sup> Vgl. Schnorr [1999, S. 308].

tern gibt, lässt sich erkennen, dass die Personalkosten in einem Call Center weit über die Hälfte der Gesamtkosten ausmachen.

Technische Ausstattung	10%	
Telekommunikationskosten	12%	
Miete der Bürofläche	9%	
Gehälter/Lohnnebenkosten	62%	} Personalkosten
Personalauswahl	4%	
Qualifizierung von Personal	3%	

**Tab. 1: Call Center Kostenstruktur<sup>15</sup>**

Die naheliegende Empfehlung an das Call Center Management ist daher die hier eindeutig vorliegenden Einsparpotentiale auszunutzen, indem es sich der sorgfältigen Planung von Personalkapazitäten widmet.<sup>16</sup>

### 3. Künstliche neuronale Netze<sup>17</sup>

KNN sind Systeme, deren miteinander verbundene Elemente in der Lage sind, auf die Eingabereize zu reagieren, Informationen zu verarbeiten und sich hinreichend der Umwelt anzupassen. Das Kernelement dieser Netzwerke ist ein Neuron, der vom Aufbau und Funktionsweise der menschlichen Nervenzelle ähnelt. Seine Leistung wird durch die Komponenten, wie Eingangsgrößen, Gewichtungen, Propagierungsfunktion<sup>18</sup>, Aktivierungsfunktion<sup>19</sup> und Ausgangsgröße beeinflusst. Die Eingangsgrößen stellen meist die Ausgaben anderer Neurone dar. Sie werden mit Hilfe der Propagierungsfunktion

<sup>15</sup> Quelle: In Anlehnung an o. V. [2004, S. 14].

<sup>16</sup> Vgl. Schnorr [1999, S. 308].

<sup>17</sup> Im Folgenden KNN.

<sup>18</sup> In der Literatur wird für die Propagierungsfunktion auch die Bezeichnung Übertragungsfunktion, Input- oder Summationsfunktion benutzt. Vgl. u.a. Nauck/Klawonn/Kruse [1996, S. 22], Schöneburg/Hansen/Gawelczyk [1990, S. 28].

<sup>19</sup> Aktivierungsfunktion wird oft als Transfer- oder Ausgabefunktion bezeichnet. Vgl. u.a. Braun/Feulner/Malaka [1996, S. 2], Schöneburg/Hansen/Gawelczyk [1990, S. 28].

zunächst mit den dazugehörigen Gewichtungen multipliziert und danach aufsummiert.<sup>20</sup> Die Rolle der Gewichtungen liegt darin, die Eingabesignale entweder zu verstärken oder abzuschwächen, in Abhängigkeit davon, ob diese Gewichtungen positive oder negative Werte aufweisen. Das Ergebnis der linearen Propagierungsfunktion fließt dann zur Weiterverarbeitung in die nichtlineare Aktivierungsfunktion<sup>21</sup> hinein, wodurch die Ausgangsgröße und gleichzeitig die Eingangsgröße für die anderen Neurone erzeugt wird.<sup>22</sup> In dem KNN befinden sich mehrere untereinander verbundene Neurone, die in einzelne Schichten eingeteilt werden können. Hierbei haben Neurone einer Schicht meist einen gewissen gemeinsamen Auftrag zu realisieren.<sup>23</sup> Das KNN nimmt die Information von außen in Form von Eingabemustern  $X$  auf. Diese wird über die Input-Layer-Neurone an die Neurone weiterer Schichten übergeben. Während der Informationsweitergabe sorgen die Gewichtungen von den einzelnen Verbindungen zwischen den Neuronen dafür, dass jedes Neuron anders aktiviert wird und somit andere Information weiterträgt bis das Netz am Ende seine Aufgabe erfüllt hat und das Ergebnis der Verarbeitung in Form von Ausgabe  $Y$  nach außen gibt.<sup>24</sup> Generell sind KNN immer „dann einsetzbar, wenn eine unscharfe Informationsverarbeitung vorliegt, die oft als hochdimensionale nichtlineare Abbildung beschreibbar ist“.<sup>25</sup>

Das Multilayer Perzeptron stellt ein klassisches Beispiel eines mehrschichtigen Netzes ohne Rückkopplung dar, für das das Konzept des überwachten Lernens angewandt wird und welches sehr häufig Verwendung findet. Beim überwachten Lernen werden dem KNN zum Training sowohl die Eingabemuster als auch die dazugehörigen Ausgabedaten vorgegeben, so dass das Netz bereits im Voraus das tatsächliche Ergebnis kennt und somit die berechneten Ausgabewerte mit den tatsächlichen vergleichen und aufgrund der Abweichung die Fehler ermitteln kann.<sup>26</sup> Die Anpassung der Gewichtungen soll

---

<sup>20</sup> Propagierungsfunktionen können außer Summe auch Produkt, Maximal- oder Minimalwert der gewichteten Eingabegrößen sein. Vgl. Schöneburg/Hansen/Gawelczyk [1990, S. 49].

<sup>21</sup> Als Beispiel typischer Aktivierungsfunktionen können Sigmoid Funktionen, wie Tangens Hyperbolicus genannt werden. Eine Funktion ist Sigmoid, wenn sie „streng monoton und nach oben und unten beschränkt ist.“ Breitner[2003, S. 116].

<sup>22</sup> Vgl. Rigoll [1994, S. 42f.], Patterson [1997, S. 15ff.], Mazzetti [1992, S. 15f.].

<sup>23</sup> Vgl. Hoffmann[1993, S. 39].

<sup>24</sup> Vgl. Mazzetti [1992, S. 17f.], Schöneburg/Hansen/Gawelczyk [1990, S. 27].

<sup>25</sup> Kinnebrock [1992, S. 103].

<sup>26</sup> Vgl. Lawrence [1992, S. 90f.], Alex [1998, S. 91].

dann zur möglichen Reduzierung des Fehlers führen.<sup>27</sup> Hierbei ist anzumerken, dass das überwachte Lernen einer Analogie zum mathematischen Problemfeld der Funktionsapproximation aufweist, bei der mit Hilfe einer Approximationsfunktion eine möglichst genaue Annäherung an die vorgegebene Referenzfunktion oder einen Referenzdatensatz mit Ein- und Ausgabemustern erreicht werden soll. Beim überwachten Lernen wird die besagte Approximationsfunktion durch das KNN repräsentiert.<sup>28</sup>

Netze ohne Rückkopplung<sup>29</sup> charakterisieren sich dadurch, dass die Neurone einer Schicht mit denen darauf folgenden Schichten verbunden sind, aber keine Verbindung wieder zum selben Neuron zurückkehrt. Mit anderen Worten gehen die Verbindungen immer in Richtung der nachkommenden Schichten und nicht umgekehrt.<sup>30</sup> Hierbei wird zusätzlich zwischen den Netzen ohne Direktverbindungen, bei denen Elemente einer Schicht nur mit denen der unmittelbar anschließenden verbunden sind und den Netzen mit Direktverbindungen, bei denen außer den Pfaden zu den nächstliegenden Ebenen Verbindungen zu einzelnen Schichten auch ausgelassen werden können, unterscheiden.<sup>31</sup>

Die Funktionsweise des Netzes soll zunächst am Beispiel des dreilagigen Perzeptrons erklärt werden, das im Neurosimulator FAUN implementiert ist sowie eine praktische Anwendung beim Training findet und dessen Vorteile dadurch zu begründen sind, „daß in der Praxis mit dreilagigen Perzeptrons auch komplizierte, hochgradig nichtlineare, multivariate Funktionsapproximationsprobleme gelöst werden können“.<sup>32</sup> Abbildung 2 ist eine schematische Darstellung des dreilagigen Perzeptrons mit und ohne Direktverbindungen. Wie der Name schon sagt, umfasst das Netz drei Schichten. Die erste Schicht besteht aus  $n_e$  Eingabeneuronen und dem Hilfsneuron Bias, welches einen konstanten Wert von  $\frac{1}{2}$  aufweist. Die Eingabeneuronen sind über gewichtete Verbindungen mit den Neuronen der zweiten Schicht verbunden. Diese besteht aus mindestens  $n_h$  inneren Neuronen und dem Bias-Neuron, der allerdings bei den Perzeptronen mit Direktver-

---

<sup>27</sup> Vgl. Hoffmann [1993, S. 58].

<sup>28</sup> Vgl. Breitner [2003, S. 9].

<sup>29</sup> In der Literatur werden Netze ohne Rückkopplung auch als feedforward, azyklische oder vorwärtsgerichtete Netze bezeichnet. Vgl. Braun [1997, S. 9], Zell [2000, S. 78].

<sup>30</sup> Vgl. Braun/Feulner/Malaka [1996, S. 2], Zell [2000, S. 78].

<sup>31</sup> Vgl. Zell [2000, S. 78].

<sup>32</sup> Breitner [2003, S. 149].



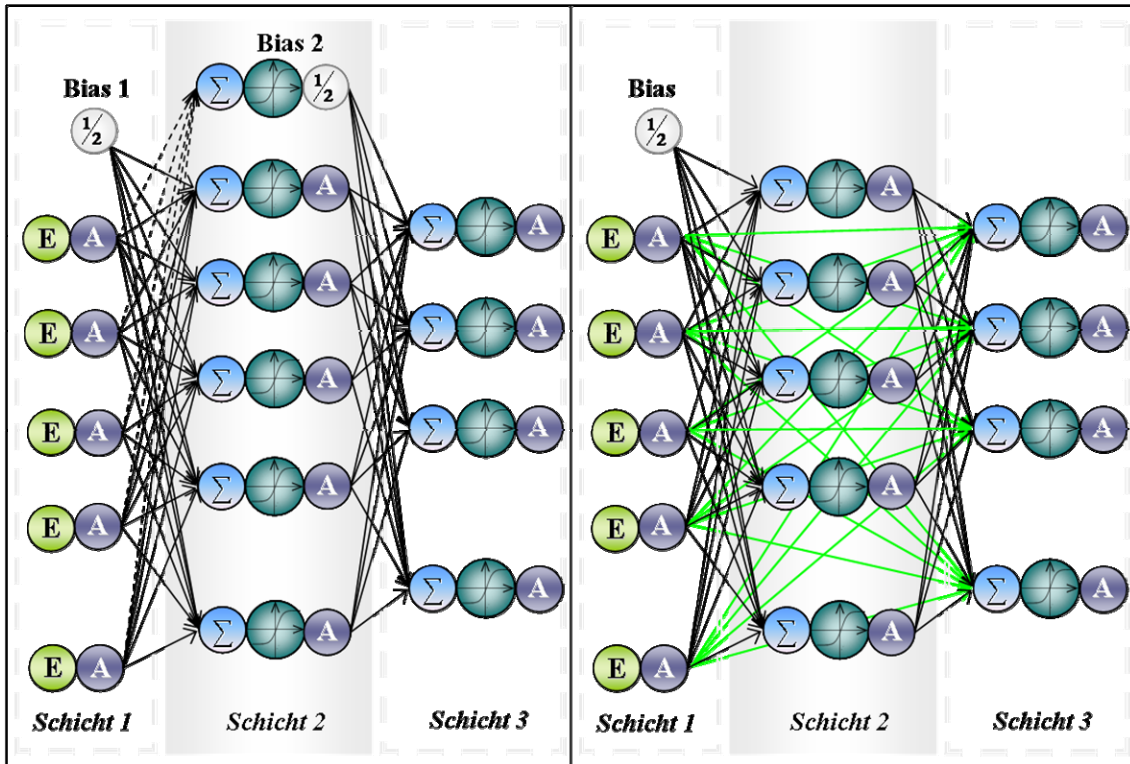


Abb. 2: Dreilagige Perzeptrons ohne (links) und mit (rechts) Direktverbindungen<sup>33</sup>

bindungen entfällt.  $n_h$  Neurone der zweiten Schicht sind mit  $n_a$  Ausgangsneuronen der dritten Schicht verbunden. Als Aktivierungsfunktion wird Tangens Hyperbolicus verwendet.

