



DISSERTATION

Neuronales Data Mining unter chaostheoretischen Aspekten in technisch- kybernetischen Systemen

*Konstruktivistische Sichtweisen und
Ansätze in der Verkehrstelematik*

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der technischen Wissenschaften unter der Leitung
von

HonProf. Dr. Wolfgang Katzenberger
E330

Institut für Managementwissenschaften
Bereich für Betriebstechnik und Systemplanung

und

O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.mult.h.c. Peter Kopacek
E325

Institut für Mechanik und Mechatronik
Abteilung für Intelligente Handhabungs- und Robotertechnik

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Maschinenbau

von

DI Werner Toplak

9625850, 086

Wenystasse 1, 4690 Oberndorf bei Schwanenstadt

Wien, am



“Die Welt als eine Erfindung aufzufassen, heißt, sich als ihren Erzeuger zu begreifen; es entsteht Verantwortung für ihre Existenz.”

Heinz von Förster

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benützt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Wien, am _____

Danksagung

Drei Jahre sind eine sehr lange Zeit, durch die mich interessante und wertvolle Menschen begleitet haben. Ihrer Unterstützung verdanke ich es, dass ich mich so weit entwickeln und entfalten konnte. Auf der fachlichen Seite bedanke ich mich bei DI (FH) Dietrich Leih, DI Walter Schneider, DI Jürgen Zajicek und DI Anton Plimon (arsenal research), Dr. Peter Porzer (FH Joanneum), Hon.Prof. Dr. Wolfgang Katzenberger, O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c. Hans Troger, O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.mult.h.c. Peter Kopacek und Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Günther Raidl (TU-Wien). Dafür, dass sie meine Ideen unterstützten und mir das Vertrauen entgegen gebracht haben meine Visionen zu verwirklichen. Meinen Freunden habe ich sowohl wertvolle Diskussionen, entspannende Momente und persönlichen Rückhalt zu verdanken. Meinen Eltern danke ich für die Freiheit mich selbst zu finden. Dir, Sabine, danke ich dafür, was ich durch Dich und mit Dir geworden bin: grenzenlos und unbeschreiblich glücklich. Du bist mein Gegenstück auf dieser Erde und Dein Lächeln ist als würden sich Sonne und Mond am Himmel berühren. Mit dir ist die Welt so bunt und ein Quell der Hoffnung.



Die vorliegende Arbeit entstand aus einem Erkenntnisprozess im

arsenal research

Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal Ges.m.b.H.

Giefinggasse 2, 1210 Wien

Geschäftsfeld Verkehrstechnologien

in interdisziplinären Diskussionen mit den Kollegen

DI(FH) Johannes Asamer,

DI(FH) Norbert Hainitz,

DI Hannes Koller,

DI(FH) Dietrich Leihns MAS,

Dr. DI Martin Linauer MSc,

DI Bernhard Nowotny,

DI Michael Schneider und

DI Walter Schneider.

für Sabine

Vorwort

Diese Arbeit befasst sich mit dem Erkennen von Systemeigenschaften. Die Forschungslandschaft gestaltet sich immer interdisziplinärer und es treffen viele unterschiedliche Persönlichkeiten aufeinander, die an der gemeinsamen Lösung von Problemen arbeiten. Ein jeder sieht ein Problem aus seinem individuellen Blickwinkel. In Summe gesehen ergeben sich hybride Anwendungen, in denen sich verschiedene Lösungsansätze ergänzen, vereinen und absichern.

Die visuelle Aufbereitung von Beobachtungsdaten, auch als Visuelles Data Mining bekannt, ist ein Grundstein dieser Arbeit. Die Kreation von informationsdichten Visualisierungen als Diskussionsgrundlage in interdisziplinären Teams hilft disziplinfremde Ansätze leichter transportabel und verständlich zu machen. In den letzten Jahrzehnten hat die Künstliche Intelligenz (KI) Einzug in viele Bereiche der Wissenschaft gehalten. Auf der Forschungsseite beschäftigt man sich in der Verkehrstelematik seit einigen Jahren mit Künstlichen Neuronalen Netzen (KNN) zur Mustererkennung, Klassifikation und Prognose. Im Vergleich zu früher ist unsere Welt mittlerweile in Echtzeit messbar. Die Datenbestände wachsen täglich und oft haben die Betreiber der Datenaufzeichnungen noch keine Ahnung, wonach sie eigentlich suchen sollen. Ökologisch, technisch und ökonomisch gibt es sehr viel Optimierungspotenzial, um unsere Systeme nachhaltig zu betreiben. Rohstoffeinsatz, Energieverbrauch und Schadstoffemissionen sind Kernpunkte des öffentlichen Interesses.

In einem mikroskopisch motivierten Ansatz wurden KNN zur Klassifikation bzw. Prognose von Verkehrskenngrößen eingesetzt. Die Kurzfristprognose (15 Minuten bis 2 Stunden) von Geschwindigkeiten rückt aufgrund von LKW-Mautdaten in das Zentrum der Betrachtungen. KNN eignen sich aufgrund ihrer sehr kurzen Recall-Phase für die Schonung von Rechnerressourcen im laufenden Betrieb. Dies ist ein maßgeblicher Unterschied im Vergleich zu Expertensystemen (XPS), die Wissen nicht assoziativ während eines Lernprozesses bilden, sondern durch Abfragen einen Datenbestand (Wissensbasis) auf Ähnlichkeit durchsuchen.

Einerseits drehen sich die Fragen um die Datenselektion hinsichtlich chaostheoretischer Konzepte zur Optimierung von Lernprozessen. Der *β -Converter* ist ein auf MatLab basierender Prototyp, mit dessen Hilfe ein erster Zugang in der Darstellung von chronologischen Messwerten gegeben wird. Weiters wird ein Ansatz vorgestellt, der sich der Indikatoren für Stabilität (Entropie und Ljapunow-

Exponent) bedient: Das so erfundene ALEV-Verfahren (Aspekte von Ljapunow, Entropie und Varianz) wurde zur Patentierung angemeldet und eignet sich für die Reduktion großer Datenbestände von Zeitreihen. Auf dieser Basis wurden *Multi-Layer-Perceptrons* (MLPs) und weitere fortgeschrittene Feed-Forward Netze mit den so chaos-theoretisch gefilterten Datensätzen beschickt und hinsichtlich ihrer Prognosegüte untersucht. Dabei erfolgten auch Untersuchungen hinsichtlich der Einbettungsdimension von Geschwindigkeitssequenzen. Mit dem Einsatz von genetischen Algorithmen wurden KNN evolutionär optimiert. Auf Basis dieser Ergebnisse entstand ein Verkehrsinformationssystem, in dessen Prognosemodul mehr als 900 MLPs operativ arbeiten und das die österreichischen Autobahnen abdeckt. Sensitivitätsanalysen ermöglichen tiefere Einblicke in das abgebildete nichtlineare Systemverhalten. Perturbationsdiagramme ermöglichen das Ergründen von Kausalauswirkungen und deren zeitliche Relevanz in der Vergangenheit. Eine entsprechende Reduktion der Eingangsdimensionen wurde untersucht. Zuletzt wird ein Ausblick gegeben, der sich mit zukünftigen Anwendungen und Forschungsthemen beschäftigt.

Der übergeordnete Begriff *Neuronales Data Mining* (NDM) rückt dabei den Menschen und die Maschine erkenntnistheoretisch näher zusammen und den Menschen dabei im speziellen in den Vordergrund: Er ist es, der beschreibt und modelliert. Jede Theorie ist ein weiterer Aspekt auf der Suche nach einem Gesamtbild. Und das System, das es zu beschreiben gilt, ist von technisch-kybernetischer Natur: sozial und biologisch dominiert, technologisch getragen. Hochkomplex und nicht linear.

Abstract

This work deals with the recognition of system properties. The landscape of research becomes more interdisciplinary and many different personalities meet each other to work together on solutions of problems. Each one watches a problem in an own individual aspect. Summed up this results in hybrid applications in which different initial stages for solution complement, merge and secure each other.

The visual preparation of observation-data, known as Visual Data Mining, is one of the cornerstones of this work. The creation of information-dense visualisations as a basis for discussion in interdisciplinary teams helps to make strange disciplines become transportable and understandable more easily. In the last decades Artificial Intelligence (AI) reached many areas of science. On the research sector of Traffic Telematics Artificial Neural Networks (ANN) are in use for pattern recognition, clustering, classification and forecasting. In comparison to former times – our world is measurable. Data pools are growing daily and often the carriers do not have any doubt about to look for inside the data. There is potential for optimization in Ecology, Technology and Economy to operate our systems in a more sustainable way. The use of resources and energy and the reduction of emissions are core-topics of public interest.

In an microscopic-motivated approach ANNs have been used for the classification and prognosis of traffic parameters. It scopes on short time prediction (15 minutes up to 2 hours) of speeds based on data which has been extracted out of the heavy-traffic tolling system. ANNs are qualified for online-use due to their short recall phase. This is a major difference in comparison to Expert Systems (XPS), which do not build associative knowledge during a learning process, but instead search inside data-bases for similarity.

One the one hand questions about data selection in respect to nonlinear concepts for the optimisation of learning processes are discussed. The *β -Converter* is a MatLab based prototype, which gives a first approach in the statement of chronological measurements. On the other hand an approach is introduced which handles the indicators for stability (Entropy and Ljapunow-exponent). The so called ALEV-Method (Aspects of Lyapunov, Entropy and Variance) has already proposed for patenting and is useful for the reduction of big stocks of timeseries data. Examinations regarding the embedding dimension of speed-sequences are carried out. On this basis Multi-Layer-Perceptrons (MLPs) and other advanced ANN

architectures were loaded with filtered data in respect to chaos theory and analysed for prediction quality. Genetic Algorithms (GAs) have been used to optimize the ANNs in an evolutionary way.

The results have been in use for the creation of a Traffic-Information-System (TIS), whose prognosis-module consists of more than 900 MLPs which are working operative and covering the whole Austrian motorways. Sensitivity analysis offer deeper insights on the mapping of non-linear system behaviour. Perturbation diagrams enable to fathom effects of causality and their timely relevance in the past. A corresponding reduction of input dimensions has been investigated.

At last an outlook is given, which deals with possible applications and research topics in the future.

The notion *Neural Data Mining* (NDM) tries to bring together the human being and the machine in the sense of epistemology and focuses on the human being, which describes and builds models. Every theory is another aspect on the quest for an overall picture. And the system, which is tasked to be described, is of technical-cybernetic nature: social and biological dominated, technological carried.

INHALTSVERZEICHNIS

KAPITEL 1

MOTIVATION UND HINTERGRÜNDE	1
1.1 DIE KYBERNETIK (CYBERNETICS)	2
1.1.1 Erfinden, Entwickeln und Erkennen	5
1.1.2 Prinzipiell entscheidbare Fragen	7
1.1.3 Prinzipiell unentscheidbare Fragen	7
1.2 KONNEKTIONISMUS UND KONSTRUKTIVISMUS	9

KAPITEL 2

TECHNISCH-KYBERNETISCHE SYSTEME	20
2.1 DAS SYSTEM	21
2.1.1 System und Umwelt	22
2.1.2 Komplexität	23
2.2 SYSTEMDENKEN	25
2.3 SYSTEMTHEORIE	28
2.3.1 Naturwissenschaft und Konnektionismus	29
2.3.2 Neuronale Netze als Systemabbildungen	31
2.4 TECHNISCH-KYBERNETISCHES VERKEHRSGESCHEHEN	33
2.5 NACHHALTIGE ETABLIERUNG NEUER IDEEN	38

KAPITEL 3

REALITÄT UND NEURONALES DATA MINING	40
3.1 DIE BILDUNG DER REALITÄT DES MENSCHEN	41
3.2 DATA MINING (DM)	45
3.3 VISUELLES DATA MINING (VDM)	47
3.4 NEURONALES DATA MINING (NDM)	48
3.5 KRITIK	51

KAPITEL 4

CHAOSTHEORETISCHE KONZEPTE	52
4.1 ENTROPIE	54
4.2 POINCARÉ ABBILDUNGEN	58
4.3 LJAPUNOW EXPONENTEN (LE)	58
4.3.1 Definition der Ljapunow-Stabilität	61
4.3.2 Definition des Ljapunow-Exponenten	62
4.3.3 Numerische Berechnung des Ljapunow-Exponenten	63
4.4 EINBETTUNGSDIMENSION	68
4.5 ZEITVERZÖGERUNG (TIME DELAY)	72

4.5.1	<i>Autokorrelation</i>	75
4.5.2	<i>Mutual Average Information Kriterium (MAI)</i>	75
4.6	FALSE NEAREST NEIGHBOURS (FNN)	77
4.7	ZUSAMMENFASSUNG	79
KAPITEL 5		
DER BETA-CONVERTER – EIN PROTOTYP ZUR VISUALISIERUNG VON ZEITREIHEN		81
5.1	DAS KONZEPT: CHAOSTHEORETISCHE ASPEKTE ZUR ANALYSE VON VERKEHRSDATEN	84
5.1.1	<i>Kurzbeschreibung des Vorhabens</i>	84
5.1.2	<i>Ziele</i>	84
5.1.3	<i>Ausblick</i>	85
5.2	DER BETA-CONVERTER	85
5.2.1	<i>Einführung</i>	85
5.2.2	<i>Der Prototyp</i>	86
5.2.3	<i>Integrierte Konzepte</i>	88
KAPITEL 6		
FORMERHALTENDE DATENSELEKTION: DAS ALEV-VERFAHREN		106
6.1	ASPEKTE DER STABILITÄT	109
6.1.1	<i>EL-Matrix</i>	110
6.1.2	<i>VE-Matrix</i>	114
6.1.3	<i>VL-Matrix</i>	115
6.2	ERWARTETE REPRÄSENTATION UND MODELLTEST	116
6.3	DATENSELEKTION MIT DEM ALEV-ALGORITHMUS	118
6.4	BEWEIS GLEICH BLEIBENDER GENERALISIERUNGSGÜTE	121
6.4.1	<i>Mittlerer Quadratischer Fehler (MSE)</i>	121
6.4.2	<i>Korrelationskoeffizient r</i>	122
6.4.3	<i>Relativer Fehler (RE)</i>	122
6.4.4	<i>Akaiques Informationskriterium (AIC)</i>	122
6.4.5	<i>Minimale Beschreibungslänge (MDL)</i>	123
6.4.6	<i>Cycles to Overfit</i>	123
6.4.7	<i>Time to Overfit</i>	123
6.5	NACHWEIS VON SIGNIFIKANTEN UNTERSCHIEDEN BEI HEURISTISCHEN VERFAHREN	124
6.6	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	129

KAPITEL 7	
NEURONALE NETZE IM AUFWIND?	131
7.1 NEURONALE NETZE UND DAS 21. JAHRHUNDERT	131
7.2 EIN WEG ZUM ERFOLG?	135
7.3 PERCEPTRONS	138
7.4 DIE RELATIVIERUNG - NETTALK	145
7.5 MODERNE ANWENDUNGEN NEURONALER NETZE	149
KAPITEL 8	
FORTGESCHRITTENE FEED FORWARD ARCHITEKTUREN ZUR ECHTZEITPROGNOSE	153
8.1 KLASSISCHER NICHTLINEARER ASSOZIATOR: MLP	153
8.2 NICHTLINEARER GENERALISIERER 2. ORDNUNG: GFFN	154
8.3 REGIONALE KONZENTRATION: MODULAR NN	155
8.4 KURZZEITGEDÄCHTNIS: ELMAN-NETZWERK	156
8.5 NICHTLINEAR HYBRID UNÜBERWACHT: RADIALE BASISFUNKTIONEN NETZWERK (RBF-NN)	159
8.6 SUPPORT VECTOR MACHINE (SVM)	160
8.7 POPULATIONSGEDÄCHTNIS: GENETISCHE ALGORITHMEN (GA) ZUR NETZWERKOPTIMIERUNG	162
8.7.1 <i>Initialisierung</i>	164
8.7.2 <i>Selektion</i>	164
8.7.3 <i>Rekombination</i>	166
8.7.4 <i>Mutation</i>	167
8.7.5 <i>Terminierung</i>	168
8.8 ZUSAMMENFASSUNG	168
KAPITEL 9	
LANGZEITBEOBACHTUNGEN UND PROGNOSEGÜTE	169
9.1 DATENGRUNDLAGE	169
9.2 SIMULATIONSERGEBNISSE	170
9.3 SIGNIFIKANZTEST	175
9.4 ZUSAMMENFASSUNG	181
KAPITEL 10	
ECHTZEITFÄHIGE KURZFRISTPROGNOSEN	182
10.1 DATENVISUALISIERUNG	183
10.1.1 <i>Punktabbildung</i>	183
10.1.2 <i>Polardarstellung</i>	184

10.2 DATENBASIS	187
10.2.1 Filterungen (Smoothing)	187
10.2.2 Sequenzgenerierung (Windowing)	188
10.3 PROGNOSEN	189
10.4 ZUSAMMENFASSUNG	195
KAPITEL 11	
SENSITIVITÄTSANALYSE UND NICHT-LINEARE MATHEMATISCHE ABBILDUNG	197
11.1 PERTURBATIONEN UND DEREN DARSTELLUNG	197
11.2 MATHEMATISCHE ABBILDUNG	200
11.2.1 Prognosehorizont $t+1$	200
11.2.2 Prognosehorizont $t+2$	202
11.2.3 Prognosehorizont $t+4$	203
11.2.4 Prognosehorizont $t+8$	204
11.3 ALLGEMEINER EINFLUSS DER MODELLINPUTS	205
11.4 BESTIMMUNG VON VERZÖGERUNG UND EINBETTUNGSDIMENSION	207
11.4.1 Delay	207
11.4.2 Einbettungsdimension	207
11.5 VERGLEICHSSIMULATION	209
11.6 ZUSAMMENFASSUNG	211
KAPITEL 12	
ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	213
12.1 IMPACT AUS DER CHAOSTHEORIE	213
12.2 KI IN DER KURZFRISTPROGNOSE	215
12.3 WEITERENTWICKLUNGEN	216
KAPITEL 13	
EPILOG: ÜBER DEN SINN UND UNSINN VON PROGNOSEN	220
13.1 PROGNOSE, INTUITION UND PROPHEZEIUNG	220
13.2 PROGNOSEN IN DER ANWENDUNG	222
13.3 LANGZEITPROGNOSEN UND IHRE AUSWIRKUNGEN	223
LITERATUR	229
INTERNETQUELLEN	241

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	244
TABELLENVERZEICHNIS	249
APPENDIX A	
POSTER: NEURAL DATA MINING	A1
APPENDIX B	
SOURCECODE	B1-B24
APPENDIX C	
PRODUKTBLATT GoSmart	C1-C2
APPENDIX D	
BUSINESSPLAN: BETA-CONVERTER V1.0	D1
1. DER ERFINDER	D3
2. GESCHÄFTSIDEE, ZIELE UND POTENTIAL	D4
2.1 Ziele für die nächsten beiden Jahre	D5
2.2 Ziele für die nächsten 5 Jahre	D5
2.3 Strategien zur Erreichung dieser Ziele	D5
2.3 Erfolgsfaktoren	D6
3. DARSTELLUNG DER DIENSTLEISTUNGEN/DES PRODUKTES UND DER PRODUKTION	D6
3.1 Beschreibung der Dienstleistungen	D6
3.2 Beschreibung des Produktes	D6
3.3 Beschreibung des Angebotes	D7
3.4 Nutzen für die Kunden	D8
3.5 Vorteile gegenüber der Konkurrenz	D8
3.6 Was wird selbst produziert/geleistet bzw. was wird zugekauft?	D8
4. DER MARKT	D9
4.1 Größe des Marktes, geographische Abgrenzung	D9
4.2 Struktur des Marktes, Eintrittsbarrieren	D9
4.3 Zukunftstrends	D10
4.4 Marktlücken	D10
4.5 Hauptproduzent	D10
4.6 Angestrebte Partnerschaft für die nächsten 2 Jahre	D11
4.7 Benefits for Product Partners	D11

4.8 Product Partner Qualifications	D12
4.9 System Integrator Information	D12
4.10 Service Partner Information	D12
5. DIE KONKURRENZ	D12
6. DIE KUNDEN	D13
6.1 Zielgruppe	D13
6.2 Kontakte und Kundenanfragen	D13
7. RECHTLICHER RAHMEN	D13
8. STANDORT	D14
9. PERSONAL	D14
10. ORGANISATION	D15
11. RECHNUNGSWESEN	D15
12. RISIKOABSICHERUNG	D15
13. MARKETING	D16
13.1. Allgemein	D16
13.2 Corporate Identity, Kommunikationspolitik und Werbung	D16
13.3 Kundenbindung, Vertriebswege und Preispolitik	D17
14. ZEITPLANUNG	D18
15. KOSTENPLANUNG	D19
15.1 Kostenaufschlüsselung	D19
15.2 Finanzierungsoption	D19

LEBENS LAUF

WERNER TOPLAK

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ABS.....	Antiblockiersystem
ACC.....	Adaptive Cruise Control
ADALINE.....	ADaptive LINear Elements
AI.....	Artificial Intelligence
AIA.....	Artificial Intelligence and Applications
ALEV.....	Aspekte von Ljapunow, Entropie und Varianz, Aspects of Lyapunov, Entropy and Variance
ANFIS.....	Adaptive Neuro-Fuzzy Interference System
ANN.....	Artificial Neural Net(s)
ARIMA.....	Autoregressive Integrated Moving Average
ASFINAG.....	Autobahnen- und Schnellstraßen- Finanzierungs- Aktiengesellschaft
ASR.....	Antischlupfregelung
ATTC.....	Austrian Traffic Telematics Cluster
BETA.....	Basic Estimation of Timeseries by means of chaotic Orbits
BNN.....	Biologische(s) Neuronale(s) Netze
CAL.....	Cornell Aeronautical Laboratory
CCECE.....	IEEE Canadian Conference on Electrical
CG.....	Conjugate Gradient
CIA.....	Central Intelligence Agency and Computer Engineering
CIS.....	Laboratory of Computer and Information Science
CV.....	Crossvalidation
DBD.....	Delta Bar Delta
DARPA.....	Defense Advanced Research Projects Agency
DOF.....	Degree of Freedom
DM.....	Data Mining
EMCSR.....	European Meeting on Cybernetics and Systems Research
ESP.....	Elektronisches Stabilitätsprogramm

FCD	Floating Car Data
FF	Feed Forward
FG	Freiheitsgrad
FNN	False Nearest Neighbours
FFG	Österreichische Forschungs- förderungsgesellschaft
GA	Genetischen Algorithmen
GFFN	Generalized Feed-Forward Network
GMLE	Globaler Mittlerer Ljapunow Exponent
GNU	General Public Licence
GUI	Graphical User Interface
IASTED	International Association of Science and Technology for Development
IEEE	Institute of Electrical and Electronics
INRETS	French National Institute for Transport and Safety Research
IPTO	Information Processing Techniques Office
ITA	Institut für Technikfolgen-Abschätzung
KI	Künstliche Intelligenz
KMU	Kleine und Mittlere Unternehmen
KNN	Künstliche(s) Neuronale(s) Netz(e)
LE	Ljapunow Exponent
LKW	Lastkraftwagen
LLE	lokaler Ljapunow Exponent
LMS	Least Mean Square
MADALINE	Multiple ADaptive LINear Elements
MAI	Mutual Average Information
MCPS	Millions of Cycles per Second
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MLLE	Mittlerer lokaler Ljapunow Exponent
MLP	Multi-Layer Perceptron
MNN	Modulare Neuronale Netze
MSE	Mean Square Error
NDM	Neuronales Data Mining
NN	Neuronales Netz, Neural Net
ÖAW	Österreichischen Akademie der Wissenschaften

ONR.....	Office of Naval Research
PC.....	Personal Computer
PE.....	Processing Element
PNN.....	Probabilistische Neuronale Netze
PRNN.....	Partiell rekurrente Neuronale Netze
PU.....	Processing Unit
RBF.....	Radiale Basisfunktionen Netzwerk
RMSE.....	Root Mean Square Error
SMC.....	IEEE Society for Systems, Man and Cybernetics
SOS.....	Selbstorganisierende(s) Sytem(e)
SRI.....	Stanford Research Institute
SOM.....	Self-Organising-Map, Selbstorganisierende Karte
SVM.....	Support Vector Machine
TDNN.....	Time Delay Neural Network
TIS.....	Traffic Information System
TMC.....	Traffic Message Channel
USD.....	US-Dollar
VDM.....	Visuelles Data Mining
VMI.....	Verkehrsmanagement Informationssystem
XFCD.....	Extendet Floating Car Data
XPS.....	Expertensystem
ZMT.....	Zentrumsmannigfaltigkeitstheorie
ZNS.....	Zentralnervensystem

Kapitel 1

Motivation und Hintergründe

Nach etwa zwei Jahren habe ich wieder das Vergnügen in der Forschung tätig zu sein. Noch dazu in einem Bereich, den ich bereits mit meiner damaligen Diplomarbeit [Top04] ergründen durfte. Damals habe ich das wissenschaftliche Teilgebiet der Künstlichen Neuronalen Netze (KNN bzw. NN) von der technischen Seite erlernt und angewandt. Dennoch habe ich den Eindruck, dass ich die Denkweisen hinter diesem Ansatz genauer in Augenschein nehmen muss, um meiner Verantwortung in der Anwendung dieser und verwandter Theorien gerecht zu werden. Schließlich liegen hinter der praktischen Ebene der konkreten Anwendung noch die Ebenen der theoretischen und philosophischen Fundamente, die meines Erachtens nach sehr stark mit der praktischen Implementierung verbunden sein sollten.

Die Theorie der KNN findet ihre Begründung unter anderem in der Neurobiologie und –physiologie, der Mathematik und der Informatik. Einen maßgebenden Beitrag leistete die Kybernetik, die sich durch Verschmelzung der zuvor erwähnten – und noch weiterer – Wissenschaften auszeichnet. Ich will nun näher auf die Kybernetik eingehen und mich dabei an *Heinz von Förster* orientieren, der mich durch die Art seines Erzählens und Schreibens wohl am meisten gefesselt hat. In der Tat geben manche seiner Bücher durch die Sammlung diverser Reden und Konferenzbeiträge wohl den umfassendsten Einblick über die geschichtliche Entwicklung dieser Disziplin, die ich in groben Zügen wieder geben möchte.

1.1 Die Kybernetik (Cybernetics)

Heinz von Förster (1911–2002) war gebürtiger Wiener und studierte Physik an der Technischen Hochschule in Wien und an der Universität in Breslau. Seine Interessen lagen hierbei in der Psychophysik im Sinne *Gustav Theodor Fechners* (1801-1887) und in den erkenntnistheoretischen Entwicklungen des *Wiener Kreises*. Beruflich arbeitete er in verschiedenen industriellen Forschungslaboratorien zum Thema Mikrowellen. Nach dem 2. Weltkrieg verfasste er eine Monographie mit dem Titel *Das Gedächtnis: Eine quantenphysikalische Untersuchung*. Mit einer Auflage von 10 Exemplaren dieses Werkes trat er 1949, mit äußerst geringen Englischkenntnissen, seine Reise in die USA an. Die Exemplare seines Werkes wollte *Heinz von Förster* an alte Freunde schicken, und bereits die erste Antwort auf seine Briefe beinhaltete eine Einladung nach Chicago, wo er mit dem Neurophysiologen *Waren McCulloch* (1899-1969) zusammen traf. Dieser lud ihn zu der so genannten 6. Macy-Konferenz ein, die drei Wochen später in New York stattfinden sollte, damit er die Gelegenheit habe seine Geschichte zu erzählen. Außerdem wurde *Heinz von Förster* empfohlen das 1948 erschienene Buch *Cybernetics* des Mathematikers *Norbert Wiener* zu lesen, quasi als Einstimmung für die bevorstehende Tagung.