## 4. Funktionsapproximation mit FAUN

### 4.1. Datenaufbereitung

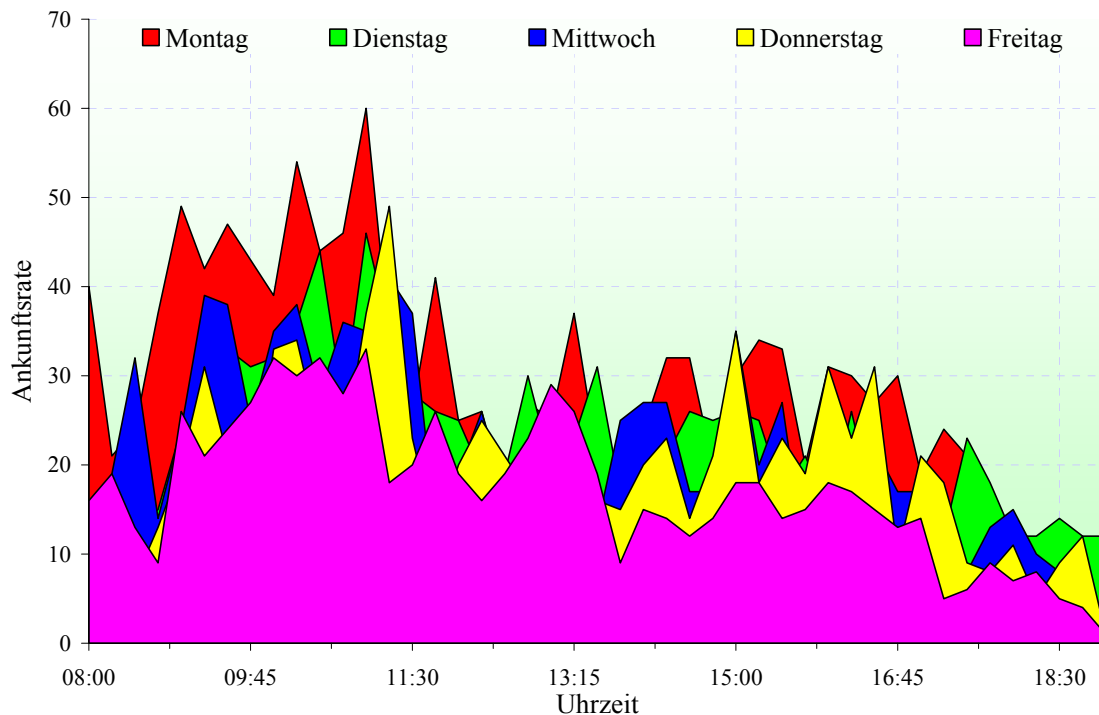
Bei dem für das FAUN-Training verwendeten Datenmaterial handelt es sich um die tatsächlich im BHW Call Center vom 03.10.2005 bis zum 21.03.2006 erfassten Werte der KOC<sup>34</sup> Hotline<sup>35</sup> zu den folgenden Posten:

- ✓ Datum (vom 03.10.2005 bis zum 21.03.2006)

<sup>33</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Breitner [2003, S. 115].

<sup>34</sup> KOC = Kommunikations-Center.

<sup>35</sup> Die Hotline übernimmt im Inbound Bereich der BHW Direktservice GmbH unter anderem die Funktionen als Telefonzentrale, Supporthotline für Tele- und Online-Banking sowie Infohotline für die Kundenberatung und -betreuung in Bezug auf Kredite. Vgl. BHW Direktservice GmbH [2005, S. 7ff.].



**Abb. 3: Anrufsvolumen der KOC Hotline (10.10.2005-14.10.2005)<sup>36</sup>**

- ✓ Uhrzeit (von 07:00 bis 19:45 Uhr, jeweils in 15 Minuten-Intervallen erfasst)
- ✓ Ankunftsrate (Anzahl der je innerhalb von 15 Minuten eingehender Anrufe)
- ✓ Service Level<sup>37</sup>, der tatsächlich erreicht wurde (gemessen je in 15 Min Abständen)
- ✓ Anzahl der Agenten, die zu dem Zeitpunkt der Messung (erfolgt ebenso je 15 Min) als angemeldet erfasst sind

Die Grundlage für die Abbildung 3 stellen die Ankunftsdaten der Woche vom 10. bis zum 14. Oktober 2005, die in Abhängigkeit von der Uhrzeit und nach den einzelnen Wochentagen sortiert dargestellt sind. Anhand der Abbildung lassen sich bereits im Vorfeld des Trainings einige Zusammenhänge erkennen. So geht aus der Abbildung deutlich hervor, dass das Anrufsvolumen in den Vormittagsstunden über alle Wochen-

<sup>36</sup> Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Daten von der BHW Direktservice GmbH.

<sup>37</sup> Bei den Service Level Angaben wird eine vereinfachte Darstellung verwendet, bei der nur der Prozentanteil der angenommenen Anrufe angegeben ist. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass damit die Anrufe gemeint sind, die innerhalb von ersten 20 Sekunden angenommen sind. Im Folgenden wird zu Service Level auch der Begriff Service synonym gebraucht.

tage hinweg ein ansteigendes Verhalten aufweist sowie generell im Tagesvergleich am größten ist und um die Mittagszeit offensichtlich abnimmt. Nachmittags steigt die Rate wieder an, kann aber nicht an das Volumen von Vormittag heranreichen. Zusätzlich lässt sich erkennen, dass beispielsweise der Montag im Vergleich zu den anderen Wochentagen fast zu allen Uhrzeiten eine höhere Ankunftsrate zeigt. Dagegen geht am Freitag vor allem in den Nachmittagsstunden nur eine vergleichsweise geringe Anzahl von Anrufen ein. Bei der Auswertung der Trainingsergebnisse soll geprüft werden, ob KNN diese Abhängigkeiten erkennen und lernen konnte.

Das Datenmaterial wird zunächst bearbeitet, in dem unter anderem Datumswerte jeweils durch die entsprechenden Wochentageangaben ersetzt, Uhrzeitformat<sup>38</sup> angepasst und alle mangelhaften Angaben, bei denen ein der oben aufgelisteten Parameter nicht vorhanden ist, gelöscht werden. Als Ergebnis entsteht eine Textdatei, die 5707 Zeilen beinhaltet, wobei in jeder Zeile entsprechende Angaben zum Wochentag, Uhrzeit, Ankunftsrate, Service Level und Agentenanzahl enthalten sind. Diese Textdatei bildet die Grundlage für das FAUN-Training und kann als Musterdatensatz  $D_m := \{(x_i, y_i) \mid i=1,2, \dots, n_m\}$  bezeichnet werden, bei dem  $x_i$  die Eingabevektoren mit je vier Komponenten  $x_{ik} \mid k=1,2,3,4$  (Wochentag, Uhrzeit, Ankunftsrate, Service Level),  $y_i$  die Ausgabevektoren mit der Information zu der Agentenanzahl und  $n_m$  die Anzahl der Muster, die in diesem Fall 5707 beträgt, sind.<sup>39</sup> Für den Musterdatensatz gilt es zunächst, dass die Komponenten der Eingabevektoren eine gleiche Größenordnung aufweisen sollen, damit sie in die Approximationsfunktion  $f_{app}(x)$  gleich stark eingehen. Dieses kann mit Hilfe der Skalierung erreicht werden, bei der die Komponenten der Eingabevektoren beispielsweise linear auf Intervall  $[-1; 1]$ <sup>40</sup> transformiert werden. Der Skalierungsschritt kann allerdings an dieser Stelle ausgelassen werden, da der Neurosimulator FAUN eine automatische Skalierungsmöglichkeit bietet.<sup>41</sup>

Weiterhin wird der Musterdatensatz in Trainings- und Validierungsmuster, entspre-

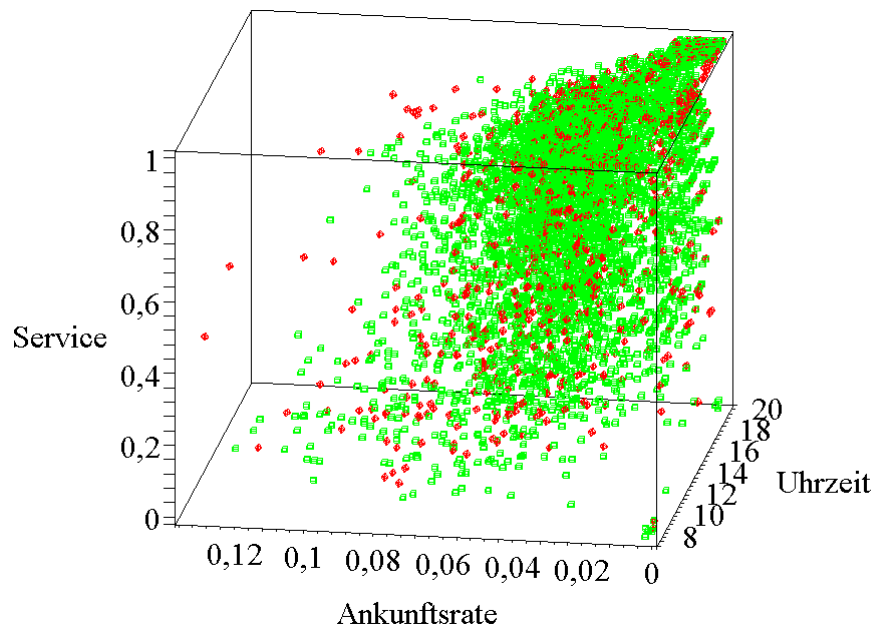
---

<sup>38</sup> Minutenwerte 15, 30 und 45 jeweils in 25, 50 und 75 umgewandelt.

<sup>39</sup> Vgl. Breitner [2003, S. 11, 33].

<sup>40</sup> Aufgrund dessen, dass die Aktivierungsfunktion  $\tanh(\cdot)$  des Perzeptrons den Wertebereich  $[-1; 1]$  hat, müssen die Soll-Ausgabevektoren auf  $[-a; a]$  skaliert werden, wobei  $a$  aus dem Intervall  $(0; 1)$  zu wählen ist. Vgl. Breitner [2003, S. 174].

<sup>41</sup> Vgl. Breitner [2003, S. 167].



**Abb. 4: Verhältnis Trainings- (grün) und Validierungsmuster (rot)<sup>42</sup>**

chend  $D_t$  und  $D_v$ , aufgeteilt, wobei  $D_v$  eine „Stichprobe für Qualitätskontrolle“<sup>43</sup> darbieten soll. Deshalb soll bei der Aufteilung unter anderem beachtet werden, dass der Anteil der Validierungsmuster nicht zu klein ist, weil sonst die Stichprobe zu wenig Aussagekraft besäße. Zu große Anzahl der Validierungsmuster würde dagegen bedeuten, dass das KNN zu wenig Information zum Lernen erhält. Generell wird ein Verhältnis  $n_t/n_v \in [1; 9]$  empfohlen, mit  $n_t$  - Anzahl der Trainingsmuster,  $n_v$  - Anzahl der Validierungsmuster.<sup>44</sup> Ferner werden die Trainings- und Validierungsmuster mit Maple so bestimmt, dass jeweils alle Angaben zu einem der Wochentage als Validierungsmuster gespeichert werden und die restlichen Daten der gerade betrachteten Woche zu der Menge der Trainingsmuster gerechnet werden. Zwecks Erhöhung der Repräsentativität der beiden Musterdatensätze wird jede Woche ein anderer Wochentag mit den dazugehörigen Angaben bezüglich der Uhrzeiten, Ankunftsraten, Service Level und Agentenanzahl zur Speicherung in die Validierungsmuster gewählt und zwar so, dass es in der ersten Woche der Montag, in der darauf folgenden Woche der Dienstag usw. ist. Mit dem Erreichen des Freitags beginnt die Auswahl in der neuen Woche wieder bei Mon-

<sup>42</sup> Quelle: Eigene Darstellung (basierend auf den Daten der BHW Direktservice GmbH).

<sup>43</sup> Breitner [2003, S. 58].

<sup>44</sup> Vgl. Breitner [2003, S. 57ff.].

tag. Abbildung 4 stellt das Ergebnis der Aufteilung dar. Die Validierungsmuster (rot) sind über die gesamte Punktwolke der Trainingsmuster (grün) relativ gleichmäßig verteilt, so dass anzunehmen ist, dass diese eine gute Stichprobe darbieten. Zusätzlich ist aus der Abbildung ersichtlich, dass alle Daten sehr verrauscht sind, was zunächst die Frage aufkommen lässt, ob das KNN in der Lage sein wird, anhand dieser Daten eine optimale Approximationsfunktion zu ermitteln, die das Rauschen in den Daten sinnvoll glätten kann. Die Anzahl der Trainingsmuster beträgt 4658 und die der Validierungsmuster 1049. Es kann somit das Verhältnis  $n_t/n_v$  in Höhe von ca. 4,44 berechnet werden. Dieses Ergebnis liegt gerade in der Mitte des Intervalls [1; 9] und kann infolgedessen der oben beschriebenen Empfehlung zur Aufteilung des Musterdatensatzes gerecht werden.

Im abschließenden Schritt werden die Validierungs- und Trainingsmuster mit Maple in die entsprechenden Dateien „*validation\_unscaled*“ und „*training\_unscaled*“ formatgerecht geschrieben, so dass die Dateien von FAUN unmittelbar verwendet werden können. Dabei folgt jedem Eingabevektor der dazugehörige Ausgabevektor und die Daten sehen wie folgt aus:<sup>45</sup>

```
# Input Muster 1
2.000000000000e+00 8.000000000000e+00 2.890000000000e-02 9.200000000000e-01
# Output Muster 1
9.000000000000e+00
# Input Muster 2
2.000000000000e+00 8.250000000000e+00 2.330000000000e-02 1.000000000000e+00
# Output Muster 2
9.000000000000e+00
```

Des Weiteren werden alle Trainingsmuster zusätzlich in die Datei *training\_vergleichsmodell* gespeichert, die später im Soll-Ist Vergleichsmodell verwendet wird.

---

<sup>45</sup> Vgl. Breitner [2003, S. 171f.].

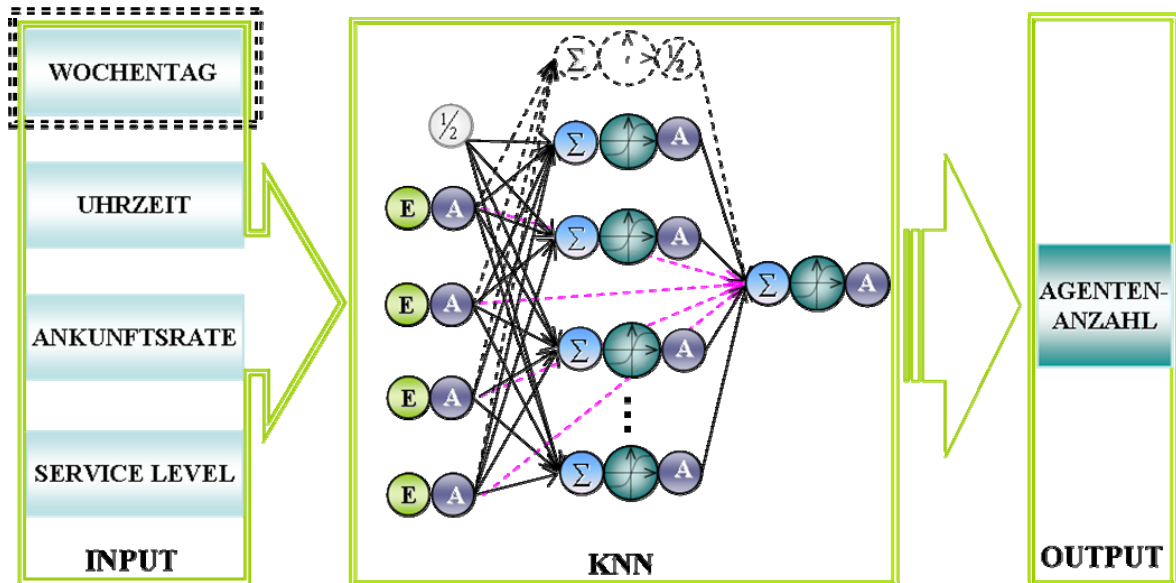


Abb. 5: Ablauf des FAUN-Trainings<sup>46</sup>

Auf Basis der Dateien „*validation\_unscaled*“ und „*training\_unscaled*“ werden zusätzlich für jeden der Wochentage je ein Trainings- und Validierungsmuster<sup>47</sup> erstellt, die ebenso formatgerecht in verschiedene Dateien gespeichert werden. Diese Dateien werden ebenfalls beim FAUN-Training eingesetzt, mit dem Ziel, für jeden Wochentag ein eigenes Netz zu trainieren, um festzustellen, ob die Zusammenhänge möglicherweise auf diese Art und Weise besser erkannt werden können.

#### 4.2. FAUN-Training

Wie bereits an verschiedenen Stellen in diesem Aufsatz erwähnt, geht es bei dem Training der KNN, das hier mit Hilfe des Neurosimulators FAUN durchgeführt wird, darum, dem Netz die Eingabemuster mit den dazugehörigen Soll-Ausgabemustern zur Verfügung zu stellen, damit dieses im Verlauf des Trainings eine Approximationsfunktion generiert, in der die Zusammenhänge zwischen den Eingabemustern abgebildet sind und mit deren Hilfe die Ist-Ausgabemuster berechnet werden können. In Abbildung 5 ist der beschriebene Prozess schematisch dargestellt. Es gehen demnach vier Inputs in das Netz ein: Wochentag, Uhrzeit, Ankunftsrate und Service Level. Die zusätzlichen Trainings

<sup>46</sup> Quelle: Eigene Darstellung.

<sup>47</sup> Das Verhältnis  $n_t/n_v$  beträgt am Montag:  $952/168 \approx 4,8$ ; Dienstag:  $905/237 \approx 3,8$ ; Mittwoch:  $904/237 \approx 3,8$ ; Donnerstag:  $951/185 \approx 5,1$ ; Freitag:  $946/192 \approx 4,9$  und entspricht ebenso der Empfehlung zur Aufteilung der Muster.

für die einzelnen Wochentage erhalten entsprechend nur drei Inputs, da der Wochentag selbst keinen Input mehr darstellt.<sup>48</sup> Das Input-Layer des dreilagigen Perzeptrons, mit und ohne Direktverbindungen, besteht also aus vier beziehungsweise drei Eingangsneuronen. Diese tragen die Informationen an die Neuronen des Hidden-Layers. Die Anzahl dieser Neurone soll solange variiert werden bis „die jeweils besten Netze nicht mehr „signifikant besser“ werden“.<sup>49</sup> An dieser Stelle wird die Beurteilung der Netze anhand der Fehleruntersuchung und auf Grundlage der graphischen Analyse durchgeführt. Abschließend werden die Ausgabeinformationen der verdeckten Neurone an das Neuron des Output-Layer weitergegeben, dessen Ergebnis die gesuchte Approximationsfunktion zur Berechnung der benötigten Agentenanzahl ist. Als Vorbereitungsschritt bei dem Training werden zuerst die Steuerparameter angepasst<sup>50</sup>, darauf folgt das Training selbst. Ist dieses beendet, so können in FAUN die Informationen zu den 10 besten Netzen mit dem kleinsten Trainingsfehler ausgegeben werden. Anknüpfend können Angaben zum besten Netz exportiert, die Trainingsdaten gesichert und ausgewertet,<sup>51</sup> entsprechende Anpassung der Steuerparameter vorgenommen und das Training erneut gestartet werden.

### 4.3. Fehleranalyse

Die Fehleranalyse ist eines der wichtigsten Kriterien zur Entscheidung über die optimale Approximationsfunktion, denn die Fehler besagen, wie groß die Abweichung zwischen der Approximationsfunktion und dem Soll-Musterdatensatz ist. Je kleiner der Fehler und somit die Abweichung ist, desto besser können die Musterzusammenhänge von KNN erkannt und gelernt werden. Die entsprechenden Werte des Trainings- und Validierungsfehlers ( $\varepsilon_t$  und  $\varepsilon_v$ ) des dreilagigen Perzeptrons mit einem Neuron in der Ausgabeschicht werden von FAUN berechnet und am Ende des Trainings ausgegeben. Zusätzlich wird zur Beurteilung der durchschnittliche prozentuale Fehler miteinbezogen, der wie folgt berechnet werden kann:

---

<sup>48</sup> Im Folgenden werden zwecks Unterscheidung der beiden Trainingstypen Bezeichnungen „4-Inputs-Training“ und „3-Inputs-Training“ verwendet.

<sup>49</sup> Breitner [2003, S. 186].

<sup>50</sup> Die Anpassung der Steuerparameter erfolgte in Ahnlehnung an die Empfehlungen/Erfahrungen der FAUN-Benutzer. Vgl. Breitner [2003, S. 171-186].

<sup>51</sup> Vgl. Tab. 2 und 3.