Insgesamt gab es 10 Macy-Konferenzen (1946-1953). Der Name Macy rührt von der Josiah Macy Jr. Foundation her, die stets Gastgeber war und deren Hauptbeitrag zur medizinischen Forschung in ihrem Konferenzprogramm bestand. Bis 1949 war das offizielle Thema der Macy-Tagungen *Zirkulärkausale- und Rückkoppelungsmechanismen in biologischen und sozialen Systemen*. Nachdem *Heinz von Förster* auf dieser 6. Tagung zum Herausgeber der Sitzungsprotokolle bestimmt worden war (um sein Englisch in kurzer Zeit zu verbessern) merkte er in der Runde der Anwesenden an, dass ihm der bisherige Titel zu lang und schwerfällig erscheine. Aus diesem Grund schlug er vor, dass diese Konferenz einfach unter dem Titel *Cybernetics* geführt werden sollte und die gegenwärtige Bezeichnung als Untertitel benutzt werden könnte. Als dieser Vorschlag unter Applaus und Gelächter einstimmig angenommen wurde, verließ *Norbert Wiener* den Raum, um seine Ergriffenheit zu verbergen. *Heinz von Förster* war in weiterer Folge Herausgeber von fünf Bänden über Kybernetik, jeweils die aufgearbeiteten Protokolle der 6. bis zur 10. Macy-Tagung. An diesen Arbeiten waren unter anderen *Norbert Wiener* (1894-1967), der Chemieingenieur, Mathematiker und Physiker *John von Neumann* (1903-1957), die Anthropologin und Ethnologin *Margaret Mead* (1904-1978) und ihr Ehemann, der Anthropologe, Biologe und Sozialwissenschaftler *Gregory Bateson* (1904-1980) beteiligt (nach [vFör93]).

Woher stammt der Begriff der Kybernetik? Norbert Wiener lehnte sich an das griechische Wort *kybernetes* (dt. Steuermann) an und ehrte damit den seiner Meinung nach ersten bedeutenden Artikel über einen Rückkoppelungsmechanismus des schottischen Physikers *James Clerk Maxwell* (1831-1879)¹.

Wie für so viele Begriffe unserer Sprache ist es eigentlich unmöglich eine für jeden gültige Definition der Kybernetik zu geben. Dies beweisen deren Wegbereiter durch ihre eigenen Auffassungen:

- „Das Verhalten derartiger Systeme könnte als Anweisung zur Erreichung eines Zieles interpretiert werden [vFör93].“, Norbert Wiener
- „Als Anthropologin haben mich die Auswirkungen der Theorien der Kybernetik auf unsere Gesellschaft interessiert. Ich beziehe mich dabei nicht auf Computer oder die elektronische Revolution als solche oder das Ende der Abhängigkeit des Wissens von der Schrift oder darauf, wie unter den rebellierenden Jugendlichen Kleidung an die Stelle der mimeographischen Maschine als eine Form der Kommunikation getreten ist [vFör93]“, Margaret Mead
- „Kybernetik ist ein Zweig der Mathematik, der sich mit den Problemen der Kontrolle, der Rekursivität und der Information beschäftigt [vFör93].“, Gregory Bateson
- „Kybernetik ist die Wissenschaft von der effektiven Organisation [vFör93].“, Stafford Beer (geb. 1926), Management-Kybernetiker
- „Kybernetik ist die Wissenschaft von vertretbaren Metaphern [vFör93].“, Gordon Pask (1928-1996), Geologe, Psychologe und Androloge

¹ <http://www.uni-protokolle.de/Lexikon/Kybernetik.html> - gelesen am 04.01.2006

Ich darf darauf hinweisen, dass sich der interessierte Leser für weitere Informationen zu den von mir erwähnten Wissenschaftlern der Internetseite <http://de.wikipedia.org/wiki/> bedient. Hierbei handelt es sich um eine freie Internet-Enzyklopädie. Dezember 2005 veröffentlichte die Zeitschrift *Nature* einen Vergleich der englischen *Wikipedia* mit der *Encyclopedia Britannica*. Dazu hatten sie 50 Experten gebeten, je einen Artikel aus beiden Werken aus ihrem Fachgebiet ausschließlich auf Fehler zu prüfen. Mit durchschnittlich vier Fehlern pro Artikel lag die *Wikipedia* nur knapp hinter der *Britannica*, in der im Durchschnitt drei Fehler gefunden wurden. Weiters möchte ich das *Beats Bibliothek* empfehlen (<http://beat.doebe.li/bibliothek/index.html>), eine wertvolle Internetseite, die sich durch Relationsdiagramme auszeichnet, die entscheidend zum globalen Verständnis dieses philosophischen Themas beitragen können.

- „Es ist diese zirkuläre Organisation, die diese Systeme von anders organisierten Systemen unterscheidet. [...] Es scheint, dass Kybernetik für die unterschiedlichsten Leute etwas ganz verschiedenes bedeutet, was jedoch auf den Reichtum ihrer begrifflichen Grundlagen bedingt ist. Und das ist gut so, da die Kybernetik ansonsten zu einem stumpfsinnigen Exerzitium würde. Dennoch ergeben sich all diese Perspektiven aus einem zentralen Thema, und zwar dem der Zirkularität [vFör93].“, Heinz von Förster

Die Kybernetik wird als transdisziplinäre Wissenschaft beschrieben. Somit steht sie weit jenseits der Rolle des Lückenfüllers für Erklärungs- und Schnittstellenlöcher zwischen einzelnen Forschungsgebieten. Ich persönlich finde diesen Zugang sehr positiv. Um die Kybernetik in ihrer Gesamtheit darzustellen bin ich jedoch nicht der Richtige. Vielmehr bin ich der Ansicht, dass eine zu starke Klassifizierung dem Prinzip der Kybernetik widersprechen könnte; *eine* Terminologie für die beschriebenen Systeme zu verwenden und seinen Blick als Kybernetiker stets so weit zu halten, um eine ganzheitliche Entwicklung quer durch die Anwendungsgebiete zu erkennen und zu gewährleisten. Der Vollständigkeit halber will ich aber eine Einteilung über jene Gebiete anführen, in welchen die Kybernetik vertreten ist. Hierfür verwende ich die folgende detaillierte Auflistung² an Forschungszweigen:

- Allgemeine Kybernetik (K1 und K2)
 - ⇒ Entscheidungstheorie
 - ⇒ Konnektionismus
 - ⇒ Nachrichtentheorie
 - ⇒ Informetrie
 - ⇒ Netzwerktheorie
 - ⇒ Semiotik
 - ⇒ Spieltheorie
 - ⇒ Synergetik
 - ⇒ Systemtheorie
- Spezielle Kybernetik (K3)
 - ⇒ Biomedizinische Kybernetik

² <http://de.wikipedia.org/wiki/Kybernetik> - gelesen am 02.01.2007

- ⇒ Biokybernetik
- ⇒ Medizinische Kybernetik
- ⇒ Systemik
- ⇒ Kybernetische Anthropologie
- ⇒ Makroanthropokybernetik (Soziokybernetik)
- ⇒ Mikroanthropokybernetik (Psychokybernetik)
- ⇒ Wirtschaftskybernetik
- ⇒ Quantenkybernetik
- ⇒ Technische Kybernetik

- Kybernetik zweiter Ordnung

Ob diese Klassifizierung in allgemeine und spezielle Kybernetik geglückt ist, will ich nicht entscheiden. Ich für meinen Teil finde es ausreichend, wenn darauf verwiesen wird,

- welche bedeutende Theorien von der Kybernetik beflügelt und mitbegründet wurden und
- dass sie in der Soziologie, der Psychologie, den Wirtschaftswissenschaften, der Physik und in der Technik mitsamt allen beinhalteten Wissenschaftszweigen ihren Einzug gefunden hat und als übergeordnete Wissenschaft anerkannt wird.

Ein wenig unglücklich macht mich die Separierung der Kybernetik zweiter Ordnung. Es suggeriert den Eindruck, dass es sich bei ihr um ein eigenständiges Konzept handeln würde, auf welches nach gut dünken zurückgegriffen werden kann (oder auch nicht).

1.1.1 Erfinden, Entwickeln und Erkennen

Tatsächlich handelte es sich aber um einen Erkenntnisprozess, aus dem die Erfindung der Kybernetik 2. Ordnung resultierte. Die Kybernetik der Kybernetik bzw. Kybernetik 2. Ordnung, wie sie Heinz von Förster titulierte, relativierte das Dogma der wissenschaftlichen Objektivität.

Das Prinzip der Objektivität beschreibt Heinz von Förster so [vFör93]: „*Die Eigenschaften des Beobachters dürfen nicht in die Beschreibung des Beobachteten eingehen. Ich habe dieses Prinzip in seiner brutalsten Form wiedergegeben, um seine Unsinnigkeit zu demonstrieren: wenn die Eigenschaften des Beobachters,*

nämlich die Eigenschaften des Beobachtens und Beschreibens, ausgeschlossen werden, bleibt nichts mehr übrig, weder die Beobachtung noch die Beschreibung. Dennoch gab es eine Berechtigung, an diesem Prinzip festzuhalten, und zwar aus Angst, aus Angst vor dem Entstehen von Paradoxen, wenn es den Beobachtern gestattet wäre, in das Universum ihrer Beobachtungen einzutreten. Und die Gefahren der Paradoxe sind Ihnen bekannt: wenn sie sich in eine Theorie einschleichen, ist es so, als ob der Teufel seinen Spaltfuß in den Türspalt zur Orthodoxie steckt.“

Im Langenscheidt Fremdwörterbuch Online Edition³ ist die Objektivität so definiert:

Objektivität, die; -, keine Mehrzahl 1. Sachlichkeit, Vorurteilsfreiheit, Unparteilichkeit, ↔ Subjektivität(1) 2. → objektive (2) Beschaffenheit 3. Grad der Unbeeinflusstheit eines Untersuchungsergebnisses vom Untersuchenden oder den Messinstrumenten, Allgemeingültigkeit.

Objektivität als Grad der Unbeeinflusstheit könnte natürlich schwer zu bestimmen sein. Im streng wissenschaftlichen Kontext beschränkt man sich auf die drei Säulen der Empirie, der Logik und der Mathematik.

Wissenschaftliche Versuche müssen wiederholbar sein. An einem anderen Ort, unter denselben Randbedingungen und von einem anderen Wissenschaftler, der dieselben Ergebnisse beobachten kann. Das Dilemma, mit dem jedoch ständig gekämpft wird, liegt an der Interpretation von teilweise rudimentären Ergebnissen und damit in der Verallgemeinerung von punktuellen Aussagen hin zu einer brauchbaren Erklärung eines übergeordneten Systems. Der Einfluss des Mathematikers und Logikers *Kurt Gödel* (1908 – 1978) auf das Systemdenken besteht unzweifelhaft in seinem Theorem, welches folgende zwei Aussagen trifft [vFör93]:

- 1. Innerhalb der Regeln eines Systems, etwa der Arithmetik, kann die Konsistenz dieses Systems nicht bewiesen werden ("Inkonsistenz").*
- 2. Mit den Regeln eines Systems, z.B. der Principia⁴, können bestimmte Aussagen innerhalb dieses Systems nicht bewiesen werden ("Unvollständigkeit").*

³ www.langenscheidt.de – gelesen am 20.12.2004

⁴ Anmerkung von mir: Die *Principia Mathematica*, erschien in drei Bänden (1910, 1912 und 1913) und wurde von *Bertrand Russel* (1872 - 1970) und *Alfred North Whitehead* (1861 – 1947) verfasst. Gödel beschäftigte sich in seinem Werk *Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme* (1931) mit der Unvollständigkeit mathematischer Aussagen in

Die Kybernetiker beschäftigen sich somit im wissenschaftlichen Diskurs mit Fragen, die prinzipiell entscheidbar oder prinzipiell unentscheidbar sind.

1.1.2 Prinzipiell entscheidbare Fragen

Sie sind dadurch gekennzeichnet, dass es eindeutig richtige Antworten auf sie gibt. Ist die Zahl 192.983.293.122.001 durch 2 (ohne Rest) teilbar? Kein Problem, natürlich nicht! Für meine Antwort benötige ich einen Augenblick, und jeder andere wird zum gleichen Schluss kommen. Falls nicht, kann ich eine falsche Aussage mithilfe einer Division durch 2 überprüfen und eindeutig widerlegen.

1.1.3 Prinzipiell unentscheidbare Fragen

Sie zeichnen sich dadurch aus, dass es zu ihnen keine eindeutigen Antworten gibt. Warum? Weil sie Systeme betreffen, die zu komplex sind, um mit Hilfe einfacher Modelle eindeutig beschrieben zu werden. Die Antworten, die ein Beobachter findet, sind an seine Erfahrungen – an seine individuelle Vergangenheit - gebunden. Für jede Entscheidung, die getroffen wird, besteht Unsicherheit. Durch Risikoanalysen wird festgesetzt, ob ein Plan wirklich umgesetzt werden soll. Dabei stützt man sich auf zuvor festgelegte Szenarien, die nach der Entscheidung eintreten können. Hier liegt bereits der Hund begraben, denn jeder Mensch wird individuell nur solche Szenarien erfinden können, welche er aus seiner Erfahrungswelt abstrahieren und generalisieren kann.

Ein Terminus aus der Systemtheorie ist der des *kontraintuitiven Verhaltens*. Ein sehr anschauliches Beispiel (eher eine Geschichte), das ich kurz anführen möchte, stammt von *Gerold Patzak*, einem Wirtschaftsingenieur und Systemtheoretiker. Einer jener Professoren an der TU-Wien, die meinen Weg maßgeblich beeinflusst haben. Seine Abteilung für Systemtechnik und Methodologie wurde leider durch Umstrukturierungen aufgelöst, was ich als Verlust empfinde. Aber nun die Geschichte:

Wirtschaftliche und politische Entscheidungsträger einigten sich auf den Bau einer Verbindungsstraße quer durch einen Urwald. Die in diesem Gebiet ansässigen Ureinwohner lebten bisher sehr zurück gezogen in ihrem eigenen kleinen Ökosystem. Auch sie sollten von der Straße profitieren, ihnen sollte Wohlstand zuteil werden. Im Endeffekt erfuhren die Ureinwohner nach der Fertigstellung der Straße einen massiven kulturellen Schock. Mit der wirtschaftlichen Ausbeute des

Gebiets kamen fremde Arbeiter und mit ihnen ungekannte Krankheiten und billiger Alkohol. Aus dem versprochenen Wohlstand wurde wohl nicht viel. Ich nehme an, dass in der Planungsphase keine Szenarien dieser Art bedacht wurden.

Im globalen Zusammenhang ergaben sich im letzten Jahrhundert einige solcher Konsequenzen, die schlicht und einfach mit den gegebenen Informationen und Abstraktionen der Entscheidungsträger nicht abschätzbar waren. Ich bin mir sicher, dass vielen Europäern das Wort *Ozonschicht* bekannt ist. Das Wort *Ozonloch* ist vielleicht noch bekannter. Den Namen *Thomas Midgley⁵, Jr.* (1889 – 1944), ein Maschinenbauingenieur und Chemiker, wird wohl keiner kennen. Als Erfinder der FCKW (Flur-Chlor-Kohlenwasserstoffe) wurde er damals gefeiert, denn er hatte ein unbrennbares ungiftiges Gas hergestellt, das Jahrzehnte breit eingesetzt wurde. (Angeblich werden FCKW in manchen Ländern der Erde sogar noch immer produziert.) Für damalige Verhältnisse war Midgleys Erfindung revolutionär, ersetzten die FCKW ja die verschiedenen toxischen und explosiven Substanzen, die in Wärmepumpen und Kühlschränken zum Einsatz kamen. Heute sind die verheerenden Auswirkungen dieses Gases für die Ozonschicht wissenschaftlich anerkannt. Eine Tatsache, die zum Zeitpunkt des technischen Einsatzes (1930) von FCKW nicht bekannt war.

Weitere Fragen, an der sich die Geister zur Zeit scheiden, sind die Gesundheitsgefährdung durch genmanipulierte Nahrungsmittel, die Unbedenklichkeit der Handystrahlung und staatliche Sicherheitssysteme, deren Wachstum Einschnitte in die Bürgerrechte bringen könnten. Viele Kritiker sehen in der Zukunft den gläsernen Menschen, der durch die Fusion verschiedenster Großdatenbanken entsteht. Die *Big-Brother-Awards* werden jährlich in Wien an jene Personen und Unternehmen verliehen, deren Fortschritt in dieser Richtung den Datenschützern am ehesten bedenklich erscheint. Gerade in dieser Hinsicht stellt sich die Frage, ob der Staat an sich *objektiv handelt* oder ob eine Regierung zu leicht die Gesetze zur Verfolgung eigener Interessen abändern kann. Am Ende steht hierbei die Frage: *Wer beobachtet die Beobachter?*

Wenn wir also unentscheidbare Fragen beantworten und damit Entscheidungen festlegen übernehmen wir als Experten die Verantwortung für zukünftige Ereignisse, die durch unsere Entscheidungen entstehen. Leider werden meiner Meinung nach viele Entscheidungen zu vorschnell getroffen. Vielleicht aus Erfolgs-, Zeit- und finanziellem Druck oder einfach nur aus zu großer (Selbst-)Sicherheit.

⁵ http://de.wikipedia.org/wiki/Thomas_Midgley - gelesen am 12.01.2007

Letzteres hat *Karl Raimund Popper* (1902 – 1994), ein Soziologe, Philosoph und Wissenschaftstheoretiker folgend relativiert [Popp94]:

„Wir wissen nichts, das ist das Erste. Deshalb sollen wir sehr bescheiden sein, das ist das Zweite. Das wir nicht behaupten zu wissen, wenn wir nicht wissen, das ist das Dritte.“

Traurig stimmen mich manchmal dann Aktionen, durch die eine Fehlentscheidung als Erfolg verkauft werden soll. Gerade die Wissenschaft ist es, die unentscheidbaren Fragen auf den Grund geht und möglichst tief in deren Komplexität einzutauchen versucht. Dass wissenschaftliche Ergebnisse häufig von verschiedensten Entscheidungsträgern missverstanden werden ist eine andere Sache. Eine Frage nicht zu beantworten ist im Grunde genommen auch eine Antwort und keine Schande! Vielleicht muss man manche Fragen auch einfach anders stellen, um bessere Erkenntnisse zu gewinnen.

Um mit den Worten des großen Logikers und Philosophen *Ludwig Wittgenstein* (1889 – 1951) zu sprechen: *„Worüber man nicht sprechen kann, darüber muss man schweigen* (aus [Bez96]).“

1.2 Konnektionismus und Konstruktivismus

Das Paradigma des Konnektionismus beruht auf der Annahme, dass viele relativ simple Einheiten in Verbindung miteinander stehen und über den Austausch von Signalen Informationen verarbeiten. Das beschriebene System muss nicht notwendigerweise isomorph zur verarbeitenden Struktur dieser Einheiten sein. Unsere Gehirne als biologische neuronale (nervliche) Netze dienen als morphologische Vorbilder für dieses Gleichnis.

Nun, der Konnektionismus ist in der technischen Anwendung durch Künstliche Neuronale Netze (KNN) vertreten, und der Ursprung des Konnektionismus liegt in der Kybernetik. Ich habe schon oft gelesen und gehört, dass KNN auf der Funktion des menschlichen Gehirns basieren. Prinzipiell stimmt diese Aussage, jedoch könnte ein Laie einen falschen Eindruck über das tatsächliche Ausmaß der derzeitigen Implementierungen gewinnen. Alle biologischen Vielzeller organisieren ihr Überleben mit zunehmender Komplexität durch ausgefeiltere neuronale Strukturen. Das menschliche Gehirn ist das am meisten ausgereifte Produkt der biologischen Evolution in unserem Sonnensystem. Seine derzeitige Form hat es noch nicht so lange, erst seit etwa 500.000 Jahren, als sich das Großhirn (Neocortex) entwickelt hat (nach [Katz01]). Die Zahl aller Galaxien im Universum wird auf 100 Milliarden

(10^{11}) geschätzt und die Anzahl der Nervenzellen im menschlichen Gehirn bewegen sich Neurobiologen zufolge in derselben Größenordnung. Die Forscher begnügen sich oft mit relativ einfachen Lebewesen, die nicht einmal ein Nervensystem besitzen, das als Gehirn bezeichnet werden kann. Tintenfische, Blutegel und Schnecken haben zwischen 10.000 und 100.000 Neuronen, die sich teilweise zu vernetzten Knoten von 150 bis 1500 Neuronen organisieren, den Ganglien (nach [Zell00]). Ich war überrascht, als ich vor kurzen einen kleinen Beitrag in der österreichischen Wochenzeitschrift *Profil*⁶ las. Unter der Rubrik *Unglaublich... aber wahr* fand sich die Meldung, dass Schweizer Forscher die Funktion eines kompletten Rattengehirns im Computer nachbilden wollen. Ein Supercomputer sollte dabei einen Verbund von 10.000 Nervenzellen simulieren.

Mittlerweile weiß man, dass sich viele Neuronen zu Beginn unseres Lebens zufällig vernetzen und keinem vorgegebenen Bauplan auf den Strich genau folgen. Dieser Prozess erfolgt wahrscheinlich nicht komplett willkürlich, ist aber von genügend Unschärfe begleitet. Die menschliche DNA determiniert die Struktur eines Gehirns also nur zu einem gewissen Teil. Somit ist es für ein solches Abbildungsvorhaben, ein Rattengehirn zu simulieren, nicht nötig jede Verbindung eines Neurons mit seinen Nachbarn zu kennen. Praktisch gesehen bin ich jedoch skeptisch. Nicht zuletzt, weil meiner Kenntnis nach nur das Gehirn simuliert werden soll. Wo bleiben die sensomotorischen Inputs? Derer gibt es sicher unzählige seitens der Augen, des Geruchsinn, des Gehörs, der Motorik und der Haut eines echten Tieres. Wie will man dann entscheiden, ob man wirklich ein Rattengehirn kopiert hat? Welche Outputs können für die Verifikation dienlich sein?

Es gibt zurzeit etwa 20 sehr erfolgreiche Netzwerktopologien und 6 Neuronentypen (exklusive der Derivate) für KNN (nach [Katz01]). Das menschliche Gehirn ist viel komplexer als die technischen Modelle, eine Erforschung der biologisch vereinten Topologien ist nach derzeitigem Stand der Technik unmöglich. Ich vermute, dass in den nächsten Jahrzehnten noch entscheidende Erkenntnisse folgen werden. Wie sehr sich dadurch die KNN ändern werden bleibt unbestimmt.

Letztendlich ist es unmöglich, dass ein Mensch ein menschliches Gehirn komplett kopiert oder nachbaut. Vielmehr ist es einem Menschen unmöglich dessen globale Funktionsweise zu verstehen. Dies wäre paradox, weil ihm kein höheres Werkzeug für die Beschreibung zur Verfügung steht als das zu beschreibende Objekt, das Gehirn selbst.

⁶ Unglaublich... aber wahr: Profil Nr. 2, 37.Jg, 9.Jänner 2006

Der (radikale) Konstruktivismus⁷ ist eigentlich eine österreichische Erfindung, so habe ich es zumindest einmal gelesen. Die ersten Vertreter waren u.a. der Psychotherapeut und Kommunikationswissenschaftler *Paul Watzlawick* (geb. 1921), der Kognitivpsychologe *Ernst von Glasersfeld* (geb. 1917) und *Heinz von Förster*. Mit der Gründung des *Biological Computer Lab* (BLC) im Jahre 1958 durch Heinz von Förster, mit der Unterstützung namhafter Kybernetiker, fanden sich geistige Verwandte aus aller Welt. Die Neurobiologen *Humberto Maturana* (geb. 1928) und *Francesco Varela* (1946 – 2001) [MaVa90] als Begründer der Autopoiesis, der Selbstorganisation biologischer Zellverbände, sind mir dabei als Konstruktivisten am bekanntesten. Natürlich ist es immer schwierig festzulegen, wie weit die Wurzeln einer philosophischen Richtung zurück liegen. Ernst von Glasersfeld wurde wohl entscheidend von dem Entwicklungspsychologen und Epistemologen *Jean Piaget* (1896-1980) beeinflusst. In seinen Schriften finden sich aber auch Verweise auf die Werke von *Ludwig Wittgenstein*, *Immanuel Kant* (18. Jh.), *Giambattista Vico* (18. Jh.), den aus Britannien stammenden Gelehrten und Mönch *Johannes Scotus Eriugena* (9. Jh.) und die griechischen Philosophen *Pyrrhon* (-4. Jh.) und *Xenophanes* (-6. Jh.), um die chronologisch weitest zurück reichenden zu erwähnen (nach [vGla97]).

Natürlich gibt es eine Vielzahl an weiteren Denkern und Wissenschaftlern, die rein intuitiv die konstruktivistische Welterkenntnis aus eigenen Anschauungen und Schlüssen vorweggenommen oder reflektiert haben. Von Glasersfeld zitiert in [vGla97] den österreichischen Nobelpreisträger *Werner Karl Heisenberg* (1901 – 1976), der u.a. für seine Leistungen in der Quantentheorie (Unschärferelation) zu den bedeutendsten Physikern des 20. Jahrhunderts gezählt wird.

„Auch in der Naturwissenschaft ist also der Gegenstand der Forschung nicht mehr die Natur an sich, sondern die der menschlichen Fragestellung ausgesetzte Natur, und insofern begegnet der Mensch auch hier wieder sich selbst. [vGla97]“

Werner Heisenberg

Ähnliche Zitate, so bemerkt Ernst von Glasersfeld in [vGla97], habe er auch von den Physikern *Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz* (1821 – 1894), *Ernst Mach* (1938 – 1916), *Albert Einstein* (1879 – 1955) und *Percy William Bridgman* (1882 – 1961)⁸ für diverse Aufsätze verwendet. Des Weiteren möchte ich von

⁷ <http://de.wikipedia.org/wiki/Konstruktivismus> - gelesen am 11.10.2004

⁸ <http://nobelprize.org/physics/laureates/1946/bridgman-bio.html> - gelesen am 11.10.2004

Glaserfelds Aussage wiederholen, dass sich in den philosophischen Schriften von *Erwin Schrödinger* (1887 – 1961), *Niels Henrik David Bohr* (1885 – 1962) und *Paul Adrian Maurice Dirac* (1902 – 1984) ähnliche Selbstreflexionen finden. Meines Wissens nach waren diese großen Physiker (bis auf Ernst Mach) Träger des Nobelpreises.

Der Konstruktivismus vertritt die Auffassung, dass wir als Individuen unsere (Um-)Welt konstruieren und zwar auf Basis unserer Sinneswahrnehmungen. Somit beruhen alles Wissen, alle Ansichten und sozialen Eigenschaften eines jeden auf seiner Persönlichkeit selbst, die durch kognitive Prozesse des Gehirns resultiert. Folglich lebt ein jeder mit seinem eigenen Weltbild, das er sich schafft. Dies schließt meiner Auffassung nach natürlich nicht aus, dass sich Individuen in sozialen Netzwerken gegenseitig beeinflussen und voneinander lernen. Die Wege, wie wir auf äußere Reize (sehen, hören, riechen, fühlen) reagieren, sind durch die Struktur unseres Gehirns gegeben. Und diese Struktur ist keinesfalls statisch. Ständig, vor allem im Schlafzustand, werden unzählige Verbindungen zwischen Neuronen adaptiert, neu geschlossen oder aufgelöst.

Ein Kernpunkt der konstruktivistischen Idee ist die Toleranz gegenüber jedem anderen Menschen, sofern man selbst Toleranz von ihm erfährt, so wie Paul Watzlawick erklärt:

„Ich würde mit Popper sagen: Nur wenn die Wirklichkeit der anderen die meine in Frage stellt, nehme ich das Recht in Anspruch, die Intoleranz nicht zu tolerieren [WaKr04].“

Von Glaserfeld hat den radikalen Konstruktivismus so verstanden, dass er *„...keine Weltanschauung ist, die beansprucht das endgültige Bild der Welt zu enthüllen. Er beansprucht nicht mehr zu sein als eine kohärente Denkweise, die helfen soll, mit der prinzipiell unbegreifbaren Welt unserer Erfahrung fertig zu werden, und die – was vielleicht besonders wichtig ist – die Verantwortung für alles Tun und Denken dorthin verlegt, wo sie hingehört: in das Individuum nämlich [vGla97].“*

Der Konstruktivismus war und ist natürlich auch verschiedenster Kritik ausgesetzt, wie jede andere philosophische Erkenntnistheorie. Ein infamer Vorwurf lautet, dass Konstruktivisten eigentlich Solipsisten sind, weil sie die Auffassung vertreten, dass die individuelle Welt aktiv durch das Individuum konstruiert wird. Hierzu möchte ich die Definition des Solipsismus kurz anführen:

Der *Solipsismus*⁹ (von lat. *solus* allein und *ipse* selbst: nur ich selbst) ist ein philosophischer Begriff, der den erkenntnistheoretischen Standpunkt bezeichnet, demzufolge nur das eigene Ich wirklich ist, während die Außenwelt und andere "Ichs" nur Bewusstseinsinhalte ohne eigene Existenz darstellen. In der Entwicklungspsychologie (Jean Piaget) meint Solipsismus eine frühkindliche Phase, in der das Kind noch nicht zwischen sich und der Außenwelt unterscheiden kann.

Stein des Anstoßes ist also anscheinend Piagets Beschreibung der frühkindlichen Phase, für mich eine unentscheidbare Frage, weil ich keinen Säugling fragen kann, wie er denn das ganze sieht. Als erwachsener Solipsist wäre ich gar nicht zufrieden. Dann wüsste ich, dass alle Menschen, die ich treffe gar nicht wirklich als Individuen existieren, sondern von meinem eigenen Bewusstsein erschaffen werden. Die Gesellschaft als Produkt der Organisation und des Zusammenlebens von Individuen wären Humbug, weil es keine anderen Individuen gäbe, sondern nur mich. Alles Leid auf der Welt könnte mir egal sein, weil es ja nicht wirklich stattfinden würde, sondern nur von mir erfunden wäre. Somit würde nur eines wirklich wichtig sein: Ich selbst, und alleine wäre ich einsam und verloren.

Von konstruktivistischer Position her sind alle Menschen existent. Das Bild, das ich mir von ihnen mache, beruht auf zwischenmenschlichen Erfahrungen. In Büchern und über die Medien erfahre ich, wie andere mir persönlich unbekannte Menschen die Welt sehen. Deren Meinungen verwende ich wieder in einem Bewertungsprozess, um die Welt, wie ich sie sehe, zu errichten. Dabei bewerte ich aber gleichzeitig diese Beobachter hinter ihren Meinungen und habe eine Basis für den Einfluss auf meine Anschauung. Wichtig ist dabei die Sammlung verschiedener Meinungsaspekte mehrerer Individuen, um ein breites Spektrum abzudecken.

Ich verfasse dieses Kapitel, damit ich mir einerseits bewusst mache, wie ich die Welt verstehe, denn als Forscher auf dem Gebiet des *Low-Level Approaches* der künstlichen Intelligenz erfinde ich neue Anwendungen, die Einfluss auf die Gesellschaft nehmen können. Andererseits möchte ich den Lesern mein Bild vermitteln, klarlegen, dass diese Methoden von durchwegs ehrbaren Erfindern stammen, die im Dienste der Menschheit nach ihrem Gewissen gehandelt haben und versuchten die Welt zu verbessern. Meine Ethik orientiert sich an der

⁹ <http://de.wikipedia.org/wiki/Solipsismus> - gelesen am 10.10.2004

konstruktivistischen Lebensweise und ich pflichte Heinz von Förster bei, der seinen Standpunkt in [vFör98] so zum Ausdruck bringt:

„Ich fände es angenehmer, wenn man mir zuhören würde, ohne mich mit irgendeiner Vokabel festzunageln, ohne gleich zu etikettieren: Heinz von Förster, das ist ein Konstruktivist! Und das sind die Leute, die glauben, dass alles Illusion ist, dass in der Welt keine wirklichen Gegenstände herumkugeln. Mir würde es eher gefallen, wenn man sich fragen würde: wer ist dieser Heinz von Förster? Natürlich ist er verrückt, das ist schon klar¹⁰. Aber wer ist er? Was möchte er sagen? In dem Moment, in dem der andere sich diese Fragen stellt, beginnt er zuzuhören. Unser Gespräch bekommt eine Basis. Und der Tanz des gemeinsamen Dialogs kann beginnen.“

Die Epistemologie, die Erkenntnislehre, geschieht unter der Schirmherrschaft der Sprachforschung. Manchmal kann es sogar in Liebesbeziehungen zu groben Missverständnissen kommen, obwohl man in einem solchen Fall mit dem vertrautesten Menschen in seinem Leben kommuniziert. Umso schwieriger ist es, seinen Standpunkt und seine Ansichten einem nicht so nahe stehenden Menschen mitzuteilen, damit sie auch richtig verstanden werden. Unsere Sprache ist selbstreferenziell, d.h. dass sich die Erklärung eines Wortes A durch ein Wort B ergibt und umgekehrt. Synonyme für den Gebrauch, die Bedeutung legt jedoch jeder individuell durch den Sprachgebrauch für sich fest. Was zählt ist die Schaffung einer gemeinsamen Basis, einer Terminologie, die wir aktiv in Gesprächen schaffen und adaptieren. Dies ist ein weiterer Aspekt, auf dem nicht nur der Konstruktivismus beruht.

Nichts desto trotz, wenn ich in den Büchern von Gregory Bateson, Heinz von Förster, Ernst von Glasersfeld und anderen Kybernetikern und Konstruktivisten schmökere finde ich viele meiner Ansichten und Erkenntnisse bestätigt, wenige muss ich hinterfragen. Es fällt mir nicht schwer, genüsslich in die Welt dieser Denker einzutauchen. Dies liegt sicher daran, dass diese Wissenschaftler in einer Art und Weise schrieben, die ihr Welt bildendes Leben offen legt. Beginnend mit ersten Kindheitserfahrungen entführen sie auf eine Reise in ihr Leben und ihren Werdegang. Ihre Erlebnisse und Erkenntnisse, gebildet aus den Begegnungen mit verschiedensten Menschen, sind fabelhaft in dem Sinn, dass ich merke, wie sehr man

¹⁰ Anmerkung von mir: Was ist normal? Statistisch betrachtet ergibt sich die Norm durch die Bildung des Mittelwertes über eine Gesamtheit von Verrücktheiten und wird somit ungreifbar. Jeder Mensch ist ein Unikat, und ein Vergleich zu anderen birgt zweifellos Problematiken.

an persönlichen Träumen, Visionen und Zielen festhalten muss, um ein umgänglicher, positiver und freier Mensch zu werden (und zu bleiben), der nach seinem Gewissen handelt. Natürlich reflektiere ich gerade nur meine eigenen Eindrücke und Erkenntnisse, die ich durch das Studium jener Schriften gefestigt, erweitert, verstärkt und in stabilere Bahnen gelenkt habe.

Es ist keineswegs einfach das eigene Leben zu erfassen. Viele Menschen in meinem Alter werden mir ohne viel zu überlegen beipflichten, manche älteren Menschen werden sich nicht mehr so einfach an ihre Jugend erinnern und wie es war, Lebensziele zu schaffen. Viele Menschen sehen ihre Ziele noch gar nicht, auch nicht im hohen Alter. Das Bildungssystem hat meine Zielfindung nicht gerade erleichtert, weil mir jede Sparte sehr isoliert erscheint und ich mich als vielseitig talentierten Menschen sehe. Mein Werdegang als Techniker begann bereits mit 14 Jahren in einer Höheren Technischen Lehranstalt (vielleicht schon früher durch den Einfluss meines Vaters, der Meister des Schlossergewerbes ist und mir viel in Sachen praktischer Arbeit beigebracht hat). Zu Beginn meines technischen Studiums habe ich jedoch vieles vermisst, obwohl ich rückblickend von der Ausbildung sehr profitiert habe und sehr dankbar für diese Möglichkeit bin. In den ersten Studienjahren musste ich jedoch meine eigenen Interessen weiter verfolgen, um mich von teilweise trockenen Lehrinhalten zu distanzieren und zu erholen. Ich bin sehr froh darüber, dass ich mir die Zeit hierfür genommen habe, denn ich konnte bereits bei vielen Gelegenheiten Nutzen daraus ziehen. Abermals möchte ich mich auf Heinz von Förster stützen, der Schulen als *Trivialisierungsanstalten* bezeichnet hat; Schüler müssen Prüfungen bestehen, in denen Fragen nach bekannten Antworten gestellt werden. Unorthodoxe und elegante Antworten werden oft abgewürgt weil missverstanden, obwohl sie in ihrem Beitrag zu einer Fülle an Lösungsansätzen unverzichtbar sind. Aber, jeder weiß es, es hängt hauptsächlich von seinem Gegenüber ab, wie wohl man sich fühlt und wie sehr man gehört und akzeptiert wird. In diesem Kontext ergibt sich daher die erste Begegnung als wichtiger Anfang. Einem verschlossenen Gegenüber kann man sich nur bedingt offen geben, deshalb ist es essentiell für ein fruchtbares Verhältnis, wenn sich beide Seiten offen und unvoreingenommen begegnen. Es steht dabei aber für mich außer Zweifel, dass man den Partner als mündigen Menschen, mit dessen Erfahrungen, Wissenshintergrund und Geschichte respektiert. Und dies ist leider seltener der Fall als man glaubt.

Deshalb möchte ich an dieser Stelle meinen Dissertationsbetreuer *Hon.-Prof. Dr. Wolfgang Katzenberger* besonders hervorheben. Er ist einer der sehr wenigen

Professoren mit außergewöhnlichem Engagement und Einsatz für die (nicht-triviale) Lehre, der dabei als Mensch völlig authentisch und offen begegnet und sich die Zeit und Mühe nimmt, neben dem hohen praktischen Arbeitspensum einen jungen freien Denker wie mich zu fördern!

Mit all meinem wirtschaftlichen, technischen, musischen, bildnerischen (grafischen) und philosophischen Hintergründen wurde ich eher gegen Ende meines Studiums mit der Vorlesung *Neue Ansätze der Systemtheorie* konfrontiert, die ich fast zufällig besucht hatte. In den Ingenieurwissenschaften galten für mich die Mathematik und Logik stets als absolute, unbezweifelbare und vor allem unfehlbare Wissenschaften¹¹. Absolut deswegen, weil lineare Grenzen konservativ wirken. Dass in der Wissenschaft fundamentale Widersprüche existieren und sich seit etwa den 40er Jahren des letzten Jahrhunderts bedeutende Entwicklungen abzeichnen, die immer wieder das bisherige wissenschaftliche Weltbild revolutioniert haben, war mir lange nicht bewusst. *Wolfgang Katzenberger* vermittelte mir in der zuvor erwähnten Vorlesung Ansätze, die auf Paradigmen des Konnektionismus, der Selbstorganisation, der Symbolverarbeitung und der Evolutions- und der Chaostheorie¹² beruhen. Ich war fasziniert und habe seit meiner Diplomarbeit wirklich verschiedenste Anwendungen in Bereichen nachgelesen, die wohl kaum weiter voneinander entfernt liegen könnten. Gravierende Schlüsse, die ich aus dieser Einführung gebildet habe, sind folgende: Alle Verfahren und Anwendungen in ihrer breitesten Anwendungspalette sind in Summe gesehen gleich gut. Ein Universalrezept existiert nicht, gezielte spezifische Vorteile sind jedoch evident. Die Anzahl der Probleme, die mathematisch *nicht* analytisch gelöst werden können, ist bedeutend höher und einflussreicher als ich zuvor angenommen hatte. Es können Fragen für Systeme beantwortet werden, ohne sie isomorph nachbilden zu müssen, was sich oft als extrem schwierig oder gar als unmöglich erweist. Deshalb wendet man sich immer stärker alternativen Methoden zu, weil die Erkenntnis über ein Systemverhalten zumindest gleich gut und darüber hinaus schneller und robuster gebildet werden kann. Es war nie meine Intention ein System tot zu optimieren,

¹¹ Bezug nehmend auf Heinz von Försters *hermeneutischem Prinzip*: Der Zuhörer, nicht der Sprecher, bestimmt die Bedeutung einer Aussage. Diesen Eindruck habe ich gewonnen, obwohl es wahrscheinlich von der Grundschule an beabsichtigt war das Gegenteil zu vermitteln.

¹² Im wissenschaftlichen Kontext spricht man eher von der Theorie nichtlinearer dynamischer Systeme, wahrscheinlich weil der Terminus Chaostheorie zu sehr von metaphysischen Sichtweisen aus der Science Fiction behaftet ist und sehr oft falsch als Allgemeinrezept interpretiert wurde und wird.

vielmehr bin ich der Ansicht, dass bestehende Systeme zu gegebener Zeit durch neue ersetzt werden müssen. Vom Einbaum zum Segel, von der Dampfmaschine über den Verbrennungsmotor und die Brennstoffzelle und darüber hinaus. Jede Technologie hat ihre Sprünge, und die derzeit konventionell eingesetzten Entwicklungsstufen belasten unseren Planeten – und damit die Existenz uns nachfolgender Generationen - in ungekanntem Ausmaß. Die Emissionen der Verbrennungsmotoren nehmen zwar wieder ab, die Anzahl der betriebenen Einheiten bedingt aber einen summarischen Anstieg, der diese Einsparung nicht wettmachen kann. Ich werde in meiner Dissertation einige Vergleiche im Verkehrsbereich anstellen, die die wirtschaftliche und technologische Entwicklung verschiedener Nationen gegenüber stellen. Dabei bin ich nach der Sichtung meiner Quellen jetzt schon davon überzeugt, dass prosperierende Industriegesellschaften auf ihrem Weg zur Informationsgesellschaft maßgeblicher Unterstützung bedürfen, um im globalen Zusammenhang Entlastungen zu erwirken. Von dieser Tatsache sind viele jetzt schon überzeugt, die Lobby der Kritiker ist jedoch noch immer groß.

Nachhaltige Entwicklung ist keine Utopie oder Modeerscheinung, sie ist gegenwärtig, weil sich die Innovationsspirale ständig dreht. Die Rahmenbedingungen sollten aber dabei dringendst verbessert werden. Wie gesagt, ich sehe mich als vielseitig interessierten Menschen und ich bin fernab davon ein fachlich beschränkter Wirtschaftsingenieur zu sein. Beim Österreichischen Roten Kreuz habe ich seit meinem Zivildienst die Möglichkeit, im Bereich EU-Finanzierungen meinen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung von Dritt-Welt-Ländern zu leisten. Durch die Verbesserung interner Abläufe mit der Einführung prozessorientierter Dokumentationstechniken sehe ich, wie sich ein engagiertes Team aus Spezialisten im humanitären Bereich der eigenen Reflexion stellt und sich weiter entwickelt. Eine sehr positive Erfahrung. Ich studiere, erfinde und erkenne, spezialisiere mich in der Systemtheorie bzw. der Kybernetik, einer transdisziplinären Disziplin, weil die Gesamtheit der dort etablierten Methoden und Konzepte universell einsetzbar ist, organisatorisch, wirtschaftlich und technologisch. Die betrachteten Systemgrenzen können erweitert, mehr und mehr Entitäten erfasst und deren Zusammenspiel erkannt werden. Auf diese Weise wachsen zuvor isolierte Wissenschaftszweige und Tätigkeitsbereiche immer weiter zusammen und verstärken sich gegenseitig durch auftretende Synergieeffekte.

Bei meiner Arbeit bleibe ich meiner Ethik treu und biete meine Möglichkeiten lediglich an, zwinge sie niemand auf. Nur wenn Vorschläge gemeinsam diskutiert

und entschieden werden, sind sie nachhaltig. Deshalb haben Entscheidungen durch alle Interessenspartner (Stakeholder) breiteste Akzeptanz.

In diesem Sinne noch ein Zitat von Paul Watzlawick: „*Wie bereits angedeutet, ist der Glaube, dass die eigene Sicht der Wirklichkeit die Wirklichkeit schlechthin bedeute, eine gefährliche Wahnidee. Sie wird dann aber noch gefährlicher, wenn sie sich mit der messianischen Berufung verbindet, die Welt dementsprechend aufklären und ordnen zu müssen - gleichgültig, ob die Welt diese Ordnung wünscht oder nicht* [Watz95].“

Die Trennung der Wissenschaften mit dem Aufkommen der industriellen Revolution im 19. Jahrhundert schwimmt wieder. Über die teilweise noch immer rigide selbst gewollte Separierung muss ich mich wundern, verstehe aber dieses Konkurrenzverhalten, das hauptsächlich durch den Kampf um beschränkte finanzielle Fördermittel entsteht.

Heinz von Försters Theorem Nr. 2 lautet so: *Die 'hard sciences' sind erfolgreich, weil sie sich mit den 'soft problems' beschäftigen; die 'soft sciences' haben zu kämpfen, denn sie haben es mit den 'hard problems' zu tun* [vFör71].

Soft Problems sind meiner Meinung nach dadurch gekennzeichnet, dass die betrachteten Systeme wenige Freiheitsgrade aufweisen. Als *Hard Sciences* sind die Naturwissenschaften zu verstehen. Die Geisteswissenschaften stellen die *Soft Sciences* dar, die mit erheblich ungreifbareren Systemen zu tun haben, die viele Freiheitsgrade beinhalten, die in ihrer Gesamtheit meist nicht einmal logisch erfasst werden können. Daher die *Hard Problems*. Man muss sich vor Augen führen, wie viele Physiker in den Wirtschaftswissenschaften richtungweisende Entwicklungen durchgesetzt haben. Die in den *Hard Sciences* entwickelten Methoden sind hilfreiche Werkzeuge für *Hard Problems*. Entgegengesetzt sorgen die *Soft Sciences* dafür, dass diese Methoden richtig und mit Bedacht eingesetzt werden, denn die Auswirkungen sind im Vergleich zum Einsatz in überschaubaren Systemen extrem gravierend. Außerdem spielt die nötige Distanz zu einem Thema eine große Rolle. Eine verbissene Beschäftigung mit einem Lösungsansatz mündet durch das Ausbleiben erhoffter Fortschritte in einer Sackgasse, einer suboptimalen Lösung. Es ist dabei essentiell, das theoretische Wissensspektrum so breit wie möglich zu halten, um dieser Gefahr zu begegnen und die Chance für die Findung einer global optimalen Lösung zu erhöhen. Weitblick statt Tunnelblick. Aus diesem Grund habe ich während des letzten Jahres u.a. die Vorlesungen von *Hans Troger* (Nichtlineare und chaotische Systeme), *Branko Katalinic* (Self Organizing Production Systems), *Günther Raidl* (Heuristische Optimierungsverfahren), *Peter Kopacek* (KI und

Expertensysteme) und *Stefan Jakubek/Nikolaus Keuth* (Intelligente Regelverfahren) mit großem Interesse verfolgt, die mir diese interessanten detaillierten Konzepte in praktischen Fällen näher gebracht haben. Dies war eine lehrreiche Erweiterung zu den Prinzipien und Hintergründen, die ich bereits von *Wolfgang Katzenberger* kannte.

Meine philosophischen Gespräche führe ich mit Interessensverwandten, guten Freunden, die aus den Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften, der Sonder-, Heil und Medienpädagogik, der Medizin, der Elektronik, der Physik und der theologischen Philosophie stammen. Jede Diskussion birgt eine weitere Facette, die das Gesamtbild erweitert. Ich für meinen Teil kann nur sagen, dass es langweilig wäre, seine Grenzen fachlich eng zu halten. Fremde Anstöße zwingen ständig zur Selbstreflexion. Es ist mir eine Freude, das eigene Weltbild dadurch aktiv zu ergründen und zu gestalten. Dass ich mit meiner Dissertation die Möglichkeit habe, ein wenig davon einem breiteren Publikum zugänglich zu machen, empfinde ich als sehr großes Glück.

Werner Toplak, Wien im Februar 2006

Kapitel 2

Technisch-kybernetische Systeme

„Welches sind die Eigenschaften eines Beobachters? ... Welche Eigenschaften wir auch immer feststellen, es sind wir, Sie und ich, die diese Beobachtung vorzunehmen haben, d.h. wir müssen unsere eigene Beobachtung beobachten und letztendlich in unsere Bilanz mit einbeziehen. Öffnet dies nicht dem logischen Unfug von Sätzen, die sich auf sich selbst beziehen („Ich bin ein Lügner“) Tür und Tor, die so erfolgreich durch Russels Theorie der Typen ausgeschlossen wurden und uns nie wieder beschäftigen sollen? Ja und Nein! Es ist mir eine Genugtuung, Ihnen mitteilen zu können, dass die wesentlichen Begriffssäulen einer Theorie des Beobachters erarbeitet wurden. Die eine ist die Errechnung unendlicher Rekursionen (Anm. [WesvFör73]), die andere ist eine Errechnung der Selbst-Referenz (Anm. [Var75]). Durch diese Rechnungsarten sind wir nun in der Lage, mit aller Strenge, ein Begriffssystem zu erschließen, das sich mit dem Beobachten und nicht nur mit dem Beobachteten befasst [vFör93].“ Heinz von Förster

In diesem Kapitel wird der Begriff des technisch-kybernetischen Systems dargelegt. Hierfür muss jedoch überhaupt erst das heute weitläufig gebräuchliche Wort *System* umschrieben werden. Der Ansatz des Systemdenkens (Systems Thinking) ergibt sich nach der Systemdefinition als nötige Handlungskonsequenz, um Systeme zu erfassen, zu erkennen und abzugrenzen. Die Systemtheorie ist Bestandteil der Kybernetik und bildet das nächste Glied in der Kette meiner Ausführungen. Sie ist eine Sammlung theoretischer Konstrukte zur Abbildung von Systemen in Form von Modellen. Der Konnektionismus ist jenes Paradigma bzw. Fundament, auf dem sich diese Dissertation stützt. Biologische Nervensysteme sind die Vorbilder für diesen Beschreibungsansatz und die Merkmale kognitiver Organismen finden sich nicht

zuletzt im Menschen selbst. Die Verbindung der Naturwissenschaften mit dem Konnektionismus liegt im Wissenschaftler an sich, der mit seinem biologischen konnektionistischen Nervensystem seine Beobachtungen organisiert und in Theorien abzubilden und zu beschreiben versucht. Die Systemgrenzen werden immer weiter gezogen. Komplexe Systeme beinhalten sehr viele Komponenten, deren Interaktionen nicht mehr unbedingt einfach mathematisch beschrieben werden können. Neuronale Netze zur Modellbildung bieten hier vielfach noch unbedachte Möglichkeiten im Erkenntnisprozess. Der Mensch selbst findet sich heute verstärkt als wesentliches Systemelement, die Technik war und ist sein Werkzeug zur Existenzsicherung im Ökosystem. Technisch-kybernetische Systeme sind jene Systeme, die sowohl die Technik als auch die biologischen und sozialen Prozesse in komplexen Systemen berücksichtigen. Ihre Charakteristik wird in weiterer Folge am Beispiel Verkehr genauer beschrieben. Zu Beginn des 21. Jahrhunderts werden zwar immer größere und komplexere Systeme definiert, es bleibt jedoch vielfach offen wie sie sich in den nächsten Jahrzehnten entwickeln werden. Die Systemdynamik ist ein Ansatz, der seine Bekanntheit und seine Existenzberechtigung in den 1970ern erlangte. Mit der Variation von Modellparametern können langfristige Szenarien der Entwicklung von Systemen berechnet werden. In dieser Arbeit liegt der Hauptaugenmerk auf der Erstellung von Prognosen im Kurzfristbereich.

Die Erstellung von Langzeitprognosen wird inhaltlich durch die Systemdynamik angeschnitten und berücksichtigt (siehe Kapitel 14). Für den Verkehrsbereich folgt noch eine Gegenüberstellung am Beispiel von Österreich und China. Zwei sehr unterschiedliche Länder, eines im Status einer Informationsgesellschaft, das andere im Status einer sehr stark wachsenden und aufstrebenden Industrienation. Einige Kennzahlen dienen als Interpretationsbasis für mögliche zukünftige Entwicklungen.

2.1 Das System

Patzak bemerkt in [Pat82], dass ein sehr breites Spektrum an Definitionen für den Begriff *System* in der einschlägigen Literatur existiert. Er orientierte sich u.a an Beiträgen von Bertalanffy [Ber72], Churchman, Ackoff und Arnoff [ChAcAr66], Grochla [Gro76], Klaus [Kla68], Koreimann [Kor72] und Forrester [For72], um eine formalisierte verbale Definition abzugeben, die inhaltlich alle angeführten Auffassungen abdeckt:

„Ein System besteht aus einer Menge von Elementen, welche Eigenschaften besitzen und welche durch Relationen miteinander verknüpft sind [Pat82].“ Gerold Patzak

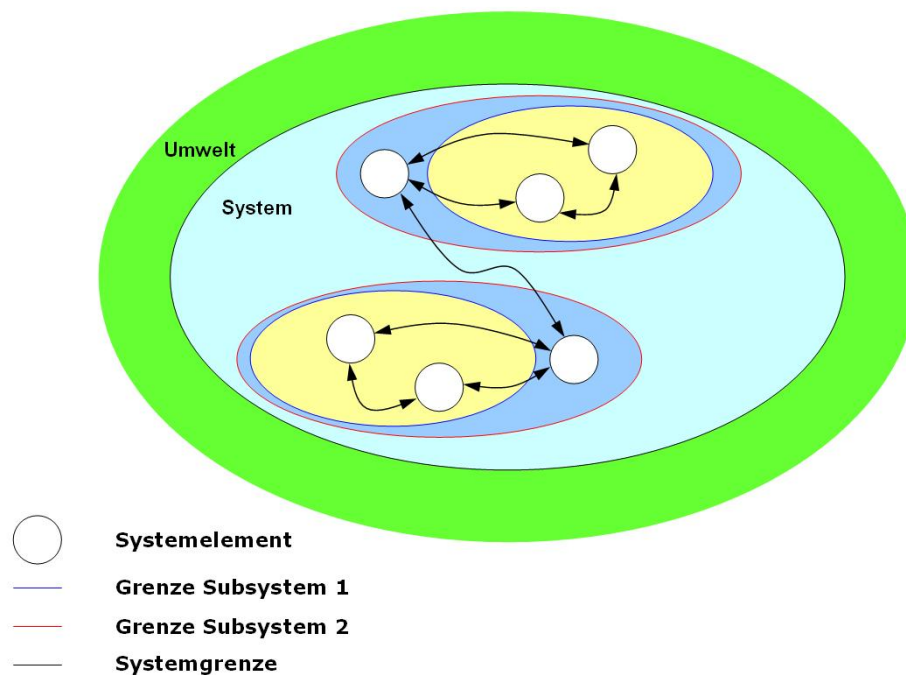


Abbildung 2.1: exemplarisches Beispiel eines Systems (eigene Darstellung)

In Abbildung 2.1 ist ein exemplarisches Beispiel eines Systems auf Patzaks Definition hin dargestellt. Auf dieser Basis werden wesentliche Merkmale von Systemen anhand der Klassifikationssystematik für Systeme (vgl. [Pat82]) in ihren Grundzügen vorgestellt.

2.1.1 System und Umwelt

In der Theorie spielt die Unterscheidung zwischen offenen und geschlossenen Systemen eine wichtige Rolle. In der Praxis tritt Abgeschlossenheit von konkreten Systemen jedoch nie auf, es gibt in jedem Fall geringe Austauschbeziehungen mit der Umwelt (Flussrelation). Geographische Lagebeziehungen (Ordnungsrelationen) bestehen in jedem Fall (nach [Pat82]). Darüber hinaus ist es gerade im Sinne der Prognostizierbarkeit wichtig eine weitere Ordnungsrelation zu berücksichtigen, nämlich die zeitliche Lagebeziehung. Gerade im Sinne des evolutionären Charakters vieler Systeme möchte ich diesen Denkanstoß geben. Eine weitere Ordnungsbeziehung wird durch die Systemhierarchie bestimmt und bezieht sich auf den Rang.

Es gibt drei Flussgrößen (Materie, Energie und Information), wobei die dritte Größe, die Information, in der frühen Literatur immer vernachlässigt wurde. Gemäß dem 2.

Hauptsatz der Thermodynamik sind geschlossene Systeme in einem (oder gehen zumindest langfristig über) zeitunabhängigen Zustand über, welcher als Gleichgewichtszustand maximale Entropie und minimale freie Energie (Exergie) besitzt. Offene Systeme können ebenfalls in einen zeitunabhängigen Zustand übergehen, es stellt sich jedoch ein Fließgleichgewicht (Steady State) ein. Die Flüsse zwischen System und Umwelt stehen im Gleichgewicht. Er jedoch bei komplexen Systemen aufgrund der Umweltdynamik nicht erreicht (nach [Pat82]).

Jedes System ist im Grunde ein Teilsystem (Subsystem) eines übergeordneten Systems (vgl. Abbildung 2.1). Es gibt eine Systemhierarchie, an deren Spitze das Universum steht. Die Systemgrenze ist als Hüllfläche aufzufassen, die sämtliche Beziehungen mit der Systemumwelt schneidet (Schnittstellen). Die Systemgrenze wird von Menschen definiert und wird durch die Problemstellung und die Zweckmäßigkeit bestimmt. Laut Patzak ist dies ein denkökonomischer Prozess, dem die Systemdefinition unterworfen wird. In der Systemtheorie ist der Umweltbegriff sehr stark von der Biologie dominiert, man konzentriert sich jedoch nur auf die relevanten Aspekte (physisch, funktionell, sozio-ökonomisch):

„Die Systemumwelt U eines Systems S ist die Gesamtheit aller Systeme U_i ($i=1..n$), deren Outputvektoren problemrelevante Größen des Inputvektors des betrachteten Systems S enthalten und/oder umgekehrt [Pat82].“ Gerold Patzak

In der Wissenschaft werden die verschiedensten Systeme beschrieben und abgegrenzt. Was auf der konstruktivistischen Seite von Glasersfeld für Organismen definierte ([vGla97]) gilt meines Erachtens nach auch für die Systemtheorie:

Die Umwelt eines beobachteten Systems ist das Erfahrungsfeld, in dem der Beobachter dieses System isoliert hat.