Topologie	I	II	III	IV	V	VI	VII
$n_h$ <sup>52</sup>	1					2	
Direktverbindungen <sup>53</sup>	–	–	–	+	+	–	–
Anz. erf. zu trainier. N. <sup>54</sup>	1000	1000	1000	1000	600	1000	1000
$\gamma_{v,max,q}$ <sup>55</sup>	1,1	1,1	0,95	1,1	0,98	1,1	0,98
Anz. d. Minimier. it. <sup>56</sup>	1	8	1	1	10	1	8
Anz. initialisier. N. <sup>57</sup>	1088	1030	4909	1014	828	1130	1962
Ant. nicht erf. train. N. <sup>58</sup>	8,09%	2,91%	79,63%	1,38%	27,54%	11,50%	49,03%
Rechenzeit (in Sek.)	279,1	722,4	1282,2	278,9	695,3	459,1	2313
$\varepsilon_t$ <sup>*59</sup>	150,31	150,31	150,31	120,05	120,15	136,61	119,27
$n_t/n_v \varepsilon_v$ <sup>*60</sup>	135,38	135,40	135,40	118,39	117,72	129,30	116,84
$\% \varepsilon_t$ <sup>61</sup>	13,37%	13,37%	13,37%	<b>11,95%</b>	<b>11,95%</b>	12,75%	<b>11,91%</b>
Topologie	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
$n_h$	2			3		8	
Direktverbindungen	+	+	+	–	+	–	+
Anz. erf. zu trainier. N.	1000	1000	1000	1000	1000	1000	100
$\gamma_{v,max,q}$	1,1	0,9	0,98	1,1	0,95	1	1,1
Anz. d. Minimier. it.	1	6	8	1	5	1	5
Anz. initialisier. N.	1023	5059	1584	1144	2797	1681	126
Ant. nicht erf. train. N.	2,25%	80,23%	36,87%	12,59%	64,25%	40,51%	20,63%
Rechenzeit (in Sek.)	369,8	4951,7	1840,0	621,8	3398,3	1730,8	359,4
$\varepsilon_t$ <sup>*</sup>	121,98	129,38	118,03	131,96	118,42	139,52	115,19
$n_t/n_v \varepsilon_v$ <sup>*</sup>	119,75	115,23	115,08	124,71	111,72	129,36	124,21
$\% \varepsilon_t$	12,05%	12,41%	<b>11,85%</b>	12,53%	<b>11,87%</b>	12,88%	<b>11,71%</b>

**Tab. 2: Auswertung des 4-Inputs-Trainings<sup>62</sup>**

<sup>52</sup>  $n_h$  = Anzahl der inneren Neurone.

<sup>53</sup> „+“ = mit Direktverbindungen, „–“ = ohne Direktverbindungen.

<sup>54</sup> Anz. erf. zu trainier. N. = Anzahl der erfolgreich zu trainierenden Netze.

<sup>55</sup>  $\gamma_{v,max,q}$  = Quadrats der schlechtesten, noch akzeptablen Validierungsgüte.

<sup>56</sup> Anz. d. Minimier. it. = Anzahl der Minimierungsiterationen ohne Betrachtung des Validierungsfehlerverlaufs.

<sup>57</sup> Anz. initialisier. N. = Anzahl initialisierter Netze.

<sup>58</sup> Ant. nicht erf. train. N. = Anteil nicht erfolgreich trainierter Netze.

<sup>59</sup>  $\varepsilon_t$ <sup>\*</sup> = Der kleinste aufgetretene Trainingsfehler.

<sup>60</sup>  $n_t/n_v \varepsilon_v$ <sup>\*</sup> = Der zu dem kleinsten aufgetretenen Trainingsfehler zugehörige normalisierte Validierungsfehler.

<sup>61</sup>  $\% \varepsilon_t$  = Der durchschnittliche prozentuale Trainingsfehler.

<sup>62</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Ahnlehnung an Breitner [2003, S. 286].



$$\% \varepsilon_t = \frac{1}{l} \sqrt{\frac{2\varepsilon_t}{n_t}}, \text{ mit } l \text{ -Länge des Intervalls auf das der Soll-Ausgabevektor skaliert}$$

wurde.

Zunächst wird der Fehlerverlauf der 4-Inputstrainings analysiert. Wie in der Tabelle 2 zu sehen ist, findet sich der kleinste der durchschnittlichen prozentualen Fehler von 11,71% bei der Topologie XIV des Trainings mit acht inneren Neuronen. Dieser ist im Vergleich zum kleinsten Fehler der Topologie IV mit einem inneren Neuron, der 11,95% beträgt, kaum wie erwartet durch die Erhöhung der Anzahl der  $n_h$  zurückgegangen. Darüber hinaus lässt sich feststellen, dass sowohl der  $\varepsilon_t$  als auch der  $n_t/n_v \varepsilon_v$ , relativ gleich groß sind. Der Grund dafür liegt in der bereits angesprochenen Problematik der sehr verrauschten Daten, die sowohl in den Trainings- als auch in den Validierungsmustern vorzufinden sind. Indem das Netz versucht, das Rauschen in den Daten zu glätten, entstehen hohe und fast gleich große Validierungs- und Trainingsfehler, was wiederum erklärt, warum so wenig Netze verworfen werden konnten.

Ähnlich fallen die Fehler bei dem 3-Inputs-Training aus. In Tabelle 3 ist deutlich zu sehen, dass der durchschnittliche prozentuale Fehler noch höher ist, als bei den ver-

Topologie	Montag		Dienstag		Mittwoch		Donnerstag		Freitag	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
$n_h$	1	2	1	2	2	6	1	3	1	3
A. erf. tr. N.	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
$\gamma_{v,max,q}$	1,1	0,98	1	1	0,9	1	0,9	0,95	0,95	1,1
A. d. Min. it.	5	6	5	6	8	11	10	10	10	3
Anz. init. N.	2726	22739	9073	5883	1062	1082	1248	1830	2635	1407
n. e. train. N.	63,32	95,60	88,98	83,00	5,84	7,58	19,87	45,36	62,05	28,93
Rechenzeit, sek.	107,2	2606,9	786,2	812,8	170,1	446,7	146,3	395	332,8	185,5
$\varepsilon_t^*$	27,68	26,93	25,58	24,95	29,07	25,40	27,00	25,09	30,28	27,51
$n_t/n_v \varepsilon_v^*$	30,32	26,37	25,47	24,61	22,25	21,08	18,28	17,88	28,75	27,05
$\% \varepsilon_t$	12,69	12,52	12,51	12,36	13,35	13,17	12,54	12,09	13,32	12,69

**Tab. 3: Auswertung des 3-Inputs-Trainings<sup>63</sup>**

<sup>63</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Breitner [2003, S. 286].

gleichbaren Netzen des 4-Inputs-Trainings. Dieses kann einerseits dadurch begründet sein, dass bei der separaten Betrachtung für jeden Wochentag die Anzahl der Datenmuster für jedes einzelne Training, wesentlich kleiner ist, als bei einem 4-Inputs-Training. Das Netz kann die Musterzusammenhänge allerdings umso besser erkennen, je mehr Vergleichsmuster es zum Lernen bekommt. Andererseits kann davon ausgegangen werden, dass, wenn die vierte Eingangsgröße Wochentag ausgelassen wird, dem Netz dadurch wichtige Zusammenhänge „vorenthalten“ werden. Überdies lässt sich anhand der Fehleranalyse keine eindeutige Entscheidung bezüglich des Netzes mit dem optimalen Ergebnis feststellen, so dass die folgende graphische Analyse von sehr hoher Bedeutung ist.

#### 4.4. Grafische Darstellung der Ergebnisse

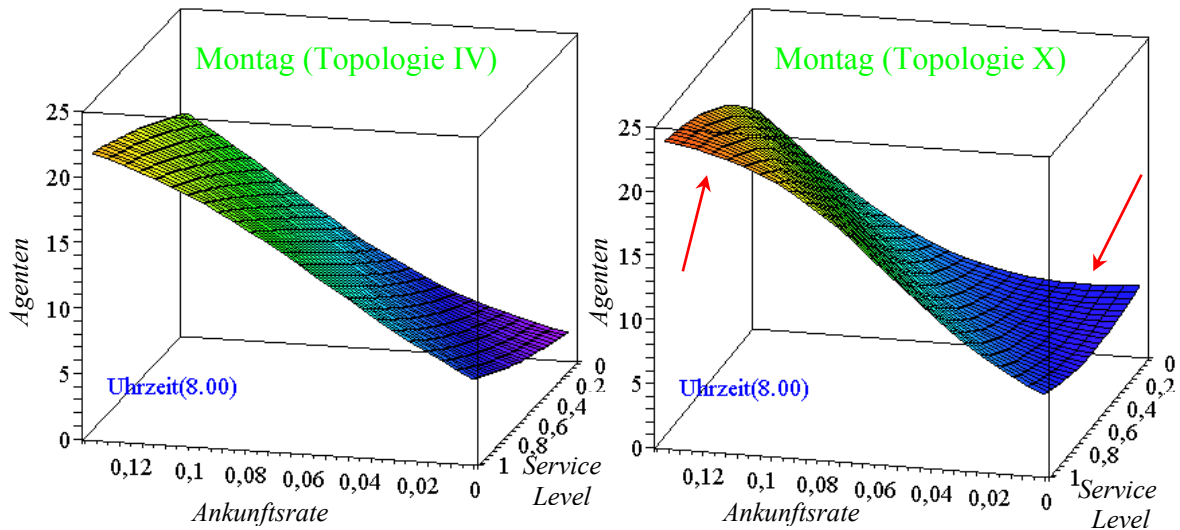
Zur weiteren Analyse und Bewertung der erhaltenen Ergebnisse wird die Maple-Schnittstelle des Neurosimulators FAUN genutzt. Zuerst wird die Datei *FAUN\_MAPLE* benötigt, die, sobald sie von Maple eingelesen wird, ein Maple-Skript ausführt. Letzteres wiederum liest und liefert die Information hinsichtlich der Ausgabe des KNNs (OUTP[1]). OUTP[1] ist eine Tangens Hyperbolicus Funktion der Aktivierungen der vier Eingabeneuronen, die zunächst entsprechend mit den skalierten Eingabegrößen Wochentag, Uhrzeit, Ankunftsrate und Service Level besetzt werden.<sup>64</sup> Sind die Aktivierungen mit den skalierten Eingabegrößen belegt, so wird anschließend OUTP[1] rückskaliert. Das Ergebnis der Rückskalierung ist die gesuchte Approximationsfunktion, die in dieser Form zur Berechnung der Ist-Agentenanzahl, Darstellung der Ergebnisse und Modellvergleiche benutzt wird.

Gemäß der durchgeführten Fehleranalyse weisen bei dem 4-Inputs-Training mit einem, zwei, drei und acht Neuronen jeweils die Topologien IV, X, XII und IVX den kleinsten prozentualen Fehler auf.<sup>65</sup> Diese Topologien werden zuerst graphisch dargestellt und

---

<sup>64</sup> Bei den Aktivierungen des 3-Inputs-Trainings handelt es sich entsprechend um 3 Eingabeneuronen, da der Wochentag wegfällt.

<sup>65</sup> Vgl. Tab. 2.



**Abb. 6: Die besten KNN mit einem (links) und zwei (rechts) inneren Neuronen<sup>66</sup>**

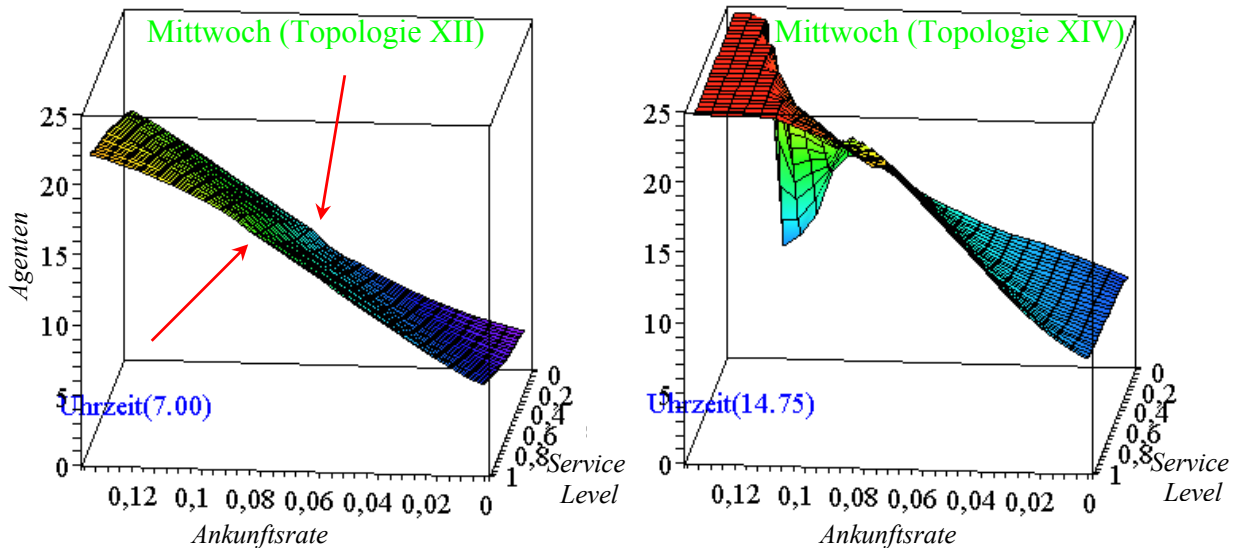
anschließend analysiert, um feststellen zu können welches der Netze, die optimale Approximationsfunktion bestimmt hat.

Die jeweilige Approximationsfunktion kann mit Hilfe von Maple als animierte Fläche in einem dreidimensionalen Raum visualisiert werden, wobei die durch die Funktion berechnete Anzahl der Agenten auf der Ordinatenachse und die Ankunftsrate sowie Service Level, die jeweils die Werte aus den Bereichen zwischen deren Minimal- und Maximalwerten annehmen, auf den beiden anderen Achsen abgetragen werden. In der Abbildung 6 sind die Sequenzen von Mittwoch 8:00 Uhr der ersten zwei Topologien IV und X illustriert. Die Fläche des Netzes mit einem inneren Neuron (links) zeigt im Vergleich zu der Fläche mit zwei inneren Neuronen (rechts) einen glatteren Verlauf, was für die bessere Qualität des Netzes spricht.<sup>67</sup> Der ebene Flächenverlauf des KNNs mit einem verdeckten Neuron bestätigt sich auch an anderen Wochentagen und zu anderen Uhrzeiten.<sup>68</sup> Dagegen beugt sich die Fläche des Netzes mit zwei inneren Neuronen vor allem vormittags und zu Abendsstunden über alle Tage hinweg in den Bereichen, wo die Ankunftsraten und Service Level hoch sind etwas nach unten sowie umgekehrt bei

<sup>66</sup> Quelle: Eigene Darstellung.

<sup>67</sup> Vgl. Köller/Breitner [2005, S. 476].

<sup>68</sup> Vgl auch Abb. 9.



**Abb. 7: Die besten KNN mit drei (links) und acht (rechts) inneren Neuronen<sup>69</sup>**

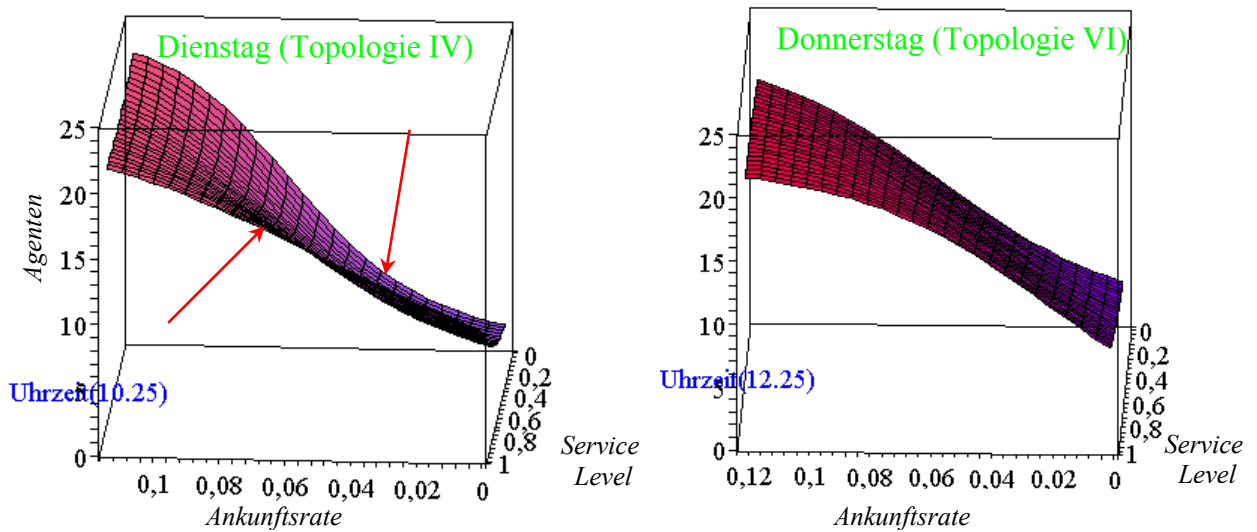
niedrigen Ankunftsraten und Service Level nach oben.<sup>70</sup> Der Grund dafür kann darin liegen, dass in den Bereichen wenig reale Daten für das Training zur Verfügung stehen.<sup>71</sup> Dennoch konnte das Netz mit einem inneren Neuron die Mängel der Daten ausgleichen und bildet auch dort, wo kaum Ausgangsmuster vorliegen, wie beispielsweise im Bereich hoher Ankunftsraten abends, eine gerade Fläche.

Ähnlich ist es bei dem Netz mit drei verdeckten Neuronen, das in der Abbildung 7 (links) durch die Mittwochsequenz repräsentiert ist. Die Flächendarstellung beinhaltet ungefähr mittig bereits zum Tagesbeginn um 7:00 Uhr eine leichte Erhebung. Diese verschiebt sich in den Vormittagsstunden aus dem Bereich der relativ hohen Agentenanzahl und Ankunftsrate über alle Service Levels in Richtung der niedrigen Agentenanzahl und Ankunftsrate (in der Abbildung Richtung der unteren rechten Ecke). In den Nachmittagsstunden fällt die Fläche in großen Schritten nach unten, bis sie dort gegen Abend fast zusammenklappt.

<sup>69</sup> Quelle: Eigene Darstellung.

<sup>70</sup> Vgl. Abb. 6 (rechts).

<sup>71</sup> Vgl. Abb. 4.



**Abb. 8: Die besten KNN des 3-Inputs-Trainings mit zwei (links) und einem (rechts) inneren Neuronen<sup>72</sup>**

Anschließend wird das Netz mit acht inneren Neuronen graphisch dargestellt und näher untersucht. Trotz des kleinsten, im Vergleich zu den zuvor betrachteten Topologien, prozentualen Fehlers von 11,71%<sup>73</sup> ist das Netz am wenigsten von allen für die Berechnung der Agentenanzahl geeignet, da dieses, wie die Fläche in der Abbildung 7 (rechts) zeigt, nicht mehr das Rauschen der Muster ausgleicht, sondern eher dazu tendiert, diese auswendig zu lernen, was wiederum damit begründet ist, dass die KNN mit vielen inneren Neuronen oft „zwischen den Daten ... oszillieren“.<sup>74</sup>

Folglich kann nach der graphischen Analyse des 4-Inputs-Trainings zusammenfassend festgehalten werden, dass das Netz der Topologie IV mit einem inneren Neuron die Musterzusammenhänge am besten erkennt und abbildet.

In der Abbildung 8 werden zum Vergleich die besten Netze mit wenig inneren Neuronen aus dem 3-Inputs-Training hinsichtlich des Approximationsfehlers dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass das für den Dienstag trainierte KNN mit zwei verdeckten Neuronen (links), ebenso wie das entsprechende Netz bei dem 4-Inputs-Training jeweils

<sup>72</sup> Quelle: Eigene Darstellung.

<sup>73</sup> Vgl. Tab. 2.

<sup>74</sup> Köller/Breitner [2005, S. 476].

eine Beugung in den Bereichen höherer Service Level und Ankunftsrate nach unten und bei niedrigeren Service Level und Ankunftsrate nach oben zeigt sowie zusätzlich der Flächenteil mit den hohen Service Level Werten über alle Ankunftsrate hinweg den Verlauf einer nach oben gedrehten Welle hat. Nur das Netz mit einem inneren Neuron, welches das Trainingsergebnis für Donnerstag abbildet und dessen Flächenverlauf als die „12:15 Uhr“ Sequenz in der Abbildung 8 (rechts) illustriert ist, weist eine ähnlich glatte Fläche, wie bisher das beste Netz aus dem 4-Inputs-Training auf, so dass es grundsätzlich auch zur Berechnung der benötigten Agentenanzahl donnerstags angewendet werden könnte. Dennoch ist hier wieder auf das Ergebnis der Fehleranalyse zurückzugreifen, demgemäß der prozentuale Fehler der Netze des 3-Inputs-Trainings unabhängig von der Anzahl der inneren Neurone und davon welches Tagesnetz augenblicklich betrachtet wird, größer als der Fehler der besten Netze aus dem 4-Inputs-Training ist. Ferner wird das Netz der Topologie IV aus dem 4-Inputs-Training als optimal definiert und zum Ergebnisvergleich mit realen Daten und anderen Modellen Kapitel eingesetzt.

## 5. Soll-Ist Vergleich des Agenten Einsatzes

Bei dem Soll-Ist Vergleich geht es darum, die Anzahl der tatsächlich bei der BHW Direktservice GmbH eingesetzten Agenten mit der durch die Approximationsfunktion bestimmten Agentenanzahl zu vergleichen. Hierbei wird in Maple zunächst neben der animierten Fläche, deren Darstellung im vorigen Abschnitt beschrieben ist, die zu dem Wochentag und der Uhrzeit der jeweiligen Flächensequenz passenden tatsächlichen Werte<sup>75</sup> als eine Punktwolke visualisiert. Die Abbildung 9 zeigt die ausgewählten Sequenzen mit den approximierten Flächen und realen Punkten einzelner Wochentage zu bestimmten Uhrzeiten. Es ist deutlich erkennbar, dass die Flächen bei jeder Sequenz genau in der Mitte der Punktwolke liegen, wodurch erneut eine sinnvolle Glättung der verrauschten Muster durch die Approximationsfunktion bestätigt wird. Dass die Funktion auch dort eine Fläche berechnet, wo keine realen Daten vorliegen, wird ebenso ersichtlich. Es mag zunächst unlogisch erscheinen, dass die Anzahl der Agenten beispielsweise für die Ankunftsrate von 0,12 Anrufen pro Sekunde, die nur vereinzelt zu

---

<sup>75</sup> Die Werte werden der bereits erwähnten Datei „*training\_vergleichsmodell*“ entnommen.