Störgrößen sind von der Umwelt an das System gerichtete Inputvektoren, die zeitlich und quantitativ nicht exakt vorhersehbar sind. Ein wesentliches Merkmal stabiler kybernetischer Systeme ist, dass sie trotz Störeinwirkung vorgegebene Ziele ansteuern [Pat82].

2.1.2 Komplexität

Um Merkmale wie Überschaubarkeit, Umfang, Handlichkeit, innere Vermaschung und ähnliches zu erfassen, wird der Begriff der *Komplexität* (vgl. Abbildung 2.2) verwendet. Die zugehörigen Merkmale zusammenhängend und vielumfassend sind

dabei miteinander korreliert: Soll die Systemfunktion erhalten werden erfordert eine Verringerung der *Varietät* eine gleichzeitige Erhöhung der *Konnektivität*. Eine Verringerung oder Vereinheitlichung der Elemente muss mit einer Erhöhung der Beziehungen nach Art und Anzahl kompensiert werden (nach [Pat82]).

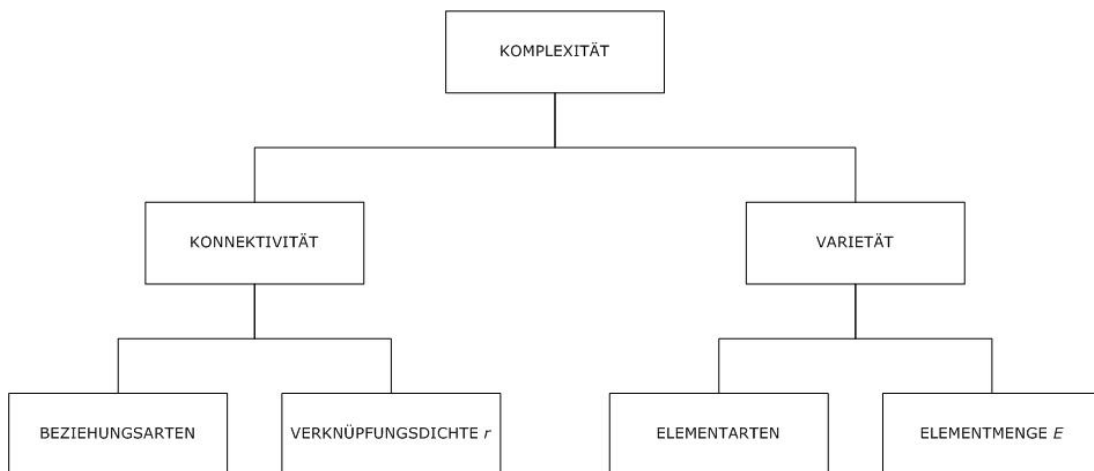


Abbildung 2.2: Komplexität (eigene Adaption nach [Pat82])

Unter *Varietät* versteht man die Elementvielfalt, sie wird durch Art und Anzahl der Elemente (Elementmenge E) im System bestimmt. Die *Konnektivität* beschreibt die Beziehungsvielfalt und wird durch Art und Anzahl der Beziehungen im System bestimmt. Die einzelnen Relationen müssen für die Konnektivität in ihre unterschiedlichen Qualitäten unterteilt werden. So kann eine einzelne gerichtete Beziehung auf höchster Abstraktionsebene alle Flüsse (Materie, Energie und Information) und alle Ordnungsbeziehungen haben. Die Verknüpfungsanzahl R ist eine rein quantitative Betrachtung der Anzahl von Relationen in einem System. Die Darstellung der Struktur kann in grafischer Form (Graphendiagramm), als Matrix (Relationsmatrix, Kopplungsmatrix), in Listenform und als Menge der existierenden binären Relationen erfolgen (nach [Pat82]).

Die Verknüpfungsdichte r setzt die aktuelle Verknüpfungsanzahl R zur maximal möglichen R_{max} in Beziehung:

$$r = \frac{R}{R_{max}} \quad (2.1)$$

Für ein System mit n Elementen gelten laut Patzak [Pat82] folgende Berechnungsformeln:

- Minimale Verknüpfungsanzahl (Kettenstruktur):

$$R_{\min} = n - 1 \quad (2.2)$$

- Maximale Verknüpfungsanzahl (Kartesisches Produkt):

$$R_{\max} = n^2 \quad (2.3)$$

- Keine Selbstreferenz (Schlingen):

$$R'_{\max} = n(n-1) \quad (2.4)$$

- Keine Richtungen der Beziehungen:

$$R''_{\max} = \frac{n(n-1)}{2} \quad (2.5)$$

2.2 Systemdenken

Der Ansatz des *Systemdenkens*¹³ vertritt die Ansicht, dass sich die Elemente bzw. Subsysteme eines Systems auf unterschiedliche Weise verhalten, wenn sie von ihrer Umwelt oder anderen Teilen des Systems isoliert werden. Diese Charakteristik und der sich daraus ergebende holistische¹⁴ Zugang unterscheidet das Systemdenken vom Reduktionismus *Rene Descartes*¹⁵. Durch das Verstehen der Struktur, den Verbindungen und Schnittstellen zwischen den Elementen sollen Erkenntnisse für das gesamte System erlangt werden. Beim Systemdenken sind alle sozio-technischen Systeme (human activity systems) offen, und aus diesem Grund werden sie von ihrer Umwelt, in der sie existieren, beeinflusst. In komplexen Systemen sind Ereignisse bzw. deren Dynamiken mitunter im Raum und in der Zeit separiert. Aus diesem Grund können kleine katalytische Ereignisse zu großen oder kritischen Änderungen im Systemverhalten führen. Hier trifft sich die Systemtheorie mit der nichtlinearen Dynamik bzw. der Chaostheorie in den Phänomenen der starken und schwachen Kausalität, die im Kapitel 6 definiert werden.

¹³ vgl. http://en.wikipedia.org/wiki/Systems_thinking - gelesen am 30.3.2006

¹⁴ Anmerkung: Holismus bedeutet, dass das Systemverhalten mehr ausmacht als die Summe seiner Elemente. Ein Holon entspricht einem Systemelement, dem elementaren Systembaustein.

¹⁵ <http://www.muenster.org/august/philosophie/projekte/9798131/descartes.htm> - gelesen am 10.10.2007

Beim Systemdenken wird zugestanden, dass eine Änderung in einem Gebiet – zeitlich und/oder räumlich – eines Systems eine Änderung in anderen Gebieten hervorrufen kann, es ist organisatorische Kommunikation zwischen Elementen und Subsystemen über die Systemstruktur möglich.

Systemdenker vertreten die Auffassung, dass

- ein System ein dynamisches und komplexes Ganzes ist, das als strukturell funktionierende Einheit agiert.
- Informationsflüsse zwischen den Elementen auftreten, aus denen sich ein System zusammen setzt.
- ein System eine Gemeinschaft innerhalb der Umwelt repräsentiert und Informationsflüsse zwischen dem System und dessen Umwelt stattfinden.
- Systeme oft aus Entitäten bestehen, die ein Gleichgewicht untereinander suchen, jedoch oftmals oszillierendes, chaotisches und exponentiell konvergentes bzw. divergentes Verhalten zeigen.
- (externe) Änderungen eines Systems häufig zu kontraintuitiven Systemantworten führt. So können beispielsweise Rückkoppelungsschleifen hemmend oder verstärkend (Reinforcement Loop [MeaRanMea04]) wirken, eine bestehende Organisation stabilisieren oder aus dem Ruder laufen lassen.

Die traditionelle Entscheidungsfindung beruht auf linearen Ursache- und Wirkungsbeziehungen. Mit dem Systemansatz wird die globale Komplexität bidirektionaler Beziehungen verdeutlicht. Anstatt ein Problem anhand von Input und Output zu analysieren werden Prozesse, Rückkoppelungen und Kontrolle miteinbezogen, was typischerweise zu brauchbareren Ergebnissen führt als der traditionelle Zugang.

Das Systemdenken ist nicht nur konstruktivistisch, es beinhaltet auch verschiedene Wertigkeiten der reduktionistischen Wissenschaft durch das Verstehen der Teile, während der Konstruktivismus eher im Verstehen des Ganzen angesiedelt ist.

Der heutige Stand in der Systemtheorie bzw. dem Systemdenken umfasst u.a. folgende wichtige Methodologien:

- a. **Harte Systeme (hard systems):** Zur Analyse und Abbildung kommen oftmals (Computer-) Simulationen und Techniken aus dem Operations Research (OR) zum Einsatz. Probleme aus dieser Sparte lassen sich leicht messen und quantifizieren. Unquantifizierbare Variablen wie Haltungen, Meinungen und Gefühle können nicht so einfach integriert werden. Die menschliche Komponente wird eher passiv als komplex motiviert modelliert.
- b. **Weiche Systeme (soft systems):** Dienen der Beschreibung von Systemen, die sich nicht so einfach messen und quantifizieren lassen. In diese Kategorie fallen Systeme, die menschliche Aktivitäten beinhalten, die multiple und teilweise widersprüchliche Zielsetzungen aufweisen. Es bieten sich Möglichkeiten zum Verständnis von Motivationen, Sichtweisen und Schnittstellen, die sowohl quantitative als auch qualitative Problemdimensionen berücksichtigen. Checkland, Wilson und ihre Kollegen von der Lancaster University haben einen maßgeblichen methodologischen Teil zu weichen Systemen geleistet ([Che99a], [Che99b], [Che98], [Wil90], [Wil01]). Die Morphologische Analyse eignet sich in diesem Zusammenhang als komplementäre Methode für das Strukturieren und die Analyse von nicht quantifizierbaren Problem instanzen.
- c. **Evolutionäre Systeme:** In diese Kategorie fallen komplexe soziale Systeme. Meiner Meinung nach betrifft dies in weiterer Folge auch Sozio-technische bzw. technisch-kybernetische Systeme. Ähnlich zu dynamischen Systemen sind sie offen und komplex. Darüber hinaus verändert sich ihr Verhalten mit der Zeit bzw. gibt es Veränderungen in der Gesamtheit der Elemente und deren Struktur. Die Zugänge sind multi- und transdisziplinär und beinhalten u.a. Chaos, Komplexität und Kybernetik, kulturelle Anthropologie und auch die Evolutionstheorie.

2.3 Systemtheorie

Die Systemtheorie befasst sich laut Zangemeister [Zan71] zusammen mit der sie ergänzende Systemforschung mit der Aufgabe, die Verhaltensweise von Phänomensystemen anhand von unterschiedlichen Modellen zu erklären, indem mathematisch zugängliche Modelle von Ideal-Systemtypen entwickelt werden. Alle hierbei erarbeiteten Erkenntnisse sollen dazu dienen, Struktur, Verhalten und Einflussparameter von Systemen zu erklären, um dadurch Systeme kontrollieren, sowie für die Zukunft bessere Systeme planen und einführen zu können.

Dies ist nur eine Definition von vielen ähnlichen Definitionen. In den letzten Jahrzehnten änderte sich jedoch die Auffassung darüber die Modellbildung gravierend. Katzenberger [Kat01] hat den Veränderungen auf diesem Gebiet eine eigene Vorlesung mit dem Titel Neue Ansätze der Systemtheorie gewidmet. Biologische Paradigmen haben ihren Einzug gehalten, da es durch immer komplexere Systeme schwierig wurde mathematisch zugängliche Modelle (z.B. Differentialgleichungssysteme) von Ideal-Systemtypen zu entwickeln bzw. rein auf dieser Basis Erklärungen zu formulieren. Man kann auch sagen, dass sich die Formulierung von Idealsystemen nicht mit der Beschreibung von konkreten Systemen deckt und sich Erkenntnislücken durch pragmatische Zugänge nicht auffüllen lassen. Zelluläre Automaten, Neuronale Netze, Genetische Algorithmen, Künstliche Intelligenz und Chaos sind nicht mehr in der Theorie, sondern auch in der Anwendung. Raidl [Rai04] zufolge gibt es seit ein paar Jahren Forschungstätigkeiten im genetischen Programmieren, wodurch es möglich ein soll, mathematische Theoreme algorithmisiert zu beweisen.

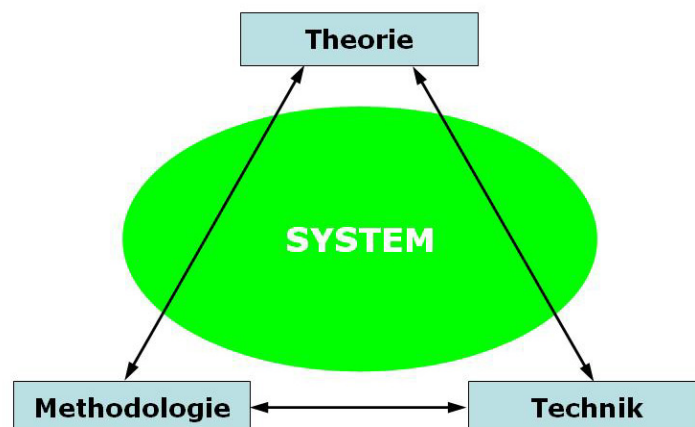


Abbildung 2.3: Theorie, Methodologie und Technik (eigene Darstellung)

Patzak hat in einer Vorlesung die Bedeutung der Systemtheorie für die Entwicklung von Methoden (Methodologie) und deren Umsetzung in der Technik konkretisiert (vgl. Abbildung 2.3). Zur Beschreibung von Systemen und deren Modellierung stehen diese drei Gebiete in einem Gleichgewicht und beeinflussen sich im Erkenntnisprozess gegenseitig.

2.3.1 Naturwissenschaft und Konnektionismus

Von Glasersfeld stellt fest, dass es für Erkenntnistheoretiker unausweichlich geworden ist, die Methoden genauer zu betrachten, die Naturwissenschaftler bei der Konstruktion ihres Wissens benutzen. Schließlich geht es um die Wirklichkeit der Erfahrung, und auf welcher Basis Interpretationen gemacht, Systeme definiert und Modelle gebildet werden. *Maturanas* Beschreibung der *naturwissenschaftlichen Methode*, die aus vier Schritten besteht, fasst von Glasersfeld folgendermaßen zusammen [vGla97]:

1. *Die Situation (die einschränkenden Bedingungen), in der das Phänomen beobachtet wird, muss explizit beschrieben werden (sodass die Beobachtung wiederholt werden kann).*
2. *Es wird ein hypothetischer Mechanismus vorgeschlagen, der erklären könnte, wie die interessanten oder überraschenden Aspekte des beobachteten Phänomens entstehen.*
3. *Aus diesem hypothetischen Mechanismus wird die Vorhersage eines Ereignisses abgeleitet, das noch nicht beobachtet worden ist.*
4. *Der Naturwissenschaftler sucht dann die Bedingungen zu schaffen, unter denen der Mechanismus die Beobachtung des vorhergesagten Ereignisses herbeiführen sollte; auch diese Situation muss wieder explizit beschrieben werden.*

Jeder Wissenschaftler ist ein kognitiver Organismus, und demnach ist jede seiner Beschreibungen und Definitionen in gewissem Maße subjektiv und basiert auf individuellem Wissen. Auch wenn es andere Wissenschaftler gibt, die ihnen gedanklich folgen können ist das noch kein Maß für Objektivität. Von Glasersfeld definierte zwei Grundprinzipien:

„1. Wissen wird von denkenden Subjekten nicht passiv aufgenommen, sondern aktiv aufgebaut. 2. Die Funktion der Kognition ist adaptiv und dient der Organisation der Erfahrungswelt, nicht der Entdeckung der ontologischen Realität [vGla97].“

Der schweizer Philosoph, Naturwissenschaftler und Entwicklungspsychologe *Jean Piaget*¹⁶ (1896 – 1980) formulierte seine Schematheorie (vgl. [Pia69]), die von Glasersfeld in [vGla97] zusammen fasst. Die Merkmale kognitiver Organismen können folgendermaßen gegliedert werden:

- a. Die Fähigkeit und darüber hinaus die Neigung, im Strom der Erfahrung Wiederholungen festzustellen, was zumindest zwei weitere Fähigkeiten notwendig macht:
- b. Erinnern und Wiederaufrufen (Re-Präsentieren) von Erfahrungen.
- c. Die Fähigkeit, Vergleiche und Urteile in Bezug auf Ähnlichkeit und Unterschiedlichkeit vorzunehmen.
- d. Die Annahme, dass der Organismus gewisse Erfahrungen anderen vorzieht und somit bestimmte elementare Wertkriterien besitzen muss.

In meiner bisherigen Tätigkeit als Kybernetiker habe ich einige fragwürdige Erfahrungen gemacht, in denen mir Menschen, die sich selber als hoch gebildet betrachten, ihre Haltung zum Konnektionismus bzw. im Speziellen zu NN zum besten gaben. Alle waren sie fern irgendeiner Philosophie bzw. fachlicher Grundkenntnis. Das wohl unqualifizierteste Ereignis war eine Diskussion, in der vehement behauptet wurde, dass ein Affe in einem Käfig überfordert werden kann, indem man ihm anstatt nur einer gleich zwei Bananen hinhält. Dieses Beispiel war für mein Gegenüber der Beweis dafür, dass ein NN nicht fähig ist, nichtlineare Zusammenhänge abzubilden!?

Umgekehrt werden Methoden, die gerade viel versprechend eingesetzt werden, scheinbar bis zur Übersättigung genannt, so als wären sie Wundermittel, mit denen es zu keinerlei Schwächen und Fehlern in Systemen kommen könnte. Leider ist dem nicht so, da die Definition von Systemen den Grundstein für Erfolg legt und definiert wird vom Menschen selbst.

Die Systemtheorie lebt durch Handlungsschemata, denen alle beteiligten Akteure in den Wissenschaften unterworfen sind. Die Struktur eines Handlungsschemas ist dabei folgend definiert [vGla97]: Wahrgenommene Situation, Handlung, Vorteilhaftes oder erwartetes Resultat.

¹⁶ http://en.wikipedia.org/wiki/Jean_Piaget - gelesen am 07.06.2007

2.3.2 Neuronale Netze als Systemabbildungen

„Eine Reaktion einer Nervenzelle verschlüsselt keine physikalischen Merkmale des Agens, das ihre Reaktion verursacht. Es wird lediglich das ‚So viel‘ an diesem Punkt meines Körpers encodiert, nicht aber das ‚Was‘ [vFör81].“

Das Blackbox Paradigma von NN ist wohl der am häufigsten vorgebrachte Einwand gegen deren Einsatz im wissenschaftlichen Zusammenhang. Man schickt Inputs in das Modell und erhält am anderen Ende die Outputs. Dazwischen liegt die neuronale Topologie, die durch die Art und Anzahl der Neuronen bzw. Prozessor-Einheiten (PE) und deren Struktur determiniert ist (vgl. Abbildung 2.4). Mit der Präsentation von Trainingsdaten adaptiert ein Lernalgorithmus die Gewichtung dieser Struktur. Es wird also der Einfluss eines jeden Signals auf die Nachfolger-PE so eingestellt, dass der Fehler zwischen Input und Output minimiert wird.



Abbildung 2.4: Modellierung mit einem Neuronalen Netz (eigene Darstellung)

Logisch nachvollziehbar ist die Outputgenerierung im Vergleich zu isomorphen Systembeschreibungen aufgrund der hohen Komplexität der Verbindungen nicht mehr. Der Mensch ist hier also überfordert und stößt an seine Grenzen. Mitunter Hunderte Dendriten erreichen ein Neuron und entweder wirken sie verstärkend oder inhibitorisch. Es ergeben sich gemischte logische Verknüpfungen, die in ihrer Gesamtheit nicht mehr analytisch überblickt oder gar vollständig verstanden werden können. *Muss oder kann man alles wissen?* Die Wissenschaft hat ein riesiges Forschungsfeld in der Lerntheorie (Machine Learning). Wie Kinder neuronal lernen wird jedoch im Detail ein Mythos bleiben, obwohl die Lebenswerke von Wissenschaftlern wie Piaget reichhaltige Erkenntnisse beinhalten. Doch zurück zu den künstlichen Modellierungsverfahren.

Die neuronalen Abbildungen werden durch verschiedene Lernalgorithmen an ein reales System angepasst. Diese Algorithmen verlieren aber mit zunehmender Komplexität jegliche biologische Begründung. Im Prinzip haben wir es also nach erfolgtem Lernprozess mit einer Blackbox zu tun, in der hochkomplexe Strukturen Signale zu unserer Zufriedenheit verarbeiten. Ein Albtraum für jeden Analytiker!

Das muss allerdings keineswegs heißen, dass man von einer Blackbox nichts lernen kann. Im Gegenteil!

Gerold Patzak hat in seiner Habilitationsschrift [Pat76] verschiedene Zugänge aus der Systemtheorie definiert. Auf zwei dieser Aspekte zur Systembeschreibung möchte ich mich später in dieser Arbeit stützen. Die Sensitivitätsanalyse und die Instrumentation (S=gegeben, O=gefordert, I=gesucht) sind hilfreiche Grundprinzipien, die im Kapitel 12 angewandt werden. In den Bereichen der Systemkenntnis und in weiterer Folge der Systemregelung können Detaillierungen vorgenommen und Soll-Ist-Relationen der Netzwerkinputs abgeschätzt werden.

Meine Konklusion lautet daher folgendermaßen: Wir kennen die Inputs und wir kennen die Outputs für viele Trainingsfälle. Wenn wir diese Inputs für das trainierte Modell variieren, können wir feststellen, wie sehr der Output vom den jeweiligen Inputparametern abhängt. Es können Korrelationen zwischen Outputs und Inputs gebildet werden. So können wir unwichtige bzw. störende Parameter wieder aus dem Modell eliminieren bzw. wichtige Parameter höher auflösen, um das Modell qualitativ und quantitativ hochwertiger auszubauen.

In der Mikro- und Makroökonomik ist es Gang und Gebe, bestimmte Freiheitsgrade *ceteris paribus* (alles andere bleibt gleich) zu variieren. Analog will ich es auch für NN durchführen. Dies ist mein Gegenargument zu der Meinung, dass NN analytisch gar nicht zu gebrauchen sind. In Wirklichkeit ist dieser Zugang zur Analyse der nichtlinearen Zusammenhänge, die in einem NN abgebildet wurden, keineswegs neu. In Publikationen wie ([Zell00],[Dem03], [Wet89], [vBeK104]) wird die Sensitivitätsanalyse von NN als entscheidender Vorteil zur Systemanalyse angepriesen. Welcher der Kritiker hat diese Möglichkeit in Betracht gezogen, dass eine Extraktion nichtlinearer Kennlinien möglich ist? Wo liegen die logischen Schwächen alternativer Methoden?

All diese Werke haben leider aber auch eines gemein. Es werden keine Ergebnisse oder konkreten Handlungsanweisungen publiziert. In diesem Sinne ist die Ableitung des nichtlinearen Verhaltens Neuland für mich und es sind mir keine detaillierten Handlungsanweisungen bekannt, auf die ich mich stützen könnte. Das verwendete Simulationsprogramm beinhaltet zwar ein entsprechendes Feature, es ist jedoch sehr umständlich auszuführen. Die Auswertung der Ergebnisse stützt sich auf dürftige narrative Beschreibungen aus der Literatur. Die Ableitung der Inputabhängigkeiten mittels der Bildung von *Perturbations-* und *Kausaldiagrammen* stammt explizit von mir. Es ist durchaus denkbar, dass ich im Bezug auf die Sensitivitätsanalyse das Rad

unabhängig von anderen erneut erfunden habe. Im Kapitel 12 werden meine Ergebnisse zu diesem Thema näher erklärt.

Die Statistik lebt von der Bewertung von Gesamtheiten, Wahrscheinlichkeiten gewichten auf dieser Basis spezifische Einzelereignisse. Über die Analyse von Residuen versucht man die Abweichung zu einem *idealen* Musterverlauf in Augenschein zu nehmen. Meine Betonung liegt auf *ideal*, weil ein aus der Gesamtheit der Einzelverläufe gebildeter Musterverlauf *real* nie zu beobachten ist. Oftmals werden so genannte *Ausreißer* zu gering bewertet, nur weil sie selten auftreten. Treten sie jedoch auf, hat dies oftmals fatale folgen. In der Risikotheorie begegnet man dieser Tatsache durch die Definition des Risikos durch die Bildung des Produkts aus Eintrittswahrscheinlichkeit und erwartetem Schaden.

Der Mathematiker und Physiker *Benoit Mandelbrot* (geb. 1924), der wohl bekannteste Begründer der fraktalen Geometrie, bemängelt jedoch an den gängigen Risikomodellen der Finanzmärkte: „*Die Mathematik hinter dieser Theorie behandelt extreme Situationen durch freundliche Missachtung: Große Kursschwankungen werden als zu unwahrscheinlich angesehen, als das sie eine Rolle spielen könnten – oder schlicht als unkalkulierbar* [Mand99].“

Eine kleine Anekdote meines Mathematikprofessors aus HTL-Zeiten, *Heinz Thallinger*, über die Tücken der Statistik scheint mir hier angebracht:

Ein Geschäftsmann leidet unter extremer Terrorangst und bangt auf seinen vielen Geschäftsreisen um sein Leben. Deshalb bittet er einen Statistiker auszurechnen, wie groß die Wahrscheinlichkeit tatsächlich ist, in einem Flugzeug mit einer Bombe zu sitzen. Der Statistiker nennt nach Verwertung seiner Daten eine Zahl und der Geschäftsmann verzerrt sein Gesicht in blankem Entsetzen. Beruhigend redet der Statistiker auf den Geschäftsmann ein. Er müsse doch nur selber ein Bombe mit an Bord des benützten Flugzeugs nehmen, denn die Wahrscheinlichkeit, dass in einem Flugzeug gleich zwei Bomben wären, liege um Potenzen näher bei Null.

2.4 Technisch-kybernetisches Verkehrsgeschehen

Wie handhabt man technisch-kybernetische Systeme wie den Verkehr? Dieser Frage möchte ich gegen Ende dieses Kapitels nachgehen. Systeme lassen sich von ihrer Umwelt abgrenzen, bestehen aus Subsystemen bis hinunter zu den unteilbaren Systemelementen. Auf jeder Detaillierungsebene findet sich eine Struktur, über die Subsysteme bzw. Systemelemente Energie, Information oder Materie austauschen können.

Die Systemgrenze zur Umwelt wird auf der technischen Seite durch die Verkehrsinfrastruktur gesetzt. Auf der biologischen Seite findet sich die Grenze in der momentanen Sichtweite. Die Verkehrsinfrastruktur beinhaltet die Fahrbahn an sich, die Mobilität spielt sich idealerweise nur auf ihr ab.

Das System ist informationsdurchlässig. Es gibt verschiedene Informationskanäle wie Radio, *Traffic Message Channel* (TMC) und visuelle *Verkehrsmanagement-Informationssysteme* (VMI).

Das System ist materiedurchlässig (z.B. Abgase und Partikel, Niederschlag). Es ist wärmedurchlässig, nicht adiabatisch (z.B. Sonneneinstrahlung). Es organisiert sich aus ähnlichen Subsystemen – Menschen und Maschinen (Verkehrsteilnehmer). Ein solches Subsystem kann geteilt werden, und es ergeben sich die *biologische Einheit Mensch* und die *technische Einheit Maschine*. Die Struktur auf dieser Ebene ist primär von einem Energiefluss zwischen Sensomotorik und Aktorik bestimmt. Ein jedes dieser Systemelemente interagiert jedoch auch separat mit der Umwelt.