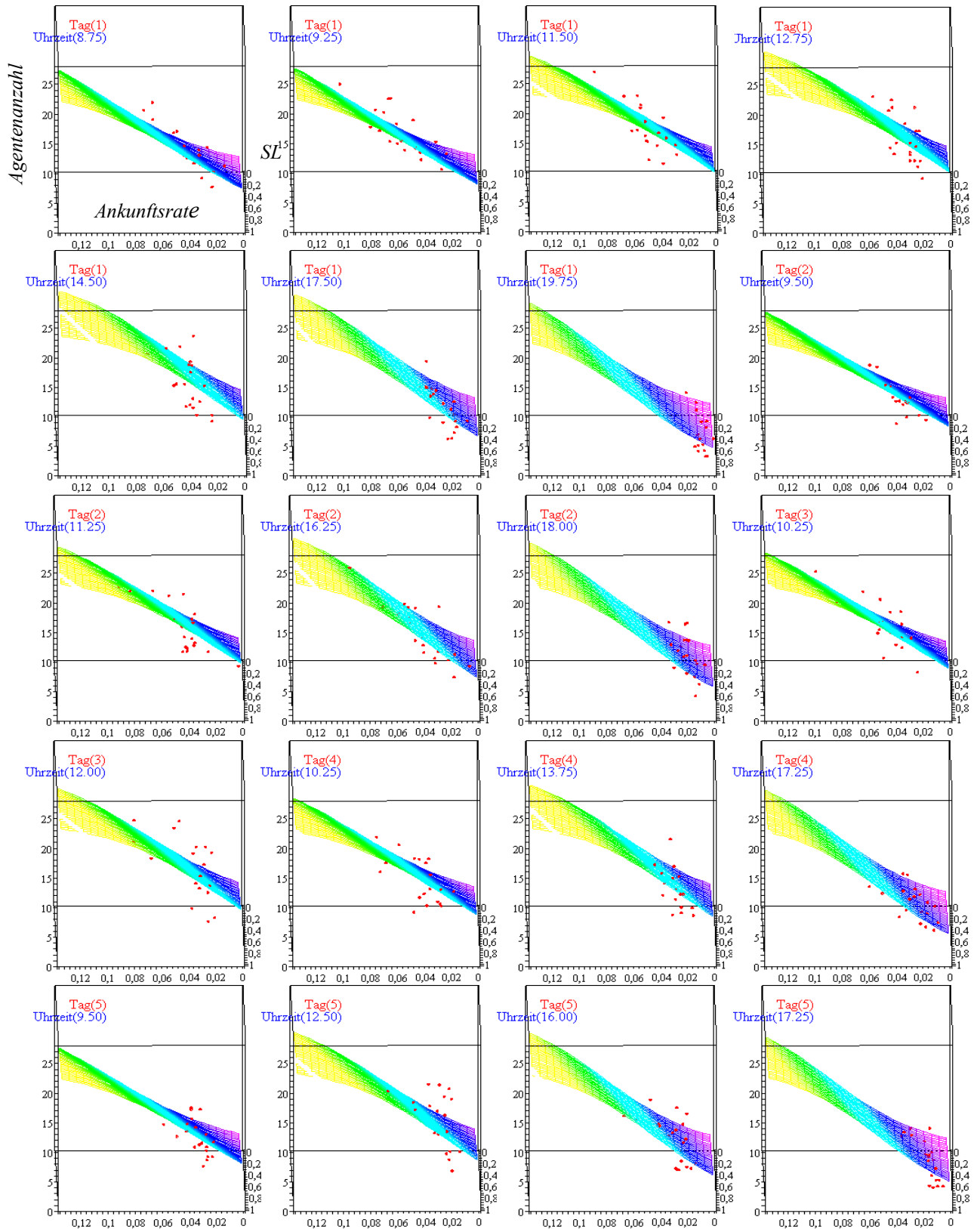


Abb. 9: Vergleich: Soll- (Punkte) und Ist-Agentenanzahl (Flächen)<sup>76</sup>

<sup>76</sup> Quelle: Eigene Darstellung.

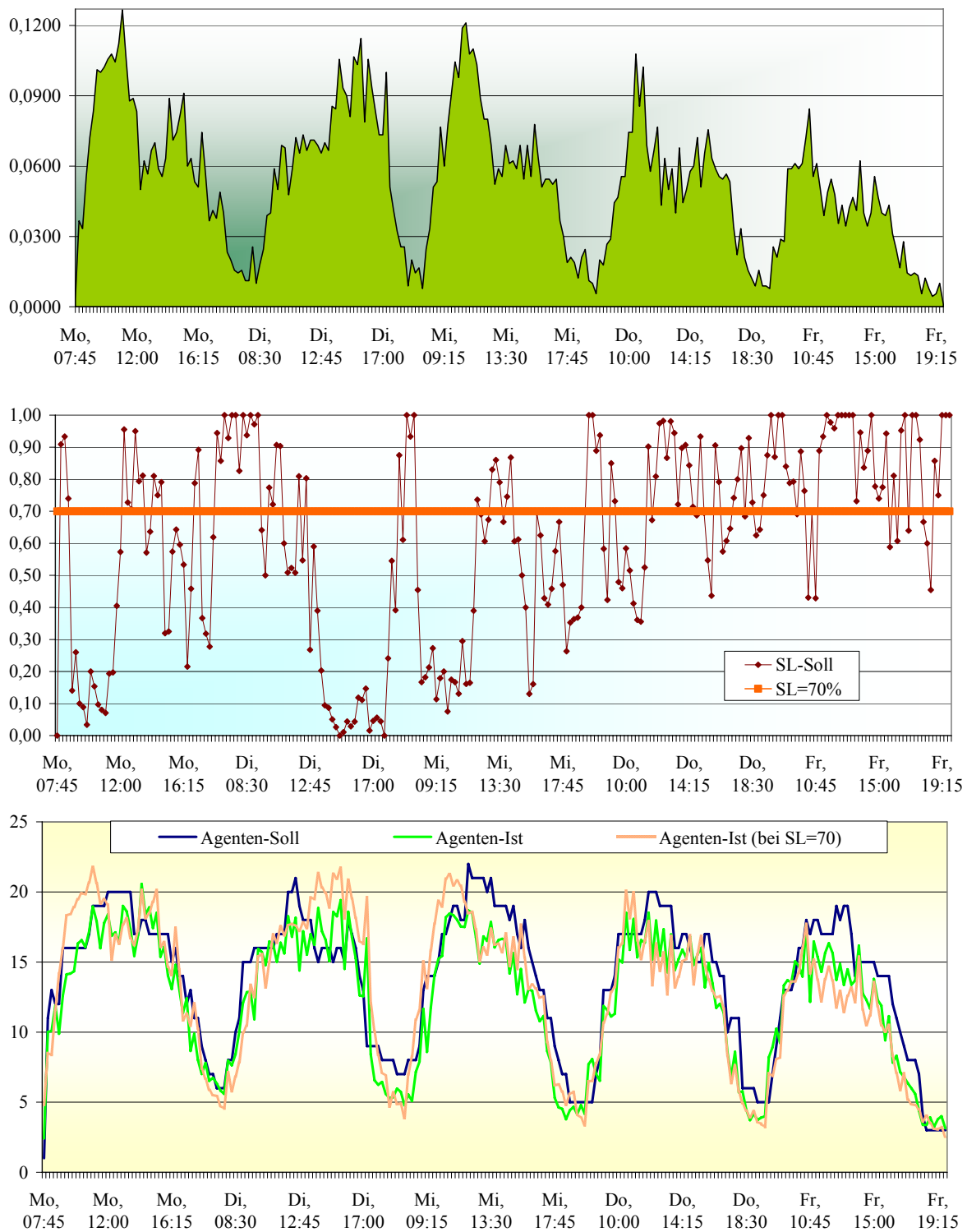
den „Spitzenverkehrszeiten“ des Call Centers vorkommen, am Freitagsnachmittag zu berechnen. Dennoch kann in den Call Centern das Gesprächsvolumen unter Einfluss von vielen Faktoren geraten und dadurch verändert werden. Hierzu zählen unter anderem Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, Werbung in Form von Plakaten oder TV-Spots, aber auch die saisonalbedingte Erhöhung der Anfragen oder Bestellungen<sup>77</sup>, die beispielsweise erhöhte Kreditnachfrage im Frühjahr verbunden werden kann. In solchen Fällen kann die Approximationsfunktion eine sehr gute Lösungsmöglichkeit für kurzfristige Änderungen der Einsatzplanung von Agenten darstellen. Ähnlich ist die Situation mit dem Service Level. Sollte sich die Call Center Leitung dafür entscheiden, den angestrebten Service Level höher oder niedriger zu setzen, kann dieses ebenso mit Hilfe der Approximationsfunktion erfolgen.

Des Weiteren kann die im Vorfeld des Trainings aufgestellte Frage, ob die Zusammenhänge bezüglich der Ankunftsrate, die tageszeit- sowie wochentagabhängig zu sein scheinen, vom KNN erkannt werden konnten, erneut aufgegriffen werden. Diese sind faktisch bereits anhand vorliegender Animation zu erkennen, sollen aber zunächst mit Hilfe der Abbildung 10 verdeutlicht werden. In dieser Abbildung wird die aus den realen Daten willkürlich gewählte Woche vom 9. bis zum 13. Januar 2006 betrachtet. Der obere Teil der Abbildung stellt die Verteilung der Ankunftsrate über die Woche dar. Mit Ausnahme von Dienstagnachmittag bestätigen sich die aus der Abbildung 4 geschlussfolgerten Tendenzen der Ankunftsrate. Sie erreichen vormittags ihr höchstes Niveau, sinken in den Mittagszeiten wieder ab, um nachmittags erneut anzusteigen, ohne jedoch das Vormittagniveau zu erreichen. Zusätzlich werden wieder die höchsten Anruferzahlen am Montag beobachtet, wogegen am Freitag der Call Center Service von den Anrufern weniger in Anspruch genommen wird. Außer dem Anrufsvolumen wird das Verhältnis des in der vorliegenden Woche erreichten Service Levels im Vergleich

---

<sup>77</sup> Vgl. Wiencke/Koke [1997, S. 54f.].