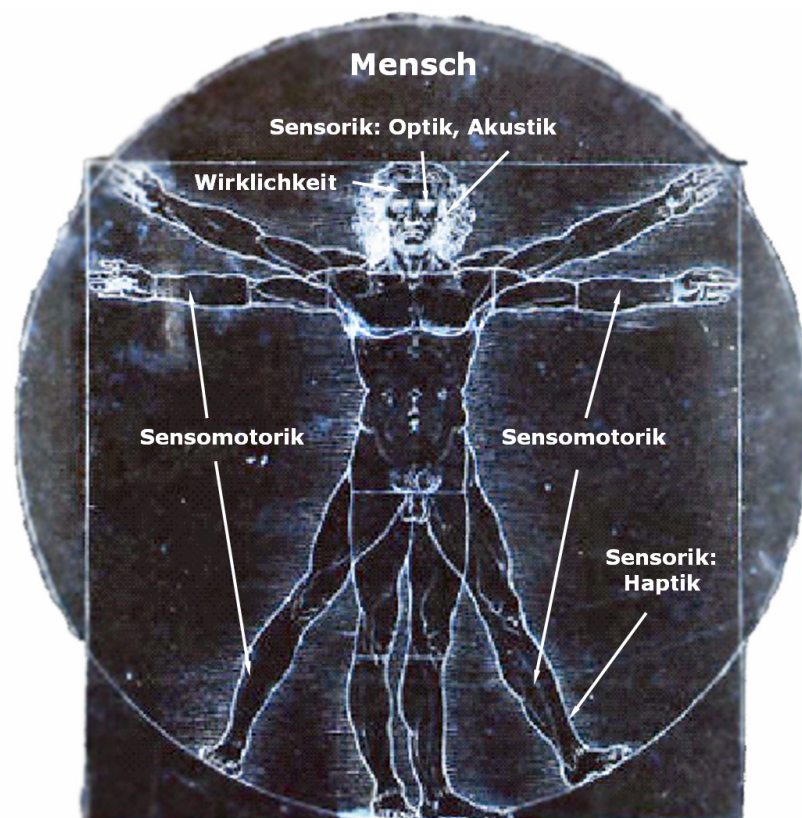


Abbildung 2.5: Systemelement Mensch (eigene Adaption von [DaVi1485])

Der Mensch empfängt Information (Abbildung 2.5) über optische und akustische Kanäle von der Umwelt und von der Maschine. Zwischen Mensch und Maschine

ergeben sich weitere Kanäle, die haptisch (Information) bzw. sensomotorisch-aktorisch (Energie) sind.

Die Maschine gibt Verbrennungs- bzw. Reibungswärme (Energie) und Abgase bzw. Abrieb (Materie) an die Umwelt ab. Sie unterliegt letztlich der Organisation des Menschen und soll nur funktionieren, trivial und vorhersagbar sein. Technische Gebrechen und mögliche instabile mechanische Dynamik machen sie jedoch zu einem gewissen Teil nicht-trivial und damit unvorhersagbar.

Der Mensch bildet sich über seine Optik, Akustik und Haptik im Zentralnervensystem (ZNS, eine biologisch neuronale Netzstruktur) eine Repräsentation seines eigenen Zustandes bzw. Trends im Verkehrsfluss. Dieser Prozess unterliegt verschiedenen Aspekten bzw. Filtern und wandert stark in die Epistemologie (Erkenntnistheorie) ab. In Abbildung 2.6 ist eine beispielhafte Darstellung der Aspekte der Erkenntnis zur Bildung der individuellen Wirklichkeit gegeben. Die Realität (vgl. Kapitel 3) bestimmt die Bildung der eigenen Wirklichkeit. Sie ist die Handlungsgrundlage zur Regelung der menschlichen Interaktionen im System.

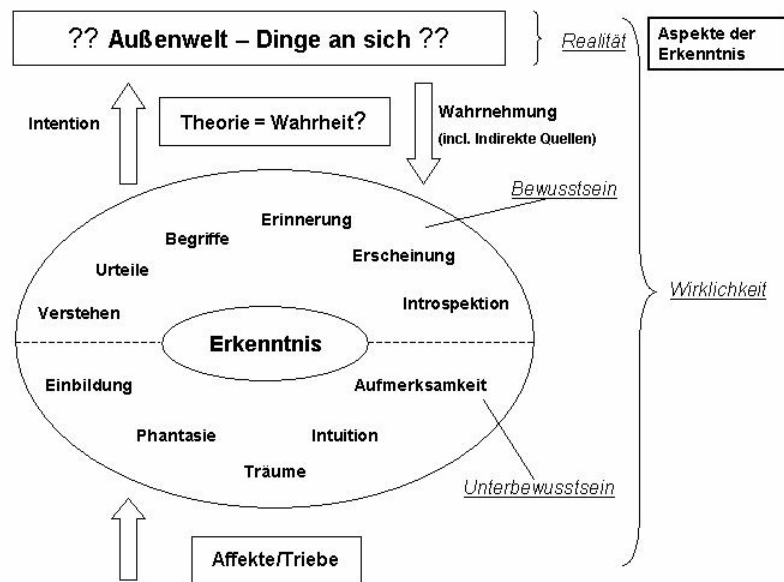


Abbildung 2.6: Aspekte der Erkenntnis (wikipedia.de, [Lutz Hartmann 2005])

Die Wirklichkeit äußert sich in den komplexen Interaktionen der Fahrer, die über ihre Biologischen Neuronalen Netze (BNN) mit ihren Sinnen die Umwelt erfassen und bewerten. In Kombination mit ihren individuellen Verhaltensweisen, Intentionen und Motiven treffen die Fahrer Entscheidungen. Beschleunigen und Abbremsen, sich

einordnen, die Spur wechseln, überholen usf. sind Entscheidungen, die über die menschliche Sensor-Motorik an die Elektronik und Mechanik des Fahrzeuges übertragen werden.

Das System Verkehr nimmt Zustände ein, die zeitlich und örtlich unabhängig sein können. Die Anzahl, Geschwindigkeit und Verteilung der Verkehrsteilnehmer und Veränderungen der Umwelt (Wetter, Schäden der Infrastruktur) bewirken die Emergenz von stabilen oder metastabilen Systemzuständen (frei, teilgebunden, synchron, stockend, gestaut, stehend) (vgl. [Kim01] bzw. [Top04]). Der Verkehrsfluss unterliegt sowohl der Selbstorganisation als auch der Fremdorganisation (z.B. Ampeln, Tempolimits). Die Verkehrsteilnehmer organisieren ihre Bewegungen selbst, unter Rücksicht auf andere Verkehrsteilnehmer, die sich im Sicht- und Wirkradius befinden. Die Verkehrsteilnehmer nehmen hierbei auch Informationen aus der Umwelt auf, wie etwa Verkehrsmeldungen und Tempolimits.

Biologische Einheiten, Menschen, interagieren mittels technischer Systeme, die der Mobilität dienen. Die Verkehrsteilnehmer mit ihren Fahrzeugen organisieren sich als Systemeinheiten sozial. Es gibt unzählige Freiheitsgrade, die sich bei der Analyse eines Kollektivs an Verkehrsteilnehmern eröffnen und für die Stabilität des Verkehrs ausschlaggebend sind.

Die wenigsten dieser theoretisch beschreibbaren Freiheitsgrade sind messbar. Trunkenheit am Steuer steigert das Risiko tödlicher Unfälle, wirkt sich auf die Aufmerksamkeit, die Spurhaltung, die Reisegeschwindigkeit, etc. aus. Es würde jedoch niemanden in den Sinn kommen zu messen, ob alle Fahrer alkoholisiert ihr Fahrzeug lenken. Ein im Fahrzeug integriertes Alkoholtestgerät, der eine Probe auswertet und bei einem negativen Ergebnis die Zündung freigibt, wurde schon angedacht. Ein verpflichtender Einbau in jedes Fahrzeug käme aber einer Entmündigung der Menschen gleich, meinen Skeptiker.

In der Verkehrstelematik gewinnen intelligente fahrzeugseitige Sensoren immer stärker eine Bedeutung als Datenquellen für Dienste der Information und Fahrerunterstützung, einer Art von *Decision Support System*.

Seit einigen Jahren betreibt arsenal research Floating Car Flotten in Wien und Düsseldorf. In Zukunft werden weitere Städte wie z.B. Graz und Salzburg folgen. Kooperierende Taxiunternehmen stellen GPS-Daten ihrer Fahrzeuge zur Verfügung. Die Taxis fungieren als mobile Sensoren, die jede halbe Minute Positionsdaten an einen zentralen Server liefern. Diese Daten werden als Floating Car Daten (FCD) bezeichnet. Eine Verbesserung der FCD sind Extended Floating Car Daten (XFCD).

Intelligente Assistenzsysteme sind erschwinglich und serienreif geworden: Antischlupfregelung (ASR), Antiblockiersystem (ABS), Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP), Adaptive Cruise Control (ACC). Derzeitige Prototypen verfügen z.B. auch über Regensensoren und überwachen den Frontbereich des Autos mit Laserscannern. Einen Prototypen dieses Sicherheitssystems konnte ich im Oktober 2006 in London auf dem *13th World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services*, bewundern. Menschen und etwaige Hindernisse auf der Fahrbahn werden vom System erkannt und der Wagen abgebremst. Es wird auch an der fahrzeugseitigen Erkennung von Verkehrszeichen und Signalanlagen geforscht.

XFGD werden in Zukunft als Telemetriedaten an die Infrastruktur gesandt. Von der Infrastruktur erhält das Fahrzeug Daten über die Verhältnisse auf der bevorstehenden Strecke. Fahrzeugseitig können die gemessenen Freiheitsgrade (FG) zur Situationserkennung eingesetzt werden. Es können sogar Informationen über die gegenwärtige Niederschlagsmenge aus der Bewegungsfrequenz der Scheibenwischer abgeleitet werden. Infrastrukturseitig werden die gesendeten Daten gemindert (*Data Mining*), klassifiziert und zur Erkennung von Situationen dem Kollektiv bereit gestellt. Entscheidungshilfen für die menschliche Wirklichkeitsbildung und damit Abwendung ungewünschter kritischer Situationen: Das Lenkrad beginnt zu vibrieren oder der Sicherheitsgurt strafft sich ruckartig zur Erhöhung der Aufmerksamkeit des Fahrers.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Klassifikation und Prognose von Systemzuständen und deren Übergängen ineinander. Der in dieser Dissertation vorgestellte Anwendungsfall findet sich infrastrukturseitig. Es wird aber auch verstärkt fahrzeugseitig geforscht ([JaKeBe04]). Ein Verkehrsinformationssystem (*GoSmart*) zur Überwachung und Prognose des Verkehrsflusses auf des gesamten österreichischen Autobahnnetzes wird in diesem Sommer bei arsenal research abgeschlossen.

951 Sektionen werden durch Mautportale und Enforcementstationen des LKW-Mautsystems der Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG) abgebildet. Die Reisegeschwindigkeiten und Verkehrsstärken der LKW werden klassifiziert. Multi-Layer-Perceptrons (MLPs) prognostizieren für jede Sektion die Geschwindigkeit bis zu zwei Stunden in die Zukunft.

Zwei gemessene Freiheitsgrade (Verkehrsstärke und Geschwindigkeit) stehen zur Verfügung, um Vorhersagen zu treffen. Es finden sich nichtlineare Zusammenhänge,

die mathematisch extrahiert werden und zur Kalibrierung mikro- bzw. mesoskopischer Verkehrsmodelle dienen können. Mein Beitrag zu diesem Projekt bestand aus Systemabbildungen mit Neuronalen Netzen auf der einen und aus der Datenanalyse auf der anderen Seite. Genauere Informationen über die Ergebnisse meiner Untersuchungen finden sich in den Kapiteln 10 bis 12.

2.5 Nachhaltige Etablierung neuer Ideen

Ich verdanke es zwei Förderprojekten, dass die monetären Mittel für meine Anstellung bei arsenal research bewilligt wurden. Ich kann nur bemerken, dass die Forschungsförderung in Österreich und der EU in den nächsten Jahren erhöht wird, so zumindest die öffentlichen Pläne. Eine weise Entscheidung, das habe ich in den Monaten vor meiner Anstellung feststellen müssen. Ich fand im Programm wohl der wichtigsten österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft eine Budgetlinie, die dezidiert auf die Förderung von Nachwuchsforschern ausgerichtet ist. Bei einem Telefonat wurde ich jedoch enttäuscht, weil arsenal research als halbstaatliches Unternehmen für eine solche Förderung ausgenommen ist. Mir wurde von dieser Stelle geraten mir eine andere Firma zu suchen. Pech, was ich mir vornehme ziehe ich gerne bis zuletzt durch. Private Klein- und Mittelunternehmen (KMU) stehen auf der Liste der möglichen Antragsteller. Die Forschungstätigkeit dieser Betriebe soll so überhaupt erst ermöglicht und aufgebaut werden. Unternehmen, deren Expertise per se aus Forschung besteht, profitieren nicht davon.

Als ambitionierter Nachwuchsforscher, so wie ich mich in diesem Kontext bezeichne, schaut man da leicht durch die Finger. Nachwuchs muss von Erwachsenen aufgezogen werden, auch in der Forschung. Im Endeffekt hat die Entscheidung bis zu einem offiziellen Okay zu meiner Arbeit seitens arsenal research mehrere Monate gedauert. Eine aufreibende Zeit, wenn man seine Ziele zügig verwirklichen will und damit rechnen muss, dass seine persönlichen Vorhaben nicht aufgehen können. Ich habe in der Wartezeit meine Basis theoretisch wie praktisch gefestigt, z.B. habe ich vorab und selbstständig einige Methoden aus der Chaostheorie programmiert (siehe Kapitel 6), um ihre Brauchbarkeit für meine Vorhaben abzuschätzen. Die Ergebnisse sind meiner Meinung nach viel versprechend und ich habe sie auch den Projektleitern bei arsenal research präsentiert, mit sehr positivem und zuversichtlichem Echo. Meine Visualisierungen waren beeindruckend und ergänzten die geplanten Methoden als wertvoller Aspekt. Ich bin sehr zufrieden und freue mich, in einem sehr kompetenten Umfeld von netten Kollegen zu lernen und auch etwas von meinem Wissen weiter zu geben.

Mit einem kleinen Zitat von *Jacob Bronowski*¹⁷ (1908 - 1974), das in [vGla97] zu finden ist und Bedeutung für das Verständnis unserer wissenschaftlichen Beschreibungsmethoden hat, möchte ich dieses Kapitel beenden.

Bronowski war Mathematiker und Poet. Der breiteren Öffentlichkeit wurde er als Autor und Präsentator der BBC-Serie *The Ascent of Man* (auf Deutsch in etwa: Der Steigflug des Menschen) bekannt. Nach seinem Mathematikstudium in Cambridge beschäftigte er sich während des zweiten Weltkrieges mit Operations Research. Als er als offizieller Beobachter Zeuge der verheerenden Folgen der beiden Atombombenabwürfe in Hiroshima und Nagasaki wurde wechselte er in die Biologie. Sein Freund *Leó Szilárd*¹⁸ (1898 – 1964), ein Physiker, wechselte mit ihm. Szilárd hatte am Manhattan-Projekt mitgewirkt, also am Bau der ersten Atombombe, die über Hiroshima abgeworfen wurde. Seine Rolle in den damaligen Ereignissen ist tragisch. Zusammen mit Albert Einstein schrieb er den bekannten Brief¹⁹ an Franklin D. Roosevelt. Die darin dargestellte Gefahr, dass die Nazis Kernwaffen entwickeln könnten und die Notwendigkeit, diesem Szenario zu begegnen, beschwor eine Entwicklung herauf, die Szilárd überrollte. Mehrfach warnte er vor dem Einsatz der ersten Atombombe, aber zu dieser Zeit lag keine Macht mehr in seinen Händen. Fortan war Szilárd einer der schärfsten Kritiker der US-Regierung. Die enge Verstrickung von Bronowski und Szilárd erschien mir erwähnenswert. Bronowski wollte durch die Biologie die menschliche Gewaltbereitschaft besser verstehen.

„Es gibt keine Permanenz für naturwissenschaftliche Begriffe, denn sie sind lediglich unsere Interpretation natürlicher Phänomene. Wir machen bloß eine temporäre Erfindung, die den Teil der Welt betrifft, der uns gerade zugänglich ist [Bron78].“

Jacob Bronowski

Alles, womit wir unsere Welt beschreiben, fällt auf die Systemtheorie, die Methodologie und die Technik zurück. Letztendlich wirken alle diese Konstrukte und Ansätze zurück auf das beschriebene konkrete und beobachtete System, die Welt in allen ihren Facetten. Deshalb bleibt nichts ohne Wirkung, nicht zuletzt auf uns selbst. Wir stehen nicht außerhalb technisch-kybernetischer Systeme. Wir sind innerhalb der Systemgrenze und haben Verantwortung für unser Handeln.

¹⁷ http://en.wikipedia.org/wiki/Jacob_Bronowski - gelesen am 10.2.2007

¹⁸ http://en.wikipedia.org/wiki/Leo_Szilard - gelesen am 10.2.2007

¹⁹ http://en.wikipedia.org/wiki/Einstein-Szil%C3%A1rd_letter - gelesen am 10.2.2007

Kapitel 3

Realität und Neuronales Data Mining

„Welches sind die Eigenschaften eines Beobachters? ... Welche Eigenschaften wir auch immer feststellen, es sind wir, Sie und ich, die diese Beobachtung vorzunehmen haben, d.h. wir müssen unsere eigene Beobachtung beobachten und letztendlich in unsere Bilanz mit einbeziehen. Öffnet dies nicht dem logischen Unfug von Sätzen, die sich auf sich selbst beziehen („Ich bin ein Lügner“) Tür und Tor, die so erfolgreich durch Russels Theorie der Typen ausgeschlossen wurden und uns nie wieder beschäftigen sollen? Ja und Nein! Es ist mir eine Genugtuung, Ihnen mitteilen zu können, dass die wesentlichen Begriffssäulen einer Theorie des Beobachters erarbeitet wurden. Die eine ist die Errechnung unendlicher Rekursionen (Anm. [WesvFör73]), die andere ist eine Errechnung der Selbst-Referenz (Anm. [Var75]). Durch diese Rechnungsarten sind wir nun in der Lage, mit aller Strenge, ein Begriffssystem zu erschließen, das sich mit dem Beobachten und nicht nur mit dem Beobachteten befasst [vFör93].“ Heinz von Förster

Dieses Kapitel befasst sich mit der individuellen Realität und ihrem Einfluss auf die Modellbildung. Der Begriff des Neuronalen Data Minings (NDM) schlägt hierbei eine Brücke vom Menschen, der Rahmenbedingungen definiert, und der Maschine, die auf dieser Basis Neuronale Netze simuliert und ein System abbildet. Stellen Sie sich vor, Sie und drei weitere Personen machen einen Rorschachtest.

*Hermann Rorschach*²⁰ (1884-1922) publizierte 1921 diesen Test, dem sich heute noch Psychiater und Psychoanalytiker bedienen, um Rückschlüsse über die gesamte

²⁰ <http://de.wikipedia.org/wiki/Rorschachtest> - gelesen am 19.2.2007

Persönlichkeit eines Probanden zu ziehen. Es handelt sich um jenes psychodiagnostische Testverfahren, für das Rorschach eine eigene Persönlichkeitstheorie entwickelte.



Abbildung 3.1: Kontur einer Rorschachtafel, original färbig (wikipedia.de)

Sie und die weiteren drei Probanden sollen einen Tintenfleck auf weißem Hintergrund betrachten (Abbildung 3.1) und etwas aus ihrem Leben damit assoziieren. Sei es eine Person, ein Ding oder eine Handlung, Ein jeder wird seine eigene Assoziation bilden und in einer Diskussionsrunde über seine Eindrücke, seine Zuordnung (Klassifikation) sprechen. Die *Beschreibungen* aller Probanden werden zweifellos verschieden sein. Die Wahrnehmung und das Erleben einer Gegebenheit basieren auf einer individuellen Charakteristik, gebildet und sich ständig formend aus unserem Genmaterial, unseren Erfahrungen, Wünschen und Hoffnungen.

In diesem Kapitel wird die Bildung der Realität des Menschen beleuchtet. Data Mining (DM) ist das Schlagwort für die Suche nach Informationen in großen Datenmengen mittels statistischer Verfahren und KI-Methoden. Visuelles Data Mining (VDM) beschäftigt sich primär mit der effektiveren Einbindung des Menschen in Datenanalyseprozesse. DM ist maschinenseitig und VDM menschenseitig angesiedelt. Neuronales Data Mining (NDM) beinhaltet DM und VDM, legt jedoch ein besonderes Augenmerk auf die Menschen, die zugehörige Problemstellungen definieren und verantwortlich für die Prozesse DM und VDM sind.

3.1 Die Bildung der Realität des Menschen

Ich hatte im Sommer 2005 die Gelegenheit ein Seminar mit dem Titel *Authentic Leadership* (authentische Führung) zu besuchen, welches von *Barbara Lawton* veranstaltet wurde. Ehemals Assistentin von *William Edwards Deming* (1900-1993),

einem Physiker und Wirtschaftspionier, der zu seinen Lebzeiten eine der führenden Figuren des modernen Qualitätsmanagements war. Sie ist heute Leiterin des *Engineering Management Programs* an der University of Colorado at Boulder und vertritt die Auffassung, dass man sich als Mitglied von sozialen Netzwerken zwischen zwei Positionen entscheiden kann, die man als Individuum einnimmt. Die des *victims* (Opfers) oder die des *players* (Spielers).

Es handelt sich hierbei um die Art und Weise, wie man mit Gegebenheiten umgeht, die man als nicht akzeptabel erachtet. Ein *victim* zeigt sich nach Außen hin zufrieden (bzw. wird dies von anderen angenommen, da keine negative Rückmeldung erfolgt), ist aber in sich unzufrieden. Anstatt proaktiv an der ungewünschten Situation etwas ändern zu wollen, schiebt es die Verantwortung auf andere ab, die vielleicht nicht einmal wissen, dass für das *victim* ein solches Problem existiert. Ein *player* hingegen arbeitet selbstständig an der Verbesserung einer unangenehmen Lage, er sucht das Gespräch bzw. versucht er sich so seinem Gegenüber auszudrücken, dass dieser auf das Problem aufmerksam wird und sich ein Bild über die Lage des anderen machen kann. Die Gefühlslagen des Pessimismus und des Optimismus treffen hier aufeinander. Ein Mensch, der die Früchte seiner Bemühungen erntet wird positive Assoziationen bilden, während ein anderer negativ besetzte Emotionen bilden wird, wenn er ständig mit Entscheidungen konfrontiert wird, die ihm nicht passen und zu denen er nichts beiträgt bzw. sich der Verantwortung entzieht.



Abbildung 3.2: Realitätsbeeinflussende individuelle Filter (eigene Darstellung nach [Lawt05])

Maßgeblich am Entscheidungsprozess der Positionierung als *player* oder *victim* sind unsere individuellen Filter, mit denen wir die Welt interpretieren (nach [Lawt05]) und als Realität R abbilden. Abbildung 3.2 stellt die von Lawton für die Managementwissenschaften vorgestellten Filter im menschlichen Bezug dar.

Die *Biologie* bestimmt unsere Wahrnehmung, eine rot-grün Sehschwäche ist z.B. ein weit verbreiteter genetischer Defekt. Übermüdung beeinflusst z.B. unsere Denkprozesse.

Die *Kultur* ist ein Regulator, der sich von der Gesellschaft auf das Individuum mehr oder weniger Einfluss nimmt. Wo liegen die Grenzen des denkbaren, und was vom Erdachten darf man in einer Kultur aussprechen? *Galileo Galilei*²¹ (1564-1642), war ein italienischer Mathematiker, Physiker und Astronom. Er widerlegte das von den alten Griechen (Sokrates u.a.) durchgesetzte geozentrische Weltbild, d.h. dass die Erde im Mittelpunkt des Universums steht. Das heliozentrische (auch kopernikanisches) Weltbild genannt kam zur Einsicht, dass sich alle Planeten, auch die Erde, um die Sonne drehen. Im 18. Jh. folgte dann die Erkenntnis, dass unser Sonnensystem nur ein kleiner Teil des Universums ist. In unserer Galaxie folgt es in einem Spiralarm gelegen der Rotationsbewegung dieser Spirale, weit ab von deren Zentrum, in dem ein sehr großes schwarzes Loch vermutet wird. Die Rehabilitierung von Galilei durch die römisch-katholische Kirche fand offiziell erst 1992 statt, 350 Jahre nach dessen Tod.

Jeder Wissenschaftler entstammt einem Milieu mit ihrer eigenen Kultur des Problemlösens. Nicht nur in früheren Zeitaltern bestimmte vor allem sie erst die zulässigen Denkweisen, die Wissenschaftler gefahrlos laut aussprechen durften ohne Repressionen befürchten zu müssen. In seinem Reifeprozess hinterfragt der Wissenschaftler die präsentierten Methoden, manche hinterfragen aber auch die hinter den Methoden stehenden Professoren und Lehrer, womit der Konstruktivismus hier wieder eine unbezweifelbare Wichtigkeit erlangt. Es geht also nicht nur um ein *Wie* bei den eingesetzten Methoden, sondern auch um ein *Warum*.

Die *Geschlechterrolle* ist sehr stark mit der jeweiligen Kultur verbunden, leider gibt es immer noch zu viele Trennungen in dieser Hinsicht. Verhaltensmuster, in die man von Kindesbeinen an hineinwächst, weil vorgelebt bekommt, können das Blickfeld erheblich einengen. Der Frauenanteil in technischen Berufen ist immer noch sehr gering.

Das *Alter* ist stark mit der Biologie und der Erfahrung verbunden. Oft lassen mit zunehmendem Alter die Lernfähigkeit und die Offenheit gegenüber Neuem nach.

Neben den *Erfahrungen* aus seiner Ausbildung gewinnt der Wissenschaftler in den Jahren seiner beruflichen Tätigkeit Eindrücke über die Robustheit und

²¹ <http://de.wikipedia.org/wiki/Galilei> - gelesen am 19.2.2007

Anwendbarkeit der ihm bekannten Methoden. Deren Schwächen sollen offen gelegt und kritisch hinterfragt werden. Es gibt keine makellose Theorie und daraus resultierende Anwendungen.

Die *Stimmung* wiederum ist mit der Kultur und den Erfahrungen in Verbindung zu bringen. Sind die eingesetzten Methoden qualitativ schwer einsetzbar kommt der Wissenschaftler entweder zu dem Schluss, dass es entweder keine bessere Lösung gibt oder er versucht seinen Horizont zu erweitern und ihm unbekannte Methoden kennen zu lernen, alte Methoden zu erweitern bzw. gänzlich neue zu erfinden. Ein latenter Einfluss von den Verhaltensmustern *player* oder *victim* könnte vermutet werden.

Menschliche Wesen sind nicht frei von *Emotionen*. Erfolg und Misserfolg, Sicherheit und Unsicherheit, Hoffnung und Resignation. Neugier ist eine wesentliche Emotion, ein Charakterzug, der den Wissenschaftler auszeichnen sollte.

Filter spielen bei der Bildung der individuellen Realität eine entscheidende Rolle. Einzelaspekte summieren sich zu einem Gesamtbild und somit zu einer Beobachtung.

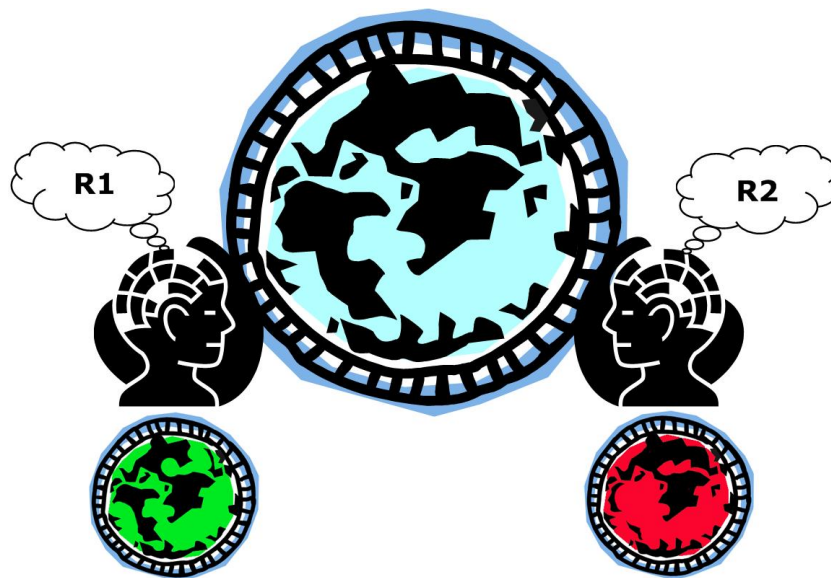


Abbildung 3.3: Individuelle Realitäten bei der Interpretation eines Systems

Wenn nun zwei Beobachter ein und dasselbe Objekt beobachten werden sie unzweifelhaft zwei verschiedene Realitäten R1 und R2 zur Verfügung haben, um dieses Objekt abzubilden. Viel mehr noch wird die Beobachtung die jeweilige individuelle Realität beeinflussen und adaptieren. Abbildung 3.3 zeigt zwei Beobachter, die in ein und dasselbe Objekt (großer Globus) in einem

Transformationsprozess unbewusst filtern (R1 bzw. R2) und eine Repräsentation davon bilden (kleine Globen). Die Unterschiedlichkeit dieser Abbildungen ist nicht nur durch die Farbgebung gekennzeichnet, wenn man genauer hinsieht wird man Unterschiede in den Landmassen (schwarz) erkennen. Zu bemerken bleibt, dass keiner der beiden Beobachter es vollkommen schafft die ganze Landmasse des Originals abzubilden, und das ist auch gut so. Sonst hätte jeder die Weisheit für sich gepachtet und käme dem anderen mit der *absoluten* Wahrheit, über die es keinen Richter gibt, der dem einen Recht zu- und dem anderen absprechen könnte.

Somit sind wir an verschiedene Meinungen und Sichtweisen gebunden, wenn ein Objekt, System, usf. modelliert und dieses Modell in weiterer Folge interpretiert werden soll. Gute Teamarbeit gleicht aus, übersteigt das Wissen des Einzelnen und sie regt alle Teammitglieder zu neuen Sichtweisen an. Würde man die beiden Repräsentationen aus Abbildung 3.2 übereinander legen würden sich die Landmassen zu einer großen vereinigen, die noch am ehesten dem Original entspricht. Das ist natürlich im Gegensatz zu sehr komplexen *real-world-problems* sehr vereinfacht dargestellt.

3.2 Data Mining (DM)

Unter Data Mining (in dt. etwa: Daten schürfen) versteht man die Suche nach wichtigen Informationen, die man aus großen Datenmengen gewinnt. Viele Prozesse werden heute sensorisch beobachtet. Beobachtungsdaten sollen helfen, technische, wirtschaftliche und soziale Gesetzmäßigkeiten zu verstehen. Dafür müssen semantische Attribute und Messwerte codiert und algorithmisch verarbeitet werden. Anwendung finden Methoden der Statistik und Neuronalen Netzen. Bei den Rohdaten gibt es sehr viele Fehlerquellen. So können zum Beispiel

- Inkompatible Identifikationsschlüssel,
- Semantische Abbildungsdefekte (*Name & Inhalt*),
- Syntaktische Abbildungsdefekte (*Schreibweisen*),
- Zeitlogische Abbildungsdefekte (*Systemevolution!*),
- Redundanzen,
- Fehlwerte und
- Falschwerte

für erhebliche Schwierigkeiten bei der Datenbereinigung sorgen. Probleme ergeben sich auch bei der Aggregation von Merkmalen, bei der Berechnung neuer Attribute und beim Umgang mit stark korrelierten Attributen. Bei technischen Messreihen treten außerdem häufig Fehlwerte oder Falschmessungen auf, die auf die Sensorik und deren Zuverlässigkeit zurück fallen. Die Interpolation von Fehlwerten ist ein kontroversielles Thema. Ein Lager vertritt die Auffassung, dass eine statistische Interpolation für Zeitlücken gewisser Länge zulässig ist und das andere Lager spricht von unbrauchbaren Mustern, die nicht für den DM-Algorithmus geeignet sind und ausgeblendet gehören.

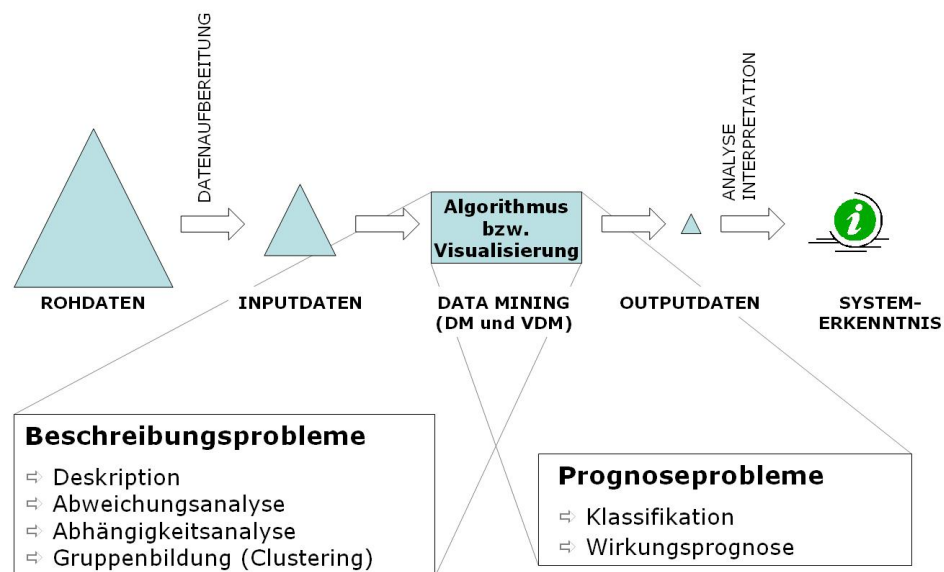


Abbildung 3.4: Der Data Mining Prozess (eigene Adaption nach [Big96])

Auf jeden Fall gehen Analysedaten bei der Datenaufbereitung verloren. Hier erfolgt auch die Codierung der Daten nach menschlichem Ermessen:

„Ein Code ist ein Arrangement semantischer Verknüpfungen von bezeichnenden Elementen mit anderen Elementen, die durch diese bezeichnet werden. Um eine bedeutungsvolle Verknüpfung zu herzustellen, muss man folglich Zugang nicht nur zu den Zeichen oder Symbolen haben, die man verwenden will, sondern auch zu jenen Elementen, die durch diese bezeichnet werden [vGla97].“

Aufbereitete Daten werden als Inputdaten bezeichnet, sie dienen dem DM-Algorithmus als Lernbasis. Ein Modell wird an die präsentierten Daten angelehrt. Als Output werden numerische Daten geliefert, die dann decodiert werden. Jetzt wird analysiert, interpretiert und somit eine Systemerkenntnis gebildet. Die Erkenntnis richtet sich nach der Problemstellung, wobei hier grob in

Beschreibungs- und Prognoseprobleme unterschieden wird. Abbildung 3.4 zeigt eine schematische Darstellung aller Prozessschritte.

3.3 Visuelles Data Mining (VDM)

„Das menschliche Wahrnehmungssystem verfügt für Zwecke des Data Mining über bemerkenswerte Qualitäten. In einem Bild, das aus lauter kleinen Punkten (Pixel) zusammengesetzt ist, erkennen wir mühelos großräumige Strukturen, auch wenn sie teilweise verdeckt, unscharf, unvollständig oder verzerrt sind. Nichts anderes tun wir, wenn wir ein Fernsehbild betrachten [Kei02].“

Visuelles Data Mining (VDM) bezieht die menschlichen Eigenschaften Intelligenz, Kreativität und Allgemeinverständnis in den Datenanalyseprozess (vgl. Abbildung 3.2) mit ein. Schon bevor man einen DM-Algorithmus mit aufbereiteten Daten beschickt können die Inputdaten, aber auch die Rohdaten, in verschiedenen Abbildungen dem Menschen zugänglich gemacht werden. Sehr gute Publikationen für weitere Informationen zum VDM stammen von *Daniel A. Keim* und Koautoren ([KeKr96], [Kei02a], [Kei98], [Kei00] und [KeKr96]).

Die Ansprüche an die Darstellung von Systemeigenschaften sind hohe Informationsdichten und effektive Benutzeroberflächen. Die Probleme, die in technisch-kybernetischen Systemen behandelt werden, sind hochdimensional bzw. besitzen viele Freiheitsgrade. VDM ist eine immer wichtiger werdende Hilfe beim Modelldesign, und ständig entstehen neue Zugänge und Sichtweisen für Visualisierungstechniken. In dieser Dissertation wird ein Visualisierungstool, der β -Converter, für MatLab vorgestellt (siehe Kapitel 6). Zudem wurde ein Patent angemeldet, das sich mit der Datenreduktion hinsichtlich chaotischer Indikatoren beschäftigt. Das erfundene ALEV-Verfahren entstand bei der epistemologischen Interpretation von neu definierten Visualisierungstechniken. Das Prinzip der Formerhaltung spielt dabei eine zentrale Rolle und wird in Kapitel 7 bzw. [Top08a] und [Top08b] der Wissenschaftsgemeinschaft vorgestellt.

VDM ist nicht nur unerlässlich für den Dialog der Analysten untereinander, auch für Entscheidungsträger mit geringem oder keinem Hintergrund zu den verwendeten DM-Algorithmen und begrenztem terminologischen Wortschatz ergeben sich neue Möglichkeiten. Aus grafischen Darstellungen lassen sich auch weitere numerische Indikatoren aus der Chaostheorie, wie bestimmte Formen fraktaler Dimensionen, ableiten.

3.4 Neuronales Data Mining (NDM)

Oft eignet sich eine Vielzahl von Modellierungsmethoden, um ein beobachtetes System abzubilden. Dabei hat jede Methode ihre Stärken und Schwächen, ebenso wie jeder Mensch, der die Ergebnisse interpretiert, seine Stärken und Schwächen hat. Vielleicht aber sind die Worte *Stärke* und *Schwäche* nicht die geeigneten Ausdrücke, eher sollte man von hoher und niedriger Detaillierung von Antworten auf sehr konkrete Fragen sprechen, und dies nicht nur wenn bereits Ergebnisse vorliegen, sondern wenn daran gedacht wird, ein System hinsichtlich detaillierter Fragestellungen zu beobachten.

Um Modellierungsverfahren anzuwenden bedarf es Aufzeichnungen von Beobachtungen über einen längeren Zeitraum. Nach einem Beobachtungszeitraum steht eine Datengrundlage zur Verfügung, die aus vom Menschen definierten Blickwinkeln, entwickelten Messmethoden und somit Datenquellen stammt. Bevor überhaupt ein Modell konzipiert werden kann müssen die Daten im Vorfeld von den Analysten begutachtet werden. Sind sie vollständig, welche Werte treten auf? Wie kann die Dynamik des beobachteten Systems abgebildet werden, damit sie der Mensch überhaupt in entscheidenden Aspekten auf einem Blick erkennen kann? Sind die vorliegenden Datenquellen in ihrem Typ überhaupt für eine Modellierung nach definierten Fragestellungen geeignet? Im menschlichen Gehirn, dem Biologischen Neuronalen Netz (BNN), wird das Beobachtete zu Eindrücken transformiert. Der Mensch selbst hat Visionen und leitet daraus seine Ziele ab. Er selbst entscheidet, welches Material (Datengrundlage) und welches Werkzeug (Modellierungsverfahren) er verwendet, um seine Ziele zu erreichen.

Beim Data Mining geht es um die Beantwortung von Fragen. Neuronales Data Mining ist ein Terminus, der die enge Verbindung von Mensch und Maschine im Analyseprozess nach vorne rückt. Darüber hinaus wird besonderes Augenmerk auf die Modellierung mit Künstlichen Neuronalen Netzen (KNN) gelegt. Diese sind an biologische Vorbilder angelehnt und es gibt eine breite Anzahl an Netzwerkarchitekturen, die in den letzten Jahrzehnten entwickelt wurden.

Es handelt sich nicht um Einzelfälle, wenn Systeme nicht zufrieden stellend abgebildet werden können. Dabei werden oftmals direkte Angriffe auf die verwendeten Modellierungsalgorithmen getätigt, und es ist dabei völlig egal, ob diese in der Statistik oder der KI begründet sind. Die Frage, ob die Datengrundlage überhaupt geeignet ist, um vertretbare Aussagen generieren zu können, muss in jedem Fall gestellt werden.

Neuronales Data Mining betrifft also nicht nur die verwendete Methode sondern umfasst einen ganzen Prozess beginnend mit der Erkenntnis und Realitätsbildung für ein gegebenes System und endet mit der Akzeptanz des gebildeten Modells als geeignete Systemabbildung. In Abbildung 3.5 ist das Prinzip dieses Prozesses dargestellt.

Das vorliegende System (blauer Globus) ist der Untersuchungsgegenstand und es wird durch Menschen beschrieben. Idealerweise geschieht dies durch die Interessenspartner (Stakeholder) und Entscheidungsträger, die alle notwendigen Auffassungsaspekte einbringen. Der Analyst ist hierbei das Bindeglied zwischen den Stakeholdern und den später anzuwendenden Methoden. Er entscheidet in welcher Qualität und Umfang die Daten vorzuliegen haben und nimmt die Rolle des Übersetzers zwischen Mensch und Maschine ein, er legt die Codierung der definierten Datenbasis fest.

Kein System kann in seiner Vollkommenheit beschrieben werden. In der Modellbildung konzentriert man sich auf jene Aspekte, die der aktuellen Fragestellung genüge tun. Deshalb liegt für das tatsächliche Data Mining durch verschiedene Algorithmen nur eine unvollkommene Beschreibung eines vollkommenen Systems vor (grüner Globus). Die vorliegenden Daten werden nun aufbereitet und dem verwendeten Algorithmus entsprechend kodiert. Auf dieser Basis erfolgt nun die Systemabbildung, in unserem Fall mit einem Künstlichen Neuronalen Netz (KNN). Der Algorithmus liefert ein Modell, eine Abbildung der Systembeschreibung (roter Globus).

Die Stakeholder, Entscheidungsträger und der Analyst vergleichen nun die vom Algorithmus gebildete Systemabbildung mit der Systembeschreibung. Wie groß sind die Fehlerwerte der einzelnen Indikatoren? Werden die festgelegten Toleranzgrenzen verletzt? Hat die Datenbasis gereicht, um alle Fragen zu beantworten?

Ist die Systemabbildung nicht zufrieden stellend muss einerseits die Systembeschreibung hinterfragt werden, andererseits kann auf einen anderen Modellierungsalgorithmus zurückgegriffen werden. Ist die Systemabbildung zufrieden stellend, wird das Modell akzeptiert und auf das zu beschreibende System angewendet. Prinzipiell gilt jedoch das GIGO-Prinzip²²: Garbage In – Garbage Out (Müll rein – Müll raus).

²² http://en.wikipedia.org/wiki/Garbage_in,_garbage_out – gelesen am 19.02.2007

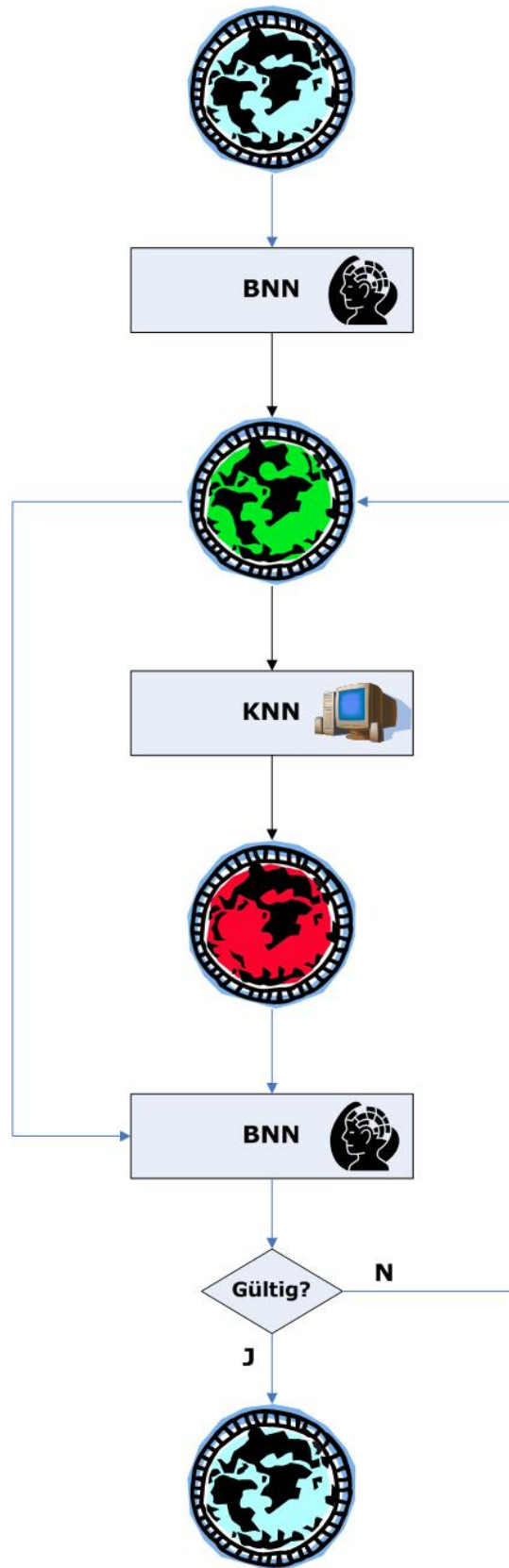


Abbildung 3.5: Prozess des Neuronalen Data Minings

3.5 Kritik

Bei der Konzeption von Data Mining Systemen könnten zwei gravierende Schwachpunkte auftreten. Der erste betrifft die Systembeschreibung ohne die Einbeziehung der in Punkt 3.2 angeführten Beteiligten. Zu Beginn dieses Kapitels wurde die Bildung von Realität vorgestellt. Ein Beschreibungsteam sollte aus Spezialisten mit möglichst unterschiedlichen Hintergründen bestehen. Damit vereint sich in der Systembeschreibung ein Spektrum von individuellen Realitäten und es herrscht keine Einseitigkeit, die zweifellos viele Systemgesichtspunkte außer Acht lässt.

Der zweite Schwachpunkt betrifft die Anerkennung des Modells hinsichtlich der universellen Gültigkeit als Abbildung des vorliegenden Systems. Jedes System unterliegt einer Evolution und neue Nichtlinearitäten sind sehr schwer zu erkennen bzw. nicht absehbar. Kontraintuitives Verhalten birgt ein gewisses Restrisiko und kann fatale Auswirkungen haben, wie beispielhaft im Kapitel 1 angeführt. Die Technik gibt nur Antworten auf Fragen, die Menschen formulieren die Fragen. GIGO schiebt die Verantwortung dorthin, wo sie hingehört: auf den Menschen. Die Gültigkeit von Antworten entscheidet keine Maschine. Es ist eine Notwendigkeit eingeführte Modelle langfristig und konsequent zu überwachen, um unabsehbare Effekte zu erkennen. Dies alleine ist aber nicht genug. Noch vielmehr ist es notwendiger, parallel zum Einsatz vorhandener Modelle die Beobachtung der Systeme zu detaillieren und an besseren Modellen zu arbeiten. Es liegt in der Verantwortung des Menschen eigene Fehler einzugestehen und Modelle schlechter Qualität zeitgerecht außer Dienst zu stellen.

Kapitel 4

Chaostheoretische Konzepte

„Es liegt in der Natur der Sache, dass ein Forscher erst dann weiß, was er untersucht, wenn er es erforscht hat. Er trägt keinen Baedeker (Anm. bekannter Verlag für Reiseführer) in der Tasche, keinen Führer, der ihm sagt, welche Kirchen er besichtigen und in welchen Hotels er wohnen soll. Er verfügt nur über das zweifelhafte Wissen anderer, die den Weg vor ihm gegangen sind. Ohne Zweifel führen tiefere Schichten des Geistes den Wissenschaftler oder Künstler zu Erfahrungen und Gedanken, die irgendwie für seine Probleme relevant sind, und diese Führung scheint schon zu wirken, lange bevor der Wissenschaftler irgendeine bewusste Kenntnis seiner Ziele hat. Aber wie das abläuft, wissen wir nicht [Bate87].“

Gregory Bateson

Im Sommer 2004 fand eine Spezialvorlesung zum Thema *Nichtlineare dynamische und chaotische Systeme* am Institut für Mechanik und Mechatronik der TU-Wien statt. Prof. Hans Troger, Abteilungsleiter für angewandte Dynamik, vermittelte dabei einen konkreten Einblick in die nichtlineare Welt, wie sie in *Real-World* Problemstellungen gehandhabt werden. Es kamen Methoden wie das Galerkin-Verfahren, Solitongleichungen und die Zentrumsmannigfaltigkeitstheorie zur Vorstellung, die in partiell nichtlinearen Differenzialgleichungssystemen bzw. Vektorfeldern ihre Anwendung finden. Die Palette der Fallbeispiele erstreckte sich über Pendelbewegungen, Industrieroboter, Stabilitätsverhalten von Niederflurfahrgestellen von Eisenbahnwaggons und der Brückendämpfung bei Erdbeben mittels der nichtlinearen Dynamik wasserdurchströmter Schläuche bis hin zur Satellitennavigation trotz begrenztem Schubpotential.

Diese Beispiele haben im Großen und Ganzen eines gemeinsam: Die Möglichkeit eines analytischen Zugangs und einer daraus resultierenden Systemabbildung mittels Differenzialgleichungen.

Die in diesem Kapitel vorgestellten Verfahren sind ein Auszug aus jenen in [TroSte03] vorgestellten Methoden zur Analyse von reinen Messwerten. Während meines Lernprozesses mit den Arbeiten von ([Arb94], [Pri95], [HvF93], [LaSLef67], [LoBe95], [PlBr95], [Lei96] und [ShMcAb02]) habe ich Prozeduren und Funktionen in *MatLab* programmiert, die für die vorliegenden Ansätze und Anwendungen in der Verkehrstelematik zum Einsatz kamen. Dank McSharry [McS06] drang ich weiter in der Materie vor und wurde mit Methoden vertraut, die jene von [TroSte03] erweitern.

Es gibt viele Beobachtungen, die mathematisch nicht oder nur mit sehr großem Aufwand beschrieben werden können. Ihrer Natur nach eignen sich die Ergebnisse für diverse fortgeschrittene Visualisierungstechniken, die es ihrerseits dem Menschen ermöglichen sollen, charakteristische Eigenschaften des beobachteten Systems mental zu erfassen und sich *ein Bild davon zu machen*. Aus meinen Erfahrungen in einem interdisziplinären Team, bestehend aus Mathematikern, Statistikern, Elektronikern, Informatikern, Verkehrstechnikern und mir als Systemtheoretiker und Wirtschaftsingenieur für Maschinenbau, kann ich nur auf die Wichtigkeit einfach verständlicher Diskussionsgrundlagen hinweisen. Ein jeder ist ein Spezialist in seinem Gebiet, dementsprechend bedient sich ein jeder seiner individuellen Sprache und Terminologie. Es geht um die Frage: “Wie kann ich den Teammitgliedern zeigen, was ich *sehe*, welches Bild ich mir gezeichnet habe?”

In weiterer Folge gilt es auch die Entscheidungsträger über Projektergebnisse zu informieren und die Finanzierung weiterer Projekte in der Zukunft zu sichern. Ein erster Grundstein zur Analyse von Zeitreihen unter chaostheoretischen Aspekten wurde von mir im Jahr 2005/06 mit der Entwicklung des *β -Converters* (Basic Estimation of Timeseries by means of chaotic Aspects) gelegt. Im Kapitel 6 wird dieses Siegerprojekt des Prix-ATTC 2006 (Austrian Traffic Telematics Cluster) vorgestellt. Die Anwendung des Prototypen beschränkt sich jedoch in keiner Weise rein auf die Analyse von Verkehrsdaten. Prinzipiell kann jede Zeitreihe einer visuellen Bewertung nach einigen chaostheoretischen Konzepten unterzogen werden. Es geht um die Entdeckung von impliziten Mustern in großen Datenmengen, Dimensionsreduktion und Entscheidungsfindung für Regelungsalgorithmen. Ziele sind die Entdeckung des Systemverhaltens und damit die Verifikation oder Falsifikation der Systemkenntnis.

In Kombination mit Statistik und künstlicher Intelligenz (u.a. mit NN) sind Visualisierungen unentbehrlich. Sie bieten Vorteile durch die Einbindung der menschlichen Fähigkeiten Intelligenz, Kreativität und Allgemeinverständnis. Gute Benutzeroberflächen und kreative bzw. informationsdichte Visualisierungen sind Voraussetzungen für hohe Effektivität. *Visuelles Data Mining* ist dabei ein Begriff für die Verbesserung des Analyseprozesses der Akteure *Mensch* und *Computer*.

Ich besitze das Copyright der damals eingereichten Version des Prototypen. In den letzten 16 Monaten habe ich neue Visualisierungstechniken entwickelt, die vielleicht einmal im Rahmen eines Forschungsprojektes in den β -Converter integriert werden können. Eine Visualisierung basiert auf Daten, die hinsichtlich verschiedener Konzepte transformiert wurden. Die Konzepte der Punktabbildung, Polardarstellung, Poincaré-Abbildung und Phasenraumrekonstruktion werden im Kapitel 6 beschrieben. Wie die Ergebnisse hinsichtlich der Entropie und es Ljapunow-Exponenten zustande kommen bestimmen die verschiedenen Ansätze und Algorithmen, und sie sollen nun vorgestellt werden.

Eine jede Methode liefert einen Aspekt einer Mannigfaltigkeit, dem komplexen Systemverhalten. Dementsprechend liegt es am Beobachter an sich, diese Aspekte in sich zu vereinen und das Systemverhalten auf dieser Grundlage zu interpretieren.

Das folgende Zitat von Ernst von Glasersfeld soll uns nun auf das Weitere einstimmen: „*Vor einem Jahrhundert glaubten die meistern Naturwissenschaftler wie die meisten normalen Menschen, dass das, was man Daten nannte, einfach da war und von jedermann aufgefunden werden konnte, wenn er nur genau genug hinsah. Diese Überzeugung ist inzwischen erschüttert. Heute neigt eine neue Generation von Naturwissenschaftlern eher dazu zu glauben, dass das Gewinnen von Daten jeweils eine ganz spezifische theoretische Struktur voraussetzt, die das Suchen und Beobachten steuert und strukturiert. [...] Alle Daten sind theoriebeladen.* [vGla97].“

4.1 Entropie

Die Entropie S ist eine physikalische Größe, die u.A. zur Beschreibung von thermodynamischen Prozessen dient. Oft wird sie auch als Maß für Unordnung beschrieben bzw. als der mittlere Informationsgehalt, den ein Zeichen einer Codefolge besitzt.

Wenn man einen Raum in zwei Hälften teilt und ein Atom in diesem Raum seine Bahnen zieht, so hält es sich zu jeder Zeit in einer der beiden Raumhälften auf. Um

dessen Position zu beschreiben genügt ein bit (0 oder 1). Teilt man den Raum in vier Teile, so benötigt man 2 bit (00, 01, 10 und 11) um diese Aufgabe zu erfüllen (Abbildung 4.1).

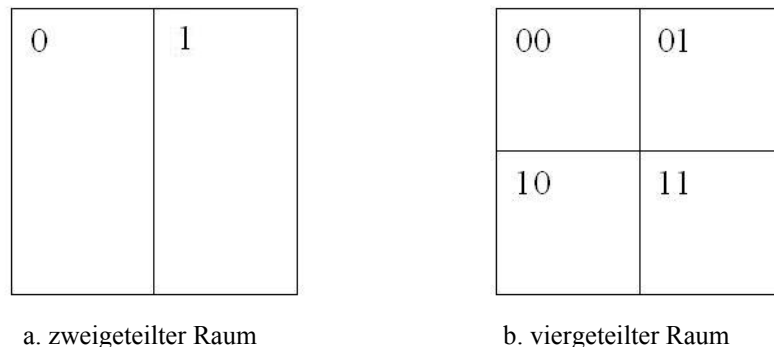


Abbildung 4.1: Mögliche Orte eines Atoms in geteilten Räumen

Im ersten Fall (Abbildung 4.1a) ist die Wahrscheinlichkeit p , dass sich das Atom in einer der beiden Hälften befindet gleich 0.5 und im zweiten Fall (Abbildung 4.1b) gleich 0.25. Die *Shannon*-Entropie ist nun folgend definiert:

$$S = -\sum_{i=1}^n p_i \cdot \log_2(p_i) \quad (4.1)$$

Der Logarithmus wird zur Basis zwei genommen, wodurch das Ergebnis in der Einheit der Information (bit) erhalten wird. Nachdem ein bit ganzzahlig ist wurde die Einheit Shannon (Sh) eingeführt, mit der auch gebrochene Werte von S zulässig sind.

*Claude Elwood Shannon*²³ (1916 – 2001) war ein US-amerikanischer Mathematiker und gilt als Begründer der Informationstheorie. Heinz von Förster verknüpfte diese Theorie mit dem Problem der *sicheren Übertragung von Signalen über unsichere Kanäle*. Ein *Shannon*²⁴ (Sh) ist die theoretische minimale Anzahl an bit, mit der eine Information abgebildet werden kann. Dabei ist der Informationsgehalt eines Zeichens abhängig von der Wahrscheinlichkeit, mit der das Zeichen an dieser Stelle auftritt – und damit umgekehrt proportional zur Entropie der Zeichenfolge. Schuster verwendete in [Schu88] eine etwas andere Definition der Entropie mit dem natürlichen Logarithmus:

²³ http://de.wikipedia.org/wiki/Claude_Shannon - gelesen am 8.5.2007

²⁴ http://de.wikipedia.org/wiki/Shannon_%28Einheit%29 – gelesen am 8.5.2007

$$S = -\sum_{i=1}^n p_i \cdot \ln(p_i) \quad (4.2)$$

Wenn man sich jetzt vorstellt, dass wir einen Raum in noch mehr Teile aufspalten und wir viel mehr Atome im Raum gefangen halten, werden sich die Positionen, die Anzahl der in den Unterräumen befindlichen Atome, stochastisch festhalten lassen. Es ist dabei durchaus denkbar, dass einige der Unterräume zu einem bestimmten Zeitpunkt gänzlich leer sind, einige stärker und andere schwächer von Atomen besetzt sein werden. Wenn ein Unterraum R_i leer ist, also die Wahrscheinlichkeit für ein Atom in ihm $p_i=0$ ist, dann liefert $\ln(p_i) = -\infty$.