**Abb. 10: Anrufsvolumen (oben), Service Level (mittig) und Soll-Ist-Ist Vergleich (unten) der KOC Hotline (09.01.2006-13.01.2006)<sup>78</sup>**

<sup>78</sup> Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Daten von der BHW Direktservice GmbH und Berechnungen der Approximationsfunktion.

zu dem von der BHW Direktservice GmbH angestrebten betrachtet.<sup>79</sup> Aus der Abbildung geht deutlich hervor, dass zu den oben erwähnten Höchstlastzeiten vermutlich zu wenig Agenten eingesetzt worden sind, da zu diesen Zeiten der angestrebte Service Level von der KOC Hotline selten erreicht werden kann. Eine Reaktion der Call Center Leitung muss folglich sein, die Anzahl der Agenten zu erhöhen.<sup>80</sup> Dies geschieht allerdings nicht schnell genug und führt dazu, dass die Hotline in dem Zeitraum, in dem die Ankunftsrate wieder gesunken ist, im Hinblick auf die Agentenanzahl überbesetzt ist, wodurch der Service Level unnötig in die Höhe getrieben wird, da er den von dem Call Center angestrebten Wert von 70% überschreitet.<sup>81</sup> Derartig unzureichende Planung führt zu dem bereits beschriebenen Ergebnis der Überbelastung, die daraus resultierende Fehlerquotenerhöhung in der Arbeit der unterbesetzten Agenten auf der einen Seite und die aus der Überbesetzung hervorgehende Kostensteigerung sowie Motivationsverluste der Agenten auf der anderen Seite. Es soll daher geprüft werden, ob die Situation hätte verhindert werden können, indem bei der Planung des Agenteneinsatzes die ermittelte Approximationsfunktion zum Einsatz käme. Die Approximationsfunktion des im vorigen Abschnitt als optimal definierten Netzes wird wie folgt berechnet:

$$\begin{aligned}
 f_{app}^*(wt, uz, ar, sl) = & -12,10526315789474 \tanh(-1,0002862 \tanh(-2,301889498160276 \\
 & + 0,05902067wt + 0,2354369411764706uz - 3,129454613653413ar \\
 & + 0,2036273sl) - 0,1311671094930349 + 0,060126885wt \\
 & + 0,1179037003921569uz + 14,39460750187547ar - 0,46019486sl) \\
 & + 12,5
 \end{aligned}$$

mit *wt* –Wochentag, *uz* –Uhrzeit, *ar* – Ankunftsrate und *sl* – Service Level.

Diese Formel lässt sich relativ einfach in Excel errechnen. Hierbei werden die tatsächlichen Daten der betrachteten Woche (*wt*, *uz*, *ar* und *sl*) zwecks Ermittlung der zu dem tatsächlich von der Hotline erreichten Service Level passenden Agentenanzahl eingesetzt. Gleichzeitig wird mit Hilfe der Approximationsfunktion die Agentenanzahl bestimmt, die erforderlich gewesen wäre, um bei den vorliegenden Ankunftsraten den angestrebten Service Level zu halten. Das Ergebnis dieser Berechnungen ist in Abbil-

<sup>79</sup> Vgl. Abb. 10 (mittig).

<sup>80</sup> Vgl. Verlauf der blauen Linie, die die tatsächlich im Call Center eingesetzte Agentenanzahl beschreibt, in der Abb. 10 (unten).

<sup>81</sup> Vgl. Abb. 10.

dung 10 (unten) zu sehen. Zunächst kann der Abbildung entnommen werden, dass die durch das KNN errechnete Funktion die Schwankungen der Ankunftsraten sehr gut erkennen und lernen konnte, denn die Anzahl der gemäß der Approximationsfunktion einzusetzender Agenten steigt in den Vormittagsstunden, sinkt gegen Mittag wieder ab und nimmt nachmittags erneut etwas höhere Werte an. Die benötigte Agentenanzahl ist darüber hinaus montags am größten und freitags am niedrigsten, womit sie den Ankunftsraten gerecht werden und gleichzeitig die bereits zuvor angebrachte Begründung, dass sich mit dem 4-Inputs-Training die zwischen den Wochentagen bestehenden Zusammenhänge besser feststellen und einlernen lassen, bestätigen kann. Das in der betrachteten Woche untypisch aufgetretene hohe Anrufvolumen am Dienstagnachmittag spiegelt sich weiterhin bei dem KNN sehr gut in der entsprechend höher berechneten erforderlichen Anzahl an Agenten wider.<sup>82</sup> Ferner ist festzuhalten, dass der benötigte Personaleinsatz für den von der Hotline erreichten Service Level, mit Ausnahme von Dienstag, fast überall niedriger zu planen wäre. Dagegen wird zur Einhaltung des angestrebten Service Levels von 70% in den Zeiträumen, bei denen dieser nicht erbracht werden konnte, ein höherer Agenteneinsatz vorgeschlagen und umgekehrt. Somit hätte die Nutzung der Approximationsfunktion bei dem Personaleinsatz in der betrachteten Woche eindeutig eine kostensparende und agentenschonende Wirkung erbracht.

## 6. Fazit und Ausblick

Call Center sind Organisationseinheiten, denen eine zunehmende Bedeutung in der Erfüllung von qualitativen und quantitativen Unternehmenszielen beigemessen werden kann. Durch den wachsenden Anspruch der Verbraucher an die Produkt- und Servicequalität übernehmen sie wichtige Aufgaben, die eine steigende Kundenzufriedenheit, die langfristige Kundenbindung und die Neukundengewinnung zum Ziel haben. Innerhalb des Aufsatzes liegt der Schwerpunkt auf Inbound Call Centern, die einen hohen Anteil an Standardfragen zu bearbeiten haben, aufgrund der Komplexität einer unterschiedlichen Bearbeitungszeit sowie starken tageszeitlichen Schwankungen in der Anfrageintensität unterliegen. Für derartige Call Center ist aufgrund dieser Besonderheiten

---

<sup>82</sup> Vgl. Abb. 10.

eine kosteneffiziente Personaleinsatzplanung erforderlich, um einen dauerhaft wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen.

Aus diesem Grund bedarf es einer Analyse und Abstimmung der angestrebten Servicequalität und dem effektiven und effizienten Einsatz von Call Center Agenten, um die Ziele der Kostenminimierung bei gleichzeitig hoher Servicequalität sicherzustellen.

Es wird ein Lösungsansatz untersucht, der die Personaleinsatzplanung im Echtzeitbetrieb eines Call Centers analysiert und dessen Realisierung auf dem Ansatz der Künstlichen neuronalen Netzen beruht. Neben einer allgemeinen Einleitung und Vorstellung von KNN wurde darauf hingewiesen, dass diese entsprechend dem biologischen Vorbild in der Lage sind, zur Verfügung gestellte Informationen in Zusammenhang bringen und über Lerneffekte sich einer Umwelt anpassen zu können. Hierbei sind die Neurone eines KNN über Gewichtungen untereinander verbunden, so dass die Informationsausgabe gewichtet weitergeleitet und vom nächsten Neuron weiterverarbeitet werden kann.

Die für diese Arbeit verwendete Netzwerkarchitektur basierte auf einem dreilagigen Perzeptron, das mit Hilfe des FAUN-Neurosimulators eine praktische Anwendung fand.

Die dreilagigen Perzeptrons sind Netze ohne Rückkopplung, deren Neurone drei Schichten zugeordnet und nach dem Lernkonzept des überwachten Lernens befähigt sind, bei den ihnen zur Verfügung gestellten Referenzdaten mit Ein- und Ausgabemustern, Zusammenhänge zu erkennen und zu lernen.

Die praktische Anwendung dieses Lernkonzeptes erfolgte mit Daten der BHW Directservice GmbH. Auf der Basis der verfügbaren Daten der KOC Hotline wurden mehrere Trainings in FAUN durchgeführt, die die Berechnung der optimalen Approximationsfunktion ermöglichten. Wie gut die Netze die Zusammenhänge gelernt haben, wird anhand des von FAUN ermittelten Fehlers und mit Hilfe der grafischen Analyse festgestellt. Die Auswertung der Trainingsergebnisse beinhaltet eine Analyse der Fehler und des Flächenverlaufs. Es konnte geschlussfolgert werden, dass KNN ein starkes Rauschen in den Mustern am besten mit einem inneren Neuron ausgleichen kann und somit die benötigte Agentenzahl am optimalsten approximiert. Als Ergebnis des Soll-Ist Vergleiches konnte somit festgehalten werden, dass das KNN hervorragend qualifiziert ist,

die zur Erreichung des angestrebten Service Levels benötigte Anzahl der Agenten zu jeder beliebigen Zeit (Wochentag, Tagesverlauf) zu ermitteln.

Für das hier angeführte Beispiel der BHW Direktservice GmbH konnte ein Test beziehungsweise Implementierung noch nicht vorgenommen werden, da ausschließlich die Approximationsfunktion einer einzigen Hotline anhand realer Daten bestimmt werden konnte. Um den Personaleinsatz für das gesamte Call Center planen zu können, müssen in Zukunft weitere Daten anderer Hotlines trainiert werden.

## Literaturverzeichnis

- ALEX, B.: Künstliche neuronale Netze in Management-Informationssystemen : Grundlagen und Einsatzmöglichkeiten. Gabler, Wiesbaden 1998.
- BADERSCHNEIDER, H.-T., LEMKE, A., MENZLER-TROTT, E.: Call Center-Systeme. In: Menzler-Trott, E. (Hrsg.): Call-Center-Management: ein Leitfaden für Unternehmen zum effizienten Kundendialog. S. 177-224. Beck, München 1999.
- BHW DIREKTSERVICE GMBH: Unternehmenspräsentation. Zur Verfügung gestellt von: Diestelhorst B., Bohne M.. Erstelldatum: 13.07.2005.
- BÖSE, B., FLIEGER, E.: Call Center – Mittelpunkt der Kundenkommunikation: Planungsschritte und Entscheidungshilfen für das erfolgreiche Zusammenwirken von Mensch, Organisation, Technik. Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden 1999.
- BRAUN, H., FEULNER, J., MALAKA, R.: Praktikum neuronale Netze. Springer, Berlin u.a. 1996.
- BRAUN, H.: Neuronale Netze: Optimierung durch Lernen und Evolution. Springer, Berlin u.a. 1997.
- BREITNER, M.H.: Nichtlineare, multivariate Approximation mit Perzeptrons und anderen Funktionen auf verschiedenen Hochleistungsrechnern. Akademische Verlagsgesellschaft Aka GmbH, Berlin 2003.
- BUSCH, C.: CallCenter-Trendstudie 2005. [http://www.competence-site.de/callcenter.nsf/5123B05B13275ECCC12571D1004F51EA/\\$File/busch\\_ccts2005.pdf](http://www.competence-site.de/callcenter.nsf/5123B05B13275ECCC12571D1004F51EA/$File/busch_ccts2005.pdf). Erstelldatum: 01.12.2005, Druckdatum: 21.06.2007.
- CLEVELAND, B., MAYBEN, J., GREFF, G.: Call-Center-Management: Leitfaden für Aufbau, Organisation und Führung von Teleservicecentern. Gabler, Wiesbaden 1998.
- DATAMONITOR: PROFITEL CC-ATLAS. In: DDV: Wirtschaftszahlen im Bereich Direktmarketing/Telefonmarketing.<http://www.ddv.de/downloads/>

WirtschaftsfaktorCallCenter.pdf. Erstelldatum: November 2006, Druckdatum: 18.07.2007.

DEUTSCHE POSTBANK AG: BHW Gruppe gehört nun zur Postbank [http://www.postbank.de/pbde\\_ag\\_home/pbde\\_pr\\_presse/pbde\\_pr\\_pressearchiv/pbde\\_pr\\_pressearchiv\\_2006/1101981832201.html](http://www.postbank.de/pbde_ag_home/pbde_pr_presse/pbde_pr_pressearchiv/pbde_pr_pressearchiv_2006/1101981832201.html). Erstelldatum: 02.01.2006, Druckdatum: 05.07.2007.

DOMSCHKE, W., DREXL, A.: Einführung in Operations Research. 5. Auflage, Springer, Berlin u.a. 2002.