Berechnet man den Limes von (4.2) erhält man folgende Form:

$$\lim_{p_i \rightarrow 0} p_i \cdot \ln(p_i) = 0 \cdot -\infty \quad (4.3)$$

Mit der Regel von De L'Hospital ergibt sich nun der Ansatz

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{g_x}{h_x} \rightarrow \frac{0}{0} \quad (4.4).$$

$$\begin{aligned} g_x &= \ln p_i \\ h_x &= \frac{1}{p_i} \end{aligned} \quad (4.5)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{g_x}{h_x} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{g_x'}{h_x'} = \lim_{p_i \rightarrow 0} \frac{\frac{1}{p_i}}{\frac{1}{p_i^2}} = \lim_{p_i \rightarrow 0} \frac{1}{p_i} = \frac{1}{\infty} = 0 \quad (4.6)$$

Aus Gleichung (4.6) ergibt sich der Grenzwert, der existiert und 0 ist ([TroSte03]). Im Annex B findet sich die MatLab-Funktion `entropy.m`, mit der alle Entropieberechnungen durchgeführt wurden.

Ein kleines Beispiel (Abbildung 4.2) soll nun die Entropiewerte für vier Geraden verdeutlichen, wobei der Wertebereich von 0 bis 1 in die 5 gleich großen Klassen R1 bis R5 unterteilt wurde. Die Geraden a bis d definieren sich wie folgt:

a: $y = 0.5$ für $1 \leq x \leq 5$ (4.7)

c: $y = \frac{x}{5} + 1$ für $1 \leq x \leq 5$ (4.9)

b: $y = \frac{x}{5} + 1$ für $1 \leq x \leq 5$ (4.8)

d: $y = \begin{cases} -\frac{x}{3} + 1 & \text{für } 1 \leq x < 3 \\ \frac{x}{3} - 1 & \text{für } 3 \leq x \leq 5 \end{cases}$ (4.10)

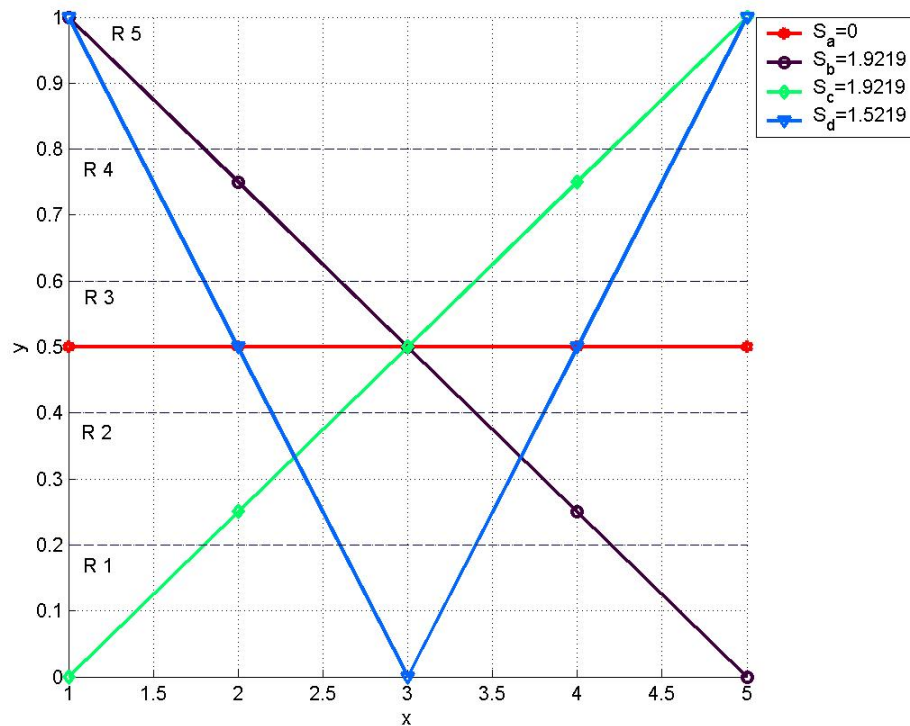


Abbildung 4.2: Anschauliche Entropiewerte (eigene Darstellung)

Wie interpretiert man nun die in Abbildung 4.2 in der Legende angegebenen Entropien S_a bis S_d ? Die Gerade a (rot) besitzt keine Steigung, der Funktionswert y bleibt konstant. Alle Werte liegen in nur einem Unterraum, nämlich in R3. Die Entropie, der Informationsgehalt, S_a ist 0. Wie steht es mit den Geraden b (schwarz) und c (grün)? Sie besitzen dieselben Entropien $S_b = S_c = 1.9219$ und dennoch sind sie von gespiegelter Natur. Wenn die x -Werte in chronologischer Abfolge sind, strebt die Gerade b mit der Zeit gegen Null, währende sich Gerade c von Null entfernt, wir beobachten die Phänomene der Konvergenz gegen Null und Divergenz von Null. Je ein Punkt von b und c fällt in einen Unterraum, sodass der gesamte Raum von 0 bis 1 überdeckt wird. Gerade d hat eine Entropie von $S_d = 1.5219$. Die Punkte fallen in 3 der 5 Unterräume (R1, R3, R5). Sie konvergiert und divergiert von Null im betrachteten Zeitraum.

4.2 Poincaré Abbildungen

Die Poincaré Abbildung ist eine grafische Darstellung, bei der eine über die Periodendauer gefaltete Trajektorie mit einer zu ihr orthogonal stehenden Ebene geschnitten wird (siehe Abbildung 4.3). Das setzt natürlich voraus, dass man die Periodendauer einer Messreihe kennt, was in vielen Anwendungsgebieten nicht a priori festgelegt ist. Im Verkehrssystem ist die Periodendauer eigentlich durch die Summe der menschlichen Aktivität bestimmt, was sich in der Verkehrsstärke niederschlägt. In der Geschwindigkeit alleine ist diese Periodizität nicht erkennbar, wie erste beispielhafte Untersuchungen im Kapitel 5 zeigen. Dort finden sich auch nähere Details zum Schöpfer der Abbildung *Henry Poincaré* und mögliche Interpretationen auf q und v basierender Poincaré-Abbildungen.

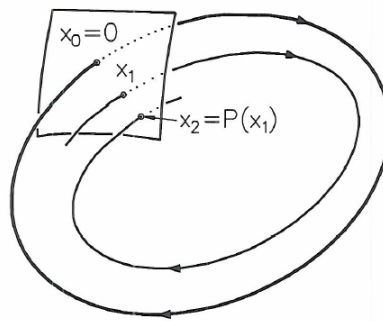


Abbildung 4.3: Poincaré-Abbildung in der Nachbarschaft einer periodischen Lösung x_0 (aus [TroSte07])

4.3 Ljapunow Exponenten (LE)

*Alexander Michailowitsch Ljapunow*²⁵ (1857 - 1918) war ein russischer Mathematiker und Physiker. Sein Name ist in verschiedenen Schreibweisen in der Literatur anzutreffen (Ljapunow, Liapunov, Ljapunov, bzw. besonders in der englischsprachigen Literatur als Lyapunov). An der Universität von St. Petersburg studierend veröffentlichte er seine ersten eigenständigen Arbeiten, die im Bereich der Hydrostatik angesiedelt waren. Dabei zeichnete sich sein Zugang zu dieser Thematik als eher unorthodox aus, er verwendete hier distanziertere Herangehensweisen als sonst üblich waren.

²⁵ http://de.wikipedia.org/wiki/Alexander_Michailowitsch_Ljapunow - gelesen am 8.2.2006

Einer von Ljapunows Kommilitonen in Sankt Petersburg war *Andrei Andrejewitsch Markow*²⁶ (1856 - 1922), der einen bedeutenden Beitrag in der Wahrscheinlichkeitstheorie und der Analysis leistete. Dabei ist mir die Markow-Kette²⁷ in diesem Zusammenhang am geläufigsten und sie birgt bereits eine interessante Annahme, die ich erwähnen möchte.

Eine Markow-Kette ist eine chronologische Abfolge stochastischer Einzelprozesse. Jeder Prozess nimmt einen Zustand ein, wobei der jeweilige Zustand zu einem gewissen Grad von den Zuständen der Vorgängerprozesse abhängig ist. Ein rekursiver Aufbau, wobei im Unklaren bleibt, wie viele der Vorgänger in dieser zirkulär-kausal gedachten Schleife enthalten sein müssen, um den Zustand des gerade betrachteten Kettengliedes zu bestimmen. Im Falle von Prognosen, wie ich sie in meiner Diplomarbeit durchgeführt habe, äußert sich dieses Phänomen in der Bestimmung der Vergangenheitstiefe eines zu prognostizierenden Freiheitsgrades.

Laut Wikipedia ist einer Markow-Kette folgende spezielle Eigenschaft zugewiesen: *Das Spezielle einer Markow-Kette ist die Eigenschaft, dass allein durch die Zustandsinformationen der Gegenwart des Prozesses, sich Prognosen über dessen Zukunft nicht durch zusätzliche Kenntnisse seiner Vergangenheit verbessern.*

Leider ist diese Formulierung etwas schwammig ausgefallen. Ich verstehe sie in der Art, dass eine Entkoppelung der Kettenglieder statt findet – Es bleiben Fragmente einer Zeitreihe, die eine optimale Länge haben können, bei der man am zuverlässigsten Informationen über den Zustand am Ende des Fragments durch die Betrachtung der Vorgängerglieder bereitstellen kann. Ist das Kettenfragment zu kurz und liegen damit zu wenig Informationen über die Vergangenheit vor werden die Aussagen ungenau sein. Im anderen Fall erhöht sich die Genauigkeit einer Aussage nicht, wenn man die Kette zu lang macht und Informationen vorliegen hat, die keine Auswirkungen mehr auf das Ende des Kettenfragments haben. Hier tritt die Kausalität in Erscheinung.

In der Chaostheorie mit all ihren Erklärungsansätzen von Ursache- und Wirkungsbeziehungen, den Kausalitäten, wird die Frage nach der zeitlichen Auswirkung von Ereignissen gestellt.

Bei der Beschreibung von Selbstorganisierenden Systemen (SOS) spricht man von der Emergenz (dem Erscheinen) bestimmter Systemzustände aufgrund zeitlich zurückliegender Dynamik bzw. Wechselwirkungen der Systemelemente ([Luc04]).

²⁶ http://de.wikipedia.org/wiki/Andrei_Andrejewitsch_Markow - gelesen am 8.2.2006

²⁷ <http://de.wikipedia.org/wiki/Markow-Kette> - gelesen am 8.2.2006

Im Jahr 1882 vollendete Ljapunow seine Dissertation *Über die Stabilität von elliptischen Gleichgewichtsformen rotierender Flüssigkeiten*. Eine Arbeit, die schwierige Probleme des Verständnisses der Gestalt von Himmelskörpern aufgriff. *Michail Wassiljewitsch Ljapunow* (1820 – 1868), der Vater von *Alexander Michailowitsch Ljapunow*, war ein bekannter Astronom, nebenbei bemerkt.

Begeben wir uns auf eine transzendenterere Imaginationsebene und schreiten einen astronomisch motivierten Schritt in Richtung seiner ersten Veröffentlichung. Der Titel: *Über das Gleichgewicht von festen Körpern in dichten Flüssigkeiten, die sich in Behältern beliebiger Form befinden*. Mit dem damaligem Stand der Physik wurden Planeten als Festkörper angenommen. Sie befanden sich nicht in einem vollkommen leeren Raum, sondern waren von einem Äther²⁸ umgeben. Nach den Auffassungen von *René Descartes*²⁹ (1596–1650) und *Christiaan Huygens*³⁰ (1629-1695) diente der Äther als Trägermedium für die Wärmestrahlung und als Transporteur des Lichts. Dabei war es ihm möglich auch feste Körper zu durchdringen. Mit der speziellen Relativitätstheorie *Albert Einsteins* (1879-1955) verlor das Postulat des Äthers an Bedeutung. Mir ist nicht bekannt, welche Auffassung der Architektur des Grenzbegriffs „*Universum*“ im 19. Jahrhundert vorherrschte. Wahrscheinlich gab es die eine oder andere erbittert geführte Kontroverse über mögliche geometrische Formen der Grenzen des eingeschlossenen Raumes. Dass sich die in diesem Raum herrschenden Naturgesetze nicht ändern war wahrscheinlich die vorherrschende Annahme. Ljapunows erste Veröffentlichung handelte in einem breiten Kontext gesehen dann über Planeten (Festkörper) in energetisch offenen Medien (Flüssigkeiten), die sich in einem unbekannt geformten Raum (beliebige Behälter) befinden. Glas, das wir gewöhnlich als festen Körper wahrnehmen, verhält sich über einen langen Beobachtungszeitraum bei Raumtemperatur wie eine Flüssigkeit. Ljapunow betrachtete Festkörper in seiner Dissertation als sehr dichte Flüssigkeiten. Der Äther war in dieser Relation in seiner Dichte wohl vernachlässigbar. Wenn man annimmt, dass feste Körper gegenüber Flüssigkeiten (Äther) ein Vielfaches mehr an Dichte aufweisen, wäre dies durchaus denkbar. Die Untersuchung der elliptischen Stabilität von rotierenden Himmelskörpern ist wahrscheinlich ein begründendes Werk der Stabilitätstheorie. Im Augenmerk liegt hierbei der Verlust von Gleichgewichtslagen bzw. stabilen Zuständen eines Systems, der durch die Emergenz von Störungen in der Vergangenheit auftritt.

²⁸ http://de.wikipedia.org/wiki/%C3%84ther_%28Physik%29 - gelesen am 8.2.2006

²⁹ http://de.wikipedia.org/wiki/Ren%C3%A9_Descartes – gelesen am 8.2.2006

³⁰ http://de.wikipedia.org/wiki/Christiaan_Huygens - gelesen am 8.2.2006

Die numerische Berechnung des Ljapunow-Exponenten (LE) λ ist ein Verfahren zur Abschätzung, ob die zeitliche Bewegung eines Freiheitsgrades stabil ist oder nicht. Eine Ableitung hieraus ist die Ljapunow-Zeit, die lediglich den Kehrwert $1/\lambda$ des Exponenten λ darstellt. In dieser Form soll sie jedoch dazu dienen, eine vernünftige Vergangenheitstiefe fest zu legen. Zeng, Eykholt, und Pielke [ZeEyPi91] benutzen z.B. in weiterer Folge die Summe der positiven LE zur Bestimmung der Kolmogorov-Entropie. Nimmt man davon die Inverse und multipliziert sie mit $\ln(2)$ ergibt das die Vorhersagbarkeit in Form der Periodenverdopplungszeit.

Arbarbanel unterscheidet in [Arb94] globale von lokalen LE. Günther [Gün95] spricht in diesem Kontext von lokalisierten LE. Global bedeutet, dass für eine gesamte vorliegende Zeitreihe der Ljapunow-Exponent berechnet wird und Aussagen über die Gesamtvorhersagbarkeit eines Systems getroffen werden können. Weiters können auch Eindrücke über die Dimension des Attraktors und die Zahl der aktiven Freiheitsgrade (FG) gewonnen werden, die im beobachteten System wirken. Lokale LE beschreiben Fragmente bzw. Sequenzen von Zeitreihen und ermöglichen dieselben Aussagen wie der globale Exponent. Sie beziehen sich aber auf die kurzfristige, nicht mehr auf die langfristige, Vorhersagbarkeit wie im globalen Fall und sind deshalb ein Maß für die Abschätzung der Brauchbarkeit von gebildeten Modellen, die ein System abbilden sollen.

Bevor es an die numerische Berechnung des LE geht, für die die Bestimmung der Einbettungsdimension des Attraktors entscheidend ist, soll eine grundlegende Definition gegeben werden.

4.3.1 Definition der Ljapunow-Stabilität

Die Stabilität nach Ljapunow ist definiert sich wie folgt: Ein zu $\varphi_t(u_0, t_0)$ benachbarter Fluss $\varphi_t(v_0, t_0)$ mit einer Anfangsdistanz $< \delta$ ist stabil, wenn er innerhalb des zeitlichen Verlaufs innerhalb eines Abstands ε bleibt.

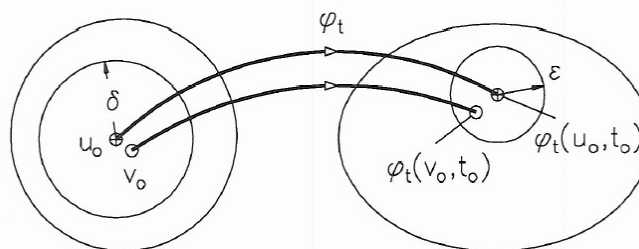


Abbildung 4.4: Geometrische Interpretation der Ljapunow-Stabilität (aus [TroSte07])

4.3.2 Definition des Ljapunow-Exponenten

Der Ljapunow-Exponent ist ein Maß für die empfindliche Abhängigkeit von der Anfangsbedingungen [TroSte03]. Troger und Steindl beschreiben für das Beispiel der Lorenz-Abbildung, diese ist im Kapitel 5 dargestellt, den Verlauf zweier Trajektorien, deren Startpunkt um einen kleinen Wert ε verschoben liegt. Dabei stellt sich für die n-te Distanz d_n mit $d_0 = \varepsilon$ folgendes ein:

$$d_n = f^n(\vartheta_0) - f^n(\vartheta_0 + \varepsilon) = 2^n \vartheta_0 - 2^n (\vartheta_0 + \varepsilon) = 2^n \varepsilon = \varepsilon e^{\ln(2^n)} = d_0 e^{n \ln(2)} \quad (4.11)$$

Nimmt man jetzt die Zahl n an Iterationen und substituiert sie durch die Zeit t , dann ergibt sich

$$d(t) = \varepsilon e^{(\ln 2)t} \quad (4.12)$$

Das bedeutet, dass der Anfangsfehler mit konstanter exponentieller Rate $\ln(2)$ wächst. Der Ljapunow Exponent stellt nun eine Verallgemeinerung des Eigenwertes als Maß für die Stabilität eines Fixpunktes (oder des charakteristischen Exponenten für die Stabilität) einer periodischen Lösung dar. Da man für eine chaotisch verlaufende Trajektorie aber nicht einen Eigenwert (oder einen charakteristischen Exponenten zu einem bestimmten Zeitpunkt) berechnen kann, geht man in diesem Fall so vor, dass man einen gemittelten Eigenwert berechnet, der durch Mittelung über die ganze Trajektorie erhalten wird [TroSte03].

Der Ljapunow Exponent misst also exponentielle Konvergenzen bzw. Divergenzen benachbarter Trajektorien und lässt sich nun mit

$$\lambda = \lim_{d_0 \rightarrow 0} \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \ln \frac{d(t)}{d_0} \quad (4.13)$$

definieren. Für diskrete Systeme bzw. Abbildungen kann man λ so anschreiben:

$$\lambda = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln \left| \frac{df}{d\vartheta_i} \right| \quad (4.14)$$

4.3.3 Numerische Berechnung des Ljapunow-Exponenten

Bei der numerischen Berechnung von λ treten Probleme auf und zwar dahin gehend, dass die Divergenz zweier Trajektorien nur lokal exponentiell ist, weil das System beschränkt ist. Eine Integration ist nur zeitlich begrenzt möglich und somit begnügt man sich damit, den numerischen Exponenten gemittelt über die Periode anzugeben:

$$\lambda_n = \frac{1}{n\tau} \sum_{i=1}^n \ln d_i \quad (4.15)$$

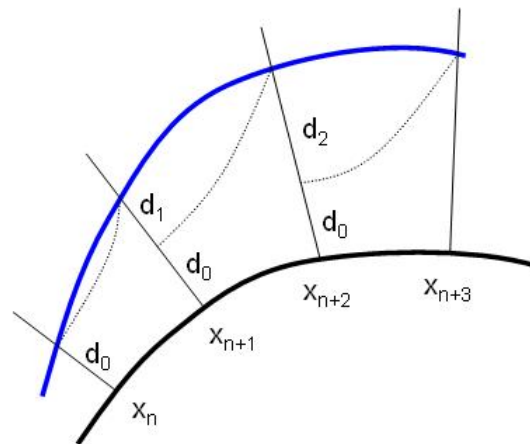


Abbildung 4.5: Verlauf zweier benachbarter Trajektorien und deren Distanzen
(eigene Adaption aus [TroSte03]).

Die Differenzen d_i sind jene, um die der Anfangswert d_0 im Intervall $[i\tau, (i+1)\tau]$ angewachsen ist (vgl. Abbildung 4.5). Es stellt sich heraus, dass $\lambda_\infty = \lim_{n \rightarrow \infty} \lambda_n = \lambda_1$ existiert und unabhängig von τ ist. In den Bereichen der Integrabilität gilt $\lambda_\infty = 0$, in stochastischen Gebieten hingegen $\lambda_\infty > 0$ (nach [TroSte03]). Nachdem der numerische Exponent gemittelt über die Periode bzw. ein bestimmtes Intervall angegeben wird erscheint es zweckmäßig, von einem gemittelten Ljapunow-Exponenten MLE (Mean Lyapunov Exponent) zu sprechen. Global bzw. lokal betrachtet handelt es sich um den GMLE (Global Mean Lyapunov Exponent) und den MLLE (Mean lokal Ljapunov Exponent).

Wie uns die Medien tagtäglich mitteilen herrscht auf den Straßen Chaos, das *Verkehrs-Chaos*. Jedes Mal wenn sich der Verkehr selber lahm legt, die Straßenkapazitäten lokal überschritten werden und lange Staus entstehen wird die Chaos-Keule ausgepackt und werden reißerische Schlagzeilen gedruckt.

Nun, ein Verkehrsstau repräsentiert jedoch einen Zustand hochgradiger Ordnung! Die Freiheitsgrade der Fahrzeuge sind nicht mehr aktiv. Es kann weder beschleunigt noch abgebremst, geschweige denn die Fahrspur gewechselt werden. Die Fahrzeuge können nur noch stehen, unbeweglich im Kollektiv gefangen bleiben und abwarten. Chaotisches Verhalten trifft man noch am ehesten an, wenn jeder Fahrer frei bestimmen kann und keine weiteren Fahrzeuge in seinem Wirkungsradius sind. Diese Charakteristik findet sich im Zustand des freien Verkehrs.

Der freie Verkehr bzw. die freie Geschwindigkeit wird in der Verkehrstechnik statistisch festgelegt. Man bestimmt das 0.85-Perzentil aller gemessenen Werte. Dieses Verfahren wurde schon vielfach bestätigt ([SchnLoh97]), wird aber von Unschärfe überschattet. Ich bin der festen Überzeugung, dass sich vereinzelt auch kritische Zustandsübergänge ankündigen, die anfangs noch in hohen Geschwindigkeitsbereichen auftreten. Dies ist für die Berechnung des LE ein entscheidendes Faktum. Per Definition werden schließlich zwei Trajektorien miteinander verglichen, und es geht um die geeignete Referenz für den Vergleich.

Ein Ansatz wäre, aus allen Trajektorien eine gemittelte zu bestimmen. Diese wäre rein fiktiv und würde im realen System nie zu beobachten sein. Es ist hier Skepsis in Bezug auf die Sinnhaftigkeit einer solchen Aktion angebracht. Im Falle von Planetenbewegungen in der Himmelsmechanik wird man wahrscheinlich eine ideale Ellipse als Referenzorbit annehmen, die zu erwartenden Störungen durch andere Himmelskörper sind vergleichsweise gering bei Planeten, kleinere Massen wie Asteroiden oder Kometen können sogar ihre stabile Bahn verlassen.

Im Falle des Verkehrs ist die Bildung einer gemittelten Referenzganglinie problematisch. Vor allem, weil die Wertebereiche der Freiheitsgrade Geschwindigkeit und Verkehrsstärke sehr breit sind, von Null bis zum maximal gemessenen Wert. Beim Verkehrskollaps fallen die FG auf Null, erholt sich der Verkehr nivelliert sich das System früher oder später wieder hin zum freien Zustand.

Wann herrscht Stabilität auf den Straßen? Im freien Verkehr, im gestauten Verkehr und zuletzt, das sollte man nicht vergessen, bei der *Absenz* von Verkehr. Warum sollte man nicht alle Systemelemente ausblenden und so eine Referenz innerhalb der Systemgrenze isolieren? Beim freien Verkehr stellt sich die freie Geschwindigkeit ein, die jedoch streut. Dies wird durch die Standardabweichung beschrieben. Im gestauten Verkehr ist es ebenso. Man kann für ein Aggregierungsintervall von z.B. 15 Minuten keine Geschwindigkeit von wirklich Null messen. Die Geschwindigkeit wird nämlich aus der Zeit berechnet, die ein Schwerfahrzeug benötigt, um von einem

Mautportal zum nächsten zu kommen. In zwei Fällen ergeben sich Geschwindigkeiten von 0 km/h. Nämlich, wenn kein Verkehrsaufkommen herrscht (die Straßen leer sind) oder wenn ein massiver lang anhaltender Stau vorherrscht (die Straßen sind voll), der sich über mehrere Aggregierungsintervalle zieht. Im letzteren Fall heißt das, dass die Reisezeit eines Fahrzeugs von einem Mautportal zum nächsten überverhältnismäßig steigt und die Geschwindigkeit dadurch abnimmt. Im Idealfall natürlich bis hinunter auf 0 km/h, bei realen Beobachtungen stellen jedoch Geschwindigkeiten um etwa 5-8 km/h einen Erfahrungswert dar. Wenn kein Unfall Auslöser des Staus war und die Straße nicht für Stunden blockiert ist, wird sich immer ein Wert gering über 0 km/h ergeben.

Bei der Absenz von Verkehr bzw. einem totalen idealen Kollaps bewegt sich nichts mehr, es können keine Geschwindigkeiten mehr gemessen werden. Die Messwerte betragen in der Datenbank des Verkehrsinformationssystems den Wert 0.

Mit dem Zugang der hochgradigen Ordnung im Verkehrskollaps bildet sich eine mögliche Referenz zu jeder sonst möglichen Verkehrsdynamik heraus. So sollen nun gesamte Zeitreihen bzw. Sequenzen von Zeitreihen mit dem Nullreferenzwert bzw. der Nullsequenz verglichen werden. Abbildung 4.6 zeigt die entsprechende Adaption von Abbildung 4.5.

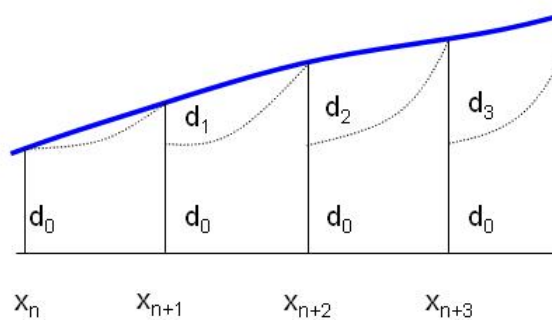


Abbildung 4.6: Verlauf einer Trajektorie und deren Distanzen zur Nullreferenz
(eigene Darstellung von [TroSte03])

Gleichung (4.15) bleibt in diesem Fall gleich, anstatt Distanzen zweier Trajektorien zu bestimmen werden im neuen Fall Distanzen einer Trajektorie zur Nulllinie bestimmt.

Bei der Implementierung von (4.15) bzw. ersten Schritten in der numerischen Berechnung von λ_n wurde ich etwas stutzig. In welcher Art bzw. Skalierung sollten die Distanzwerte vorliegen? Für das Ergebnis von λ_n macht es zweifellos einen Unterschied, ob die Distanz um eine Potenz größer oder kleiner ist.

Angenommen die Distanz d_i zweier geometrischer Trajektorien beträgt zu einem Zeitpunkt $i \in t$ einen Meter oder, anders ausgedrückt, 100 cm oder 1000mm. Der natürliche Logarithmus unterscheidet sich je Skalierung beträchtlich (Tabelle 5.1).

d_i	1 m	100 cm	1000 mm
$\ln(d_i)$	0	4.6052	6.9078

Tabelle 4.1: Unterschiede aufgrund unterschiedlicher Auflösung

Eine Abhilfe wäre es, die Messwerte auf das Intervall $(0,1)$ zu normieren, wobei sich jedoch das Problem ergibt, dass man den maximal möglichen Messwert eventuell noch nicht beobachtet hat und zukünftige Online-Berechnungen in einer Anwendung verfälscht werden können. In diesem Fall könnte man eine Sättigung einführen, die den maximal möglichen Funktionswert begrenzt.