EU-MARKETINGPORTAL: Call-Center-Branche steht vor tiefgreifendem Transformationsprozess. [http://www.eu-marketingportal.de/web/index.cfm/Call-Center-Branche\\_steht\\_vor\\_tiefgreifendem\\_Transformationsprozess/:var:site:ausgabe:katID:25:contentID:15049:siteref:kategorie](http://www.eu-marketingportal.de/web/index.cfm/Call-Center-Branche_steht_vor_tiefgreifendem_Transformationsprozess/:var:site:ausgabe:katID:25:contentID:15049:siteref:kategorie). Erstelldatum: 11.06.2007, Druckdatum: 20.07.2007.

GANS, N., KOOLE, G., MANDELBAUM, A.: Commissioned Paper. Telephone Call Centers: Tutorial, Review, and Research Prospects. <http://iew3.technion.ac.il/serveng/References/Gans-Koole-Mandelbaum-CCReview.pdf>. Erstelldatum: 2003, Druckdatum: 07.07.2007.

GROSS, D., HARRIS, C.M.: Fundamentals of queueing theory. 3. Auflage, Wiley, New York u.a. 1998.

HELBER, S., STOLLETZ, R., HERMANN, S.: Erfolgszielorientierte Agentenallokation in Inbound Call Centern. [http://www.competence-site.de/crm.nsf/89605525645D2599C1256C3700546552/\\$File/helber\\_callcenteragentenallokation.pdf](http://www.competence-site.de/crm.nsf/89605525645D2599C1256C3700546552/$File/helber_callcenteragentenallokation.pdf). Erstelldatum: September 2002, Druckdatum: 09.07.2007.

HELBER, S., STOLLETZ, R.: Call Center Management in der Praxis: Strukturen und Prozesse betriebswirtschaftlich optimieren. Springer, Berlin u.a. 2004.

HELBER, S., STOLLETZ, R.: Grundlagen und Probleme der Personalbedarfsermittlung in Inbound-Call Centern. <http://www.competence-site.de/callcenter.nsf/A40>

E5BB55640D81FC12571D1004F51BC/\$File/callcenterbedarfsermittlung\_v2.pdf. Erstelldatum: 05.10.2001, Druckdatum: 06.07.2007.

- HOFFMANN, N.: Kleines Handbuch neuronale Netze: anwendungsorientiertes Wissen zum Lernen und Nachschlagen. Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden 1993.
- KINNEBROCK, W.: Neuronale Netze: Grundlagen, Anwendungen, Beispiele. Oldenbourg, München/Wien 1992.
- KISTNER, P.K.: Warteschlangentheorie. In: Gal, T.: Grundlagen des Operations Research. Spieltheorie, dynamische Optimierung, Lagerhaltung, Warteschlangentheorie, Simulation, unscharfe Entscheidungen. S. 253-286. Springer, Berlin u.a. 1987.
- KÖLLER, F., BREITNER M.H.: Optimierung von Warteschlangensystemen in Call Centern auf Basis von Kennzahlenapproximationen. In: Günther, H.-O., Mattfeld, D.C., Suhl, L. (Hrsg.): Supply Chain Management und Logistik: Optimierung, Simulation, Decision Support. S. 459-482. Physica-Verlag, Heidelberg 2005.
- KÖNIG, S., KÖLLER, F., BREITNER, M.H.: FAUN 1.1 user manual. Institut für Wirtschaftsinformatik, Hannover 2005.
- KOOLE, G., MANDELBAUM, A.: Queueing Models of Call Centers. An Introduction. <http://www.math.vu.nl/sto/publications/2001-7.pdf>. Erstelldatum: Oktober 2001, Druckdatum: 06.07.2007.
- KRUSE, J.P.: Die strategische Bedeutung der Innovation Call Center. In: Henn, H., Kruse, J.P., Strawe, O.V. (Hrsg.): Handbuch Call Center Management: das große Nachschlagewerk für alle, die professionell mit dem Telefon arbeiten. S. 11-36. 1. Auflage, telepublic – Verlag, Hannover 1996.
- KUHN, K.: Technik im Call Center. In: Henn, H., Kruse, J.P., Strawe, O.V. (Hrsg.): Handbuch Call Center Management: das große Nachschlagewerk für alle, die professionell mit dem Telefon arbeiten. S. 287-308. 1. Auflage, telepublic–Verlag, Hannover 1996.



- LAWRENCE, J.: Neuronale Netze: Computersimulation biologischer Intelligenz. Systema Verlag, München 1992.
- MAZZETTI, A.: Praktische Einführung in neuronale Netze. Heise, Hannover 1992.
- NAUCK, D., KLAWONN, F., KRUSE, R.: Neuronale Netze und Fuzzy-Systeme: Grundlagen des Konnektionismus, neuronaler Fuzzy-Systeme und der Kopplung mit wissensbasierten Methoden. 2. Auflage, Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden 1996.
- NEIDEL, M.: Kapazitätsplanung und Partizipation. In: Schrick, K., Dollinger, A. (Hrsg.): Das innovative Call Center: Erfolgsstrategien für serviceorientiertes Call-Center-Management. S 324-335. Econ, München u.a. 1999.
- O. V.: Call Center Branchen-Untersuchung in Mecklenburg-Vorpommern. <http://www.wm.mv-regierung.de/doku/ergebnisbericht-gesamt.pdf>. Erstelldatum: 2004, Druckdatum: 10.06.2007.
- PATTERSON, D.W.: Künstliche neuronale Netze: das Lehrbuch. 2. Auflage, Prentice Hall, Haar bei München u.a. 1997.
- RIGOLL, G.: Neuronale Netze: eine Einführung für Ingenieure, Informatiker und Naturwissenschaftler. expert-Verlag, Renningen-Malmsheim 1994.
- ROJAS, R.: Was können neuronale Netze?. In: Schulz R.-H. (Hrsg.): Mathematische Aspekte der angewandten Informatik. <http://www.emis.ams.org/monographs/schulz/rojas.pdf>. Erstelldatum: 2000, Druckdatum: 12.07.2007.
- SCHNEIDER, D., EMDE, P., RAPP, O.: Vom Call-Center zum multimedialen Communication-Center. In: Grewenig, I. (Hrsg.): Multimedia- und Call-Center: ein Praxis-handbuch. S. 1-28. C.F. Müller Verlag, Heidelberg 2002.
- SCHNORR, G.K.: Grundlagen der computerunterstützten Personaleinsatzplanung im Call Center. In: Menzler-Trott, E. (Hrsg.): Call-Center-Management: ein Leitfaden für Unternehmen zum effizienten Kundendialog. S. 305-370. Beck, München 1999.

SCHÖNEBURG, E., HANSEN, N., GAWLCYK, A.: Neuronale Netzwerke: Einführung, Überblick und Anwendungsmöglichkeiten. Markt&Technik Verlag AG, Haar bei München 1990.

TAHA, H.A.: Operations research: an introduction. 7. Auflage, Prentice Hall, Upper Saddle River/NJ 2003.

WIENCKE, W., KOKE, D.: Call Center Praxis: den telefonischen Kundenservice erfolgreich organisieren. Schäffer-Poeschel, Stuttgart 1997.

WILBERT, R.: Interpretation und Anwendung neuronaler Netze in den Wirtschaftswissenschaften. Lang, Frankfurt am Main u.a. 1996.

ZELL, A.: Simulation neuronaler Netze. 3. Auflage, Oldenbourg, München/Wien 2000.

# IWI Discussion Paper Series/Diskussionsbeiträge

ISSN 1612-3646

Michael H. Breitner, *Rufus Philip Isaacs and the Early Years of Differential Games*, 36 p., #1, January 22, 2003.

Gabriela Hoppe and Michael H. Breitner, *Classification and Sustainability Analysis of e-Learning Applications*, 26 p., #2, February 13, 2003.

Tobias Brüggemann und Michael H. Breitner, *Preisvergleichsdienste: Alternative Konzepte und Geschäftsmodelle*, 22 S., #3, 14. Februar, 2003.

Patrick Bartels and Michael H. Breitner, *Automatic Extraction of Derivative Prices from Webpages using a Software Agent*, 32 p., #4, May 20, 2003.

Michael H. Breitner and Oliver Kubertin, *WARRANT-PRO-2: A GUI-Software for Easy Evaluation, Design and Visualization of European Double-Barrier Options*, 35 p., #5, September 12, 2003.

Dorothee Bott, Gabriela Hoppe und Michael H. Breitner, *Nutzenanalyse im Rahmen der Evaluation von E-Learning Szenarien*, 14 S., #6, 21. Oktober, 2003.

Gabriela Hoppe and Michael H. Breitner, *Sustainable Business Models for E-Learning*, 20 p., #7, January 5, 2004.

Heiko Genath, Tobias Brüggemann und Michael H. Breitner, *Preisvergleichsdienste im internationalen Vergleich*, 40 S., #8, 21. Juni, 2004.

Dennis Bode und Michael H. Breitner, *Neues digitales BOS-Netz für Deutschland: Analyse der Probleme und mögliche Betriebskonzepte*, 21 S., #9, 5. Juli, 2004.

Caroline Neufert und Michael H. Breitner, *Mit Zertifizierungen in eine sicherere Informationsgesellschaft*, 19 S., #10, 5. Juli, 2004.

Marcel Heese, Günter Wohlers and Michael H. Breitner, *Privacy Protection against RFID Spying: Challenges and Countermeasures*, 22 p., #11, July 5, 2004.

Liina Stotz, Gabriela Hoppe und Michael H. Breitner, *Interaktives Mobile(M)-Learning auf kleinen Endgeräten wie PDAs und Smartphones*, 31 S., #12, 18. August, 2004.

Frank Köller und Michael H. Breitner, *Optimierung von Warteschlangensystemen in Call Centern auf Basis von Kennzahlenapproximationen*, 24 S., #13, 10. Januar, 2005.

Phillip Maske, Patrick Bartels and Michael H. Breitner, *Interactive M(obile)-Learning with UbiLearn 0.2*, 21 p., #14, April 20, 2005.

Robert Pomes and Michael H. Breitner, *Strategic Management of Information Security in State-run Organizations*, 18 p., #15, May 5, 2005.

Simon König, Frank Köller and Michael H. Breitner, *FAUN 1.1 User Manual*, 134 p., #16, August 4, 2005.

Christian von Spreckelsen, Patrick Bartels und Michael H. Breitner, *Geschäftsprozessorientierte Analyse und Bewertung der Potentiale des Nomadic Computing*, 38 S., #17, 14. Dezember, 2006.

Stefan Hoyer, Robert Pomes, Günter Wohlers und Michael H. Breitner, *Kritische Erfolgsfaktoren für ein Computer Emergency Response Team (CERT) am Beispiel CERT-Niedersachsen*, 56 S., #18, 14. Dezember, 2006.

Christian Zietz, Karsten Sohns und Michael H. Breitner, *Konvergenz von Lern-, Wissens- und Personalmanagementssystemen: Anforderungen an Instrumente für integrierte Systeme*, 15 S., #19, 14. Dezember, 2006.

Christian Zietz und Michael H. Breitner, *Expertenbefragung „Portalbasiertes Wissensmanagement“: Ausgewählte Ergebnisse*, 30 S., #20, 5. Februar, 2008.

Harald Schömburg und Michael H. Breitner, *Elektronische Rechnungsstellung: Prozesse, Einsparpotentiale und kritische Erfolgsfaktoren*, 36 S., #21, 5. Februar, 2008.