Auf der anderen Seite bietet es sich an, den Quotienten aus Ist- und Referenzwert hinsichtlich des Konvergenz- bzw. Divergenzverhaltens zu bewerten. Im Fall einer Nullreferenz ist dieser Ansatz jedoch nicht zweckmäßig, es ergäbe sich eine Division durch 0 und damit ein Quotient von ∞ , was eine numerische Berechnung vereiteln würde.

Zweckmäßiger ist die Skalierung der Anfangsdistanz d_0 auf 1. Ist beispielsweise die nachfolgende Distanz $d_1 < 1$ wird der Logarithmus negativ, was Konvergenz bedeutet. Ist $d_1 > 1$ so ist der Logarithmus positiv, Divergenz wird angezeigt. So verhält es sich auch mit allen folgenden Distanzen. Durch den anfänglichen Skalierungsschritt verschwindet das Problem der Distanzauflösung. Im Berechnungsalgorithmus `ljapunow.m` wurde dieser Ansatz realisiert. Ein Problem, das bei der numerischen Berechnung auftritt, zeigt sich, wenn eine Distanz $d_i = 0$ wird. Es kommt zu einer Identität mit der Anfangsdistanz d_0 und damit zu $\ln(d_i) = -\infty$, was als superstabil bezeichnet wird. Im Fall einer realen Anwendung bzw. Messreihe darf hierbei die Messungenauigkeit nicht außer Acht gelassen werden, zwei exakte Messwerte sind durch das eingesetzte Messverfahren absolut unwahrscheinlich. Aus diesem Grund wurde diesem Effekt mit einer Adaption im Algorithmus begegnet: Ist die Differenz eines Abstandes mit der Anfangsdistanz gleich 0, so wird ein Restmessfehler von 0.1 angenommen, was in $\ln(d_i) = -6.9078$ resultiert.

Betrachten wir wieder die Geraden a bis d (Abbildung 4.7), definiert durch die Gleichungen (4.7) bis (4.10). Der gemittelte Ljapunow-Exponent (MLE) λ_a der Gerade a (rot) ist 0, die Sequenz besitzt einen konstanten Abstand zur Nulllinie. Mit der Zeit trat weder eine Stabilisierung noch eine Destabilisierung auf. Gerade b (schwarz) besitzt ein negatives $\lambda_b = -1.855$. Die Sequenz konvergiert zur Nulllinie. Die gespiegelte Form, Gerade c (grün) hat $\lambda_c = 5.0528$. Sie entfernt sich mit der Zeit von der Nulllinie, sie divergiert. Während sich mit der Entropie-Beschreibung (Abbildung 4.2) keine Unterschiede der Geraden b und c ergeben liefert die Beschreibung durch den MLE eindeutige Verschiedenheiten. Zuletzt noch die Gerade d (blau): Sie nähert sich im zeitlichen Verlauf der Nullreferenz und entfernt sich wieder bis hin zum Startwert 1. Einerseits ist sie konvergiert und andererseits wieder auf ihren Startwert divergiert.

Sie blieb jedoch innerhalb der Startdistanz d_0 , was in einem negativen $\lambda_d = -1.6588$ resultiert. Sie hat sich nicht aus dieser Inertialgrenze entfernt und näherte sich in Summe gesehen sogar zwischenzeitlich an die Referenz an. Aus diesem Grund gilt sie im Sinne des MLE als *stabil*.

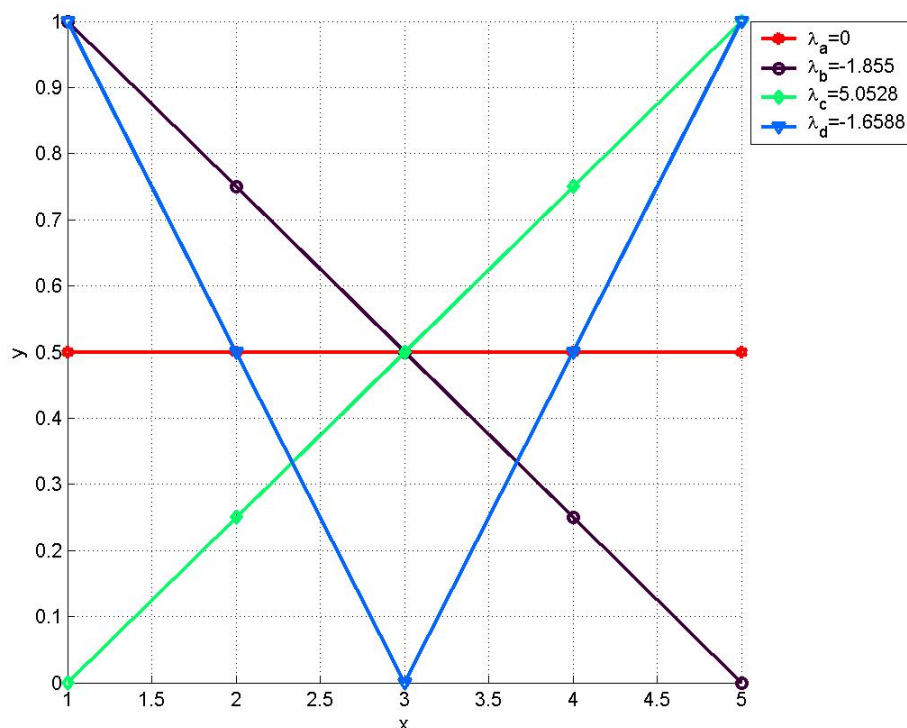


Abbildung 4.7: Anschauliche Werte des Ljapunow-Exponenten (eigene Darstellung)

Die verschiedensten Systeme werden mittels Differentialgleichungen mit genügender Genauigkeit beschrieben und modelliert. Dabei wird die Jacobi-Matrix

\mathbf{J} gebildet, deren Eigenwerte genau die jeweiligen LE λ darstellen. Im analytischen Terminus gilt eine Trajektorie dann als instabil, sobald nur einer der berechneten LE positiv ist. Sind die Eigenwerte konjugiert komplex, so muss für Instabilität der Realteil $\text{Re}(\lambda)$ positiv sein.

Zu Beginn dieses Kapitels wurde die optimale Vergangenheitstiefe angesprochen und ihre Bedeutung für die Prognose, für Aussagen über zukünftige Entwicklungen auf der Basis von vorangegangenen Beobachtungen hervorgehoben. Ein GMLE bezieht sich auf die gesamten vorliegenden Messwerte und der MLLE betrifft die daraus isolierten zeitlich gefensterten Messwertsequenzen. Im Sinne eines Stabilitätsaspekts kann jede Sequenz beliebiger Länge durch den vorgestellten MLLE beschrieben werden. In der Praxis ist es jedoch so, dass eingehende Untersuchungen des Attraktors angestellt werden, um eine optimale Sequenzlänge und damit Vergangenheitstiefe zu ermitteln. In der Chaostheorie spricht man von der Einbettungsdimension d_E eines Attraktors.

4.4 Einbettungsdimension

Häufig trifft man bei der Analyse von Messreihen verschiedener FG auf das Problem der unbekannt Periodizität. Manche FG zeigen ein eindeutiges zyklisches Verhalten, andere hingegen nicht. Wirklich chaotische Messwerte haben eine Periodendauer von ∞ . Es ist auch nicht bewiesen, dass im Verkehr wirklich chaotische Messsignale beobachtbar sind. Hauptsächlich hängt das mit dem Aggregierungsintervall zusammen. Je kürzer das Intervall, desto eher kann von Chaos die Rede sein, je länger das Intervall, desto stärker tritt stochastisches Verhalten hervor.

Troger zufolge findet sich der einzige anerkannte Nachweis für Chaos in der Poincaré-Abbildung durch das auftreten heterokliner Orbits bzw. sich schneidender Trajektorien (Abbildung 4.8).

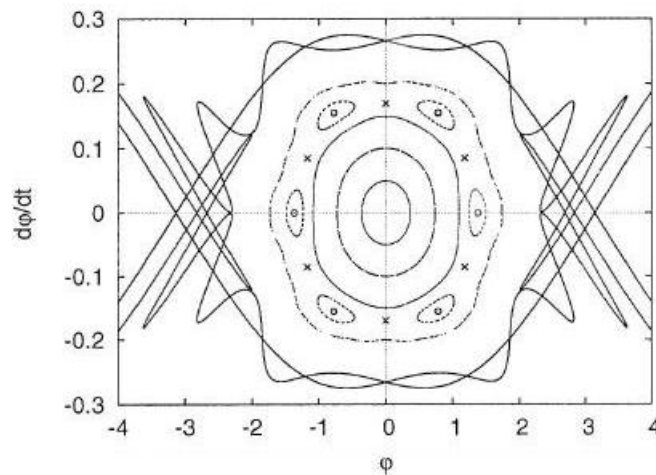


Abbildung 4.8. Poincaré-Schnitt für ein Pendel mit oszillierender Auflage (aus [TroSte03])

Im Verkehrsbereich sind mir zwei taiwanesischen Arbeiten ([LaLi03], [LiLa05]) bekannt, in denen die Verkehrsstärke q für Analysen herangezogen wird. Die Samplingzeiten sind mit 30 Sekunden sehr kurz. Durch die Aggregation, der Bildung von mittleren Geschwindigkeiten bzw. Aufsummierung von Fahrzeugmengen für alle Fahrzeuge im betrachteten Zeitabschnitt gehen viele Informationen verloren. Bei der Verkehrsstärke verhält es sich ähnlich, es entsteht der Eindruck, dass alle gemessenen Fahrzeuge z.B. in 15 Minuten äquidistant einen Beobachtungsort passiert haben und die Geschwindigkeit über den gesamten Aggregierungszeitraum konstant ist.

Eines gilt aber auch mit Sicherheit: Je kürzer ein Aggregierungsintervall, desto geringer die maximalen Prognosehorizonte und desto schlechter die Güte eines Prognosemodells. Das ist auch kein Wunder, denn das Rauschen in den Messwerten nimmt zu, und wodurch dieses Rauschen entsteht wurde bereits am Beginn dieses Kapitels angeschnitten. Es sind die Interaktionen der Fahrer selbst, die Art und Weise, wie sie ihre Mobilität im System Verkehr gestalten und regeln, z.B. durch Zeitdruck, Müdigkeit, Aufmerksamkeit, usw.

Die Verkehrsstärke unterscheidet sich in ihrem Periodizitätsverhalten gravierend von der Geschwindigkeit. In Abbildung 4.9 wird dies anschaulich anhand von Polardarstellungen der Messwerte einer Zählstelle in Wien dargestellt.

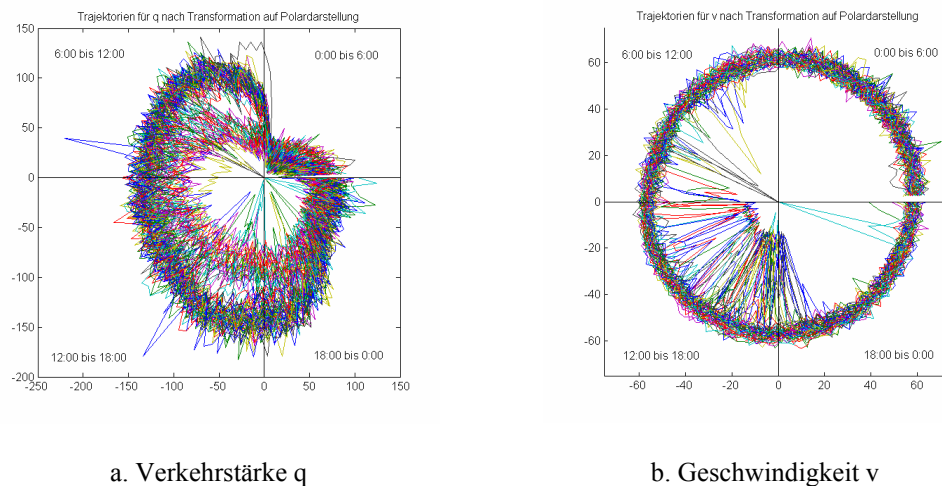


Abbildung 4.9: Polardarstellungen zweier Verkehrskenngrößen (eigene Darstellung)

In der Verkehrsstärke zeigen sich zwei unterschiedliche Systemcharakteristika, jenes der Arbeitswoche und jenes der Wochenenden. Tagsüber (Quadranten 2-4) herrscht reges Verkehrsaufkommen, in den Nachtstunden (Quadrant 1) hingegen kommt es zu einer eindeutigen Abnahme. Bei der Geschwindigkeit zeigt sich nur ein Charakteristikum (Grenzzyklus), alle Fahrer fahren, soweit es die Verkehrssituation zulässt, um das erlaubte Geschwindigkeitslimit, auch die wenigen Fahrer in der Nacht.

Bei der Wahl der Einbettungsdimension geht es darum eine geeignete Fensterlänge zu finden, in der sich die Dynamik eines FG periodisch abbildet. Für die Prognose bzw. die Berechnung von MLE zur Stabilitätsuntersuchung der so entstandenen Sequenzvektoren ist dieses Verfahren ein wichtiger Vorschrift auf der Suche nach Kausalitätsauswirkungen.

Meine Prognosen entstanden in enger Zusammenarbeit mit DI Bernhard Nowotny, einem schon seit Jahren im Verkehrsbereich tätigen Statistiker, und DI(FH) Norbert Hainitz, einem Verkehrstelematiker. Während Nowotny mit Kollegen des franz. INREZ-Instituts ein statistisches Verfahren der Mustererkennung (Pattern-Recognition) erprobte nahm Hainitz die Rolle des Koordinators und Moderators in zahlreichen Sitzungen ein, in denen wir unsere Modelle und Ansätze verglichen. Die optimale Vergangenheitstiefe für die Geschwindigkeit wurde von Nowotny und seinen Kollegen nach Erfahrungswerten mit t-11 bevorzugt, d.h. dass die letzten 11 Intervalle für eine Prognose als ausschlaggebend betrachtet wurden. Ich selbst verwendete zu Beginn eine geringere Vergangenheitstiefe und verwendete für einen direkten Performancevergleich ebenfalls eine mit 11 Intervallen. Neben der

Projektarbeit erarbeitete ich mir jedoch die Methode der Falschen Nächsten Nachbarn (FNN, False Nearest Neighbours) auf der Grundlage von McSharry, Universität Oxford [McS06]. Mit dem MatLab FNN-Algorithmen von *Michael Small* (2005), Hong Kong Polytechnic University in China ergab sich eine fundierte numerische Implementierung, die ich zur Analyse der Geschwindigkeitswerte nutzen konnte. Small ist ein Spezialist auf dem Gebiet der nichtlinearen Dynamik (vgl. [Sma05]). In Anlehnung an *McSharry* soll nun der Zugang zur Einbettungsdimension vorgestellt werden.

Eine zu untersuchende Zeitreihe, also zeitlich abhängige Messwerte, hat die Eigenschaft, dass im Hintergrund liegende Prozesse unbekannt und damit nicht abbildbar sind. Aus diesem Grund muss ein Zustandsraum rekonstruiert werden, in dem jeder Vektor einen einzigartigen Zustand definiert. Die Trajektorien eines deterministischen Systems dürfen sich nicht schneiden, und Selbstschnitte werden durch eine ungenügende Wahl der Dimension verursacht. Aus diesem Grund werden Vektorkomponenten auf Basis von Verzögerungen oder auch der Ableitungen definiert (nach [McS06]). Auch die russischen Wissenschaftler *Bezruchko*, *Karavaev*, *Ponomarenko*, und *Prokhorov* [BeKaPoPr01] betonen die Einflüsse auf ihre Untersuchungen, die durch die Länge der Zeitreihe, die Samplingrate, die Rauschintensität und die Messgenauigkeit gegeben sind.

Betrachten wir das Beispiel der Lorenzfunktion, die mit folgenden Gleichungen definiert wird:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= -\sigma \cdot x + \sigma \cdot y \\ \dot{y} &= -x \cdot z + r \cdot x - y \\ \dot{z} &= x \cdot y - b \cdot z\end{aligned}\quad (4.16)$$

Dies kann auch so angeschrieben werden:

$$\begin{aligned}x \frac{d^3 x}{dt^3} - \frac{d^2 x}{dt^2} \frac{dx}{dt} + (2+b) \frac{d^2 x}{dt^2} x - 2 \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 - b \sigma x^2 \\ + 2b \frac{dx}{dt} x + bx^2 - \frac{x^3}{\sigma} \frac{dx}{dt} - \frac{x^4}{\sigma} = 0\end{aligned}\quad (4.17)$$

4.5 Zeitverzögerung (Time Delay)

Die von Troger und Steindl vermittelten Methoden der Phasenraum- und Zustandsraumrekonstruktion werden im Kapitel 6 vorgestellt. Oft ist es schwierig die Dynamik einer Zeitreihe im Phasenraum darzustellen, so Troger. Sie ist bedingt durch die Messmethode bzw. deren Fehlertoleranz. Im Grunde enthält die Zeitreihe an sich die gesamte Information über deren Dynamik und effektive Visualisierungsmethoden wie die Darstellung im verzögerten Zustandsraum einer Variablen können die relevanten Charakteristiken enthüllen.

Die Ableitungen können folgendermaßen angenähert werden:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= \frac{x(t+\tau) - x(t-\tau)}{2\tau} \\ \frac{d^2x}{dt^2} &\approx \frac{x(t+\tau) - 2x(t) + x(t-\tau)}{\tau^2} \quad (4.18) \\ &u.s.w \end{aligned}$$

Die Ableitungen sind sensitiv auf Rauschen, besonders höhere Ordnungen. Ähnliche Informationen werden durch Verzögerungskoordinatenvektoren (delay coordinate vectors) zugänglich. Für eine diskrete Zeitreihe s_t können M-dimensionale Vektoren $\mathbf{x}_t = [s_{t-(M-1)\tau}, \dots, s_{t-\tau}, s_t]$ definiert werden, die einen Zustandsraum des Modells aufspannen. Für eine genügend große Dimension M sind die Trajektorien dieses Modells topologisch mit den Trajektorien des Zustandsraums des Systems äquivalent.

Mit diesem Zugang verändert sich der Attraktor bzw. besser ausgedrückt der Raum, in dem er visualisiert wird (Abbildung 4.10). Die Originaldynamik $G : A \rightarrow A$ wird durch einen so genannten Homöomorphismus Φ zur Rekonstruierten Dynamik $F : \Phi(A) \rightarrow \Phi(A)$ transformiert. Im Sinne von Troger und Steindl wird auf diese Weise die Verwandtschaft topologisch konjugierter dynamischer Systeme genützt.

Eine Gegenüberstellung verschiedener Darstellungen lässt den Lorenz-Attraktor unter weiteren Aspekten erscheinen. In Abbildung 4.11 ist er lediglich in gedreht zu G in Abbildung 4.10 dargestellt. Die Achsen sind hier x , y , und z (vgl. Gleichung 4.16). Eine Darstellung im Phasenraum liefert Abbildung 4.11, die Achsen sind hierbei x , dx/dt und d^2x/dt^2 (vgl. Gleichung 4.18). Die verzögerte Dynamik mit $\tau = k$ von x ist in Abbildung 4.12 dargestellt. Die Achsen ergeben sich zu x , $x(t-k)$ und $x(t-2k)$ (vgl. Gleichung 4.17).

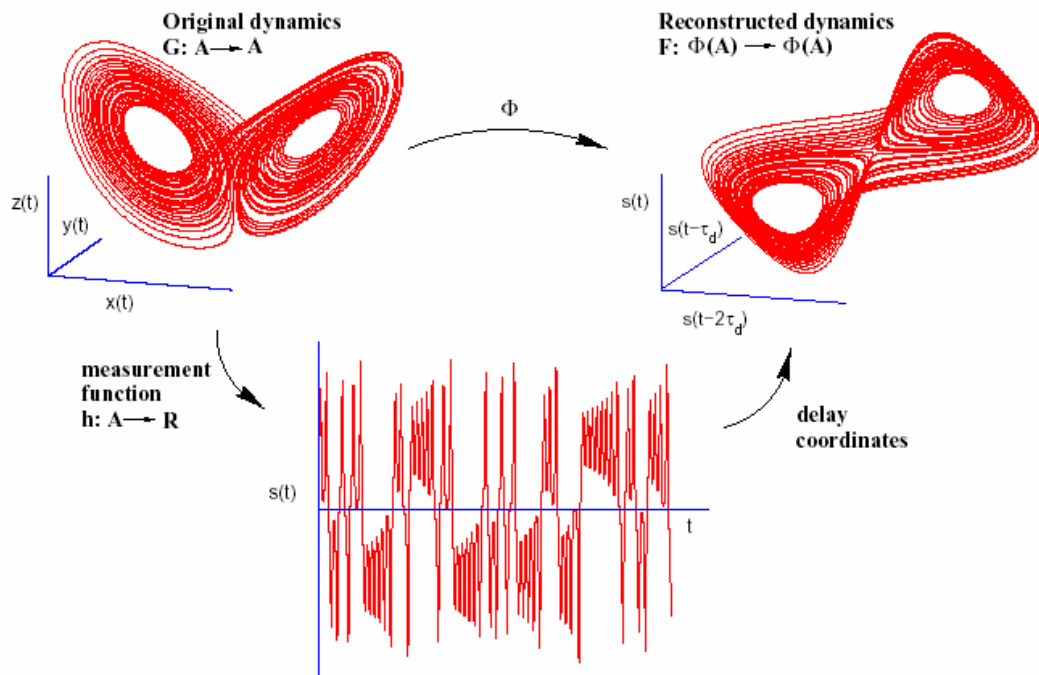


Abbildung 4.10: Rekonstruierte Dynamik der Lorenzfunktion (aus [McS06])

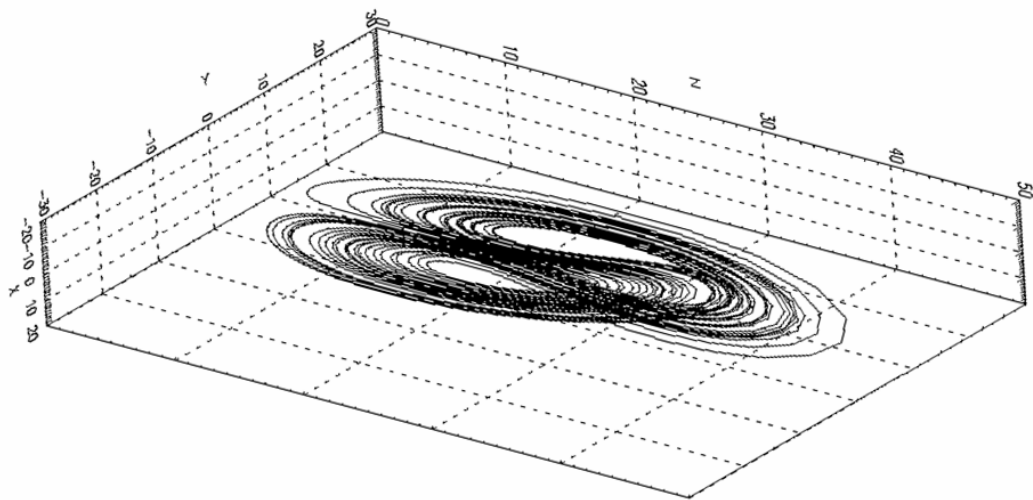


Abbildung 4.11: Darstellung des Lorenzattraktors im Zustandsraum (aus [McS06])

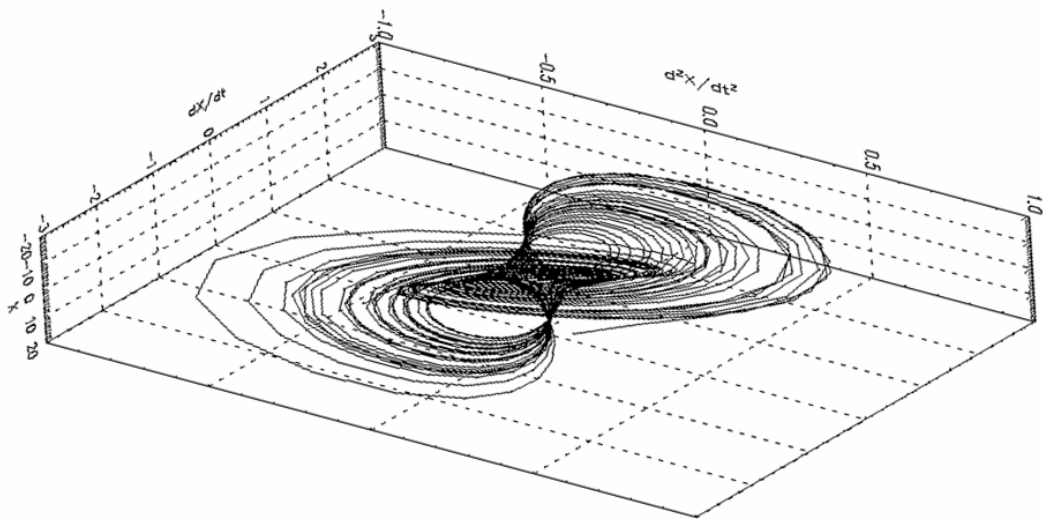


Abbildung 4.12: Darstellung des Lorenzattraktors im Phasenraum (aus [McS06])

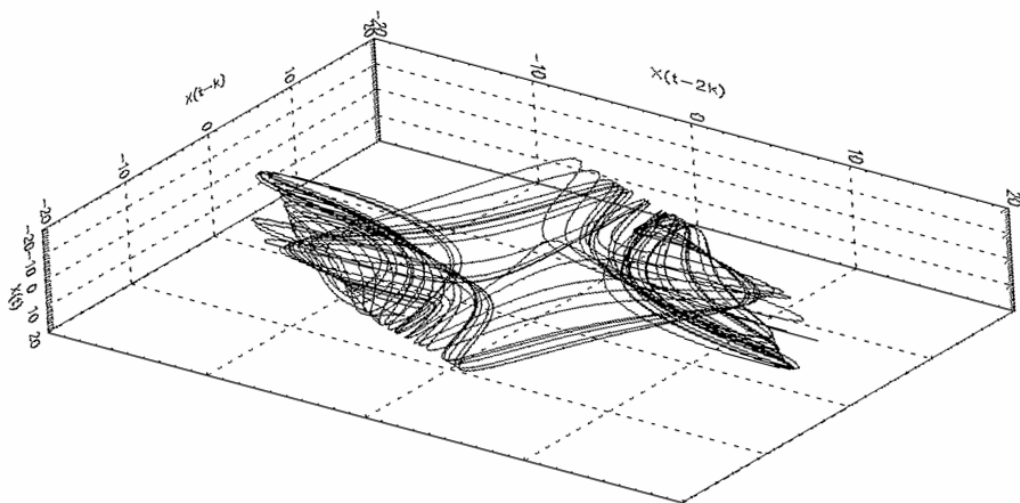


Abbildung 4.13: Darstellung des verzögerten Lorenzattraktors im Zustandsraum (aus [McS06])

Um einen optimalen Verzögerungsparameter τ zu ermitteln bieten sich laut *McSharry* mehrere Verfahren an. In dieser Arbeit möchte ich die Ergebnisse der beiden Methoden der Autokorrelation und des Mutual Information Kriteriums vergleichen, nicht zuletzt, weil sie die FNN-Algorithmen von *Small* (2005) ergänzen und in MatLab bereits durch *Leontitsis* (2001) realisiert wurden.

Generell ist zu erwähnen, dass für eine theoretisch unendliche Menge an wirklich rauschfreien Daten jede Verzögerung τ genügen sollte. Für reale Daten, die in ihrer Menge sehr begrenzt vorliegen und die zudem verrauscht sind ist die Wahl eines optimalen τ wichtig. Wenn die Verzögerung zu klein gewählt wird werden aufeinander folgende Komponenten sehr stark korreliert sein. Ist die Verzögerung zu groß werden aufeinander folgende Komponenten in keiner Relation mehr stehen (nach [McS06]).

4.5.1 Autokorrelation

Die Autokorrelation definiert sich wie folgt [McS06]:

$$C(k) = \frac{\sum_t (s_t - \bar{s})(s_{t+\tau} - \bar{s})}{\sum_t (s_t - \bar{s})^2} \quad (4.19)$$

Gewöhnlich wird jene Verzögerung τ gewählt, bei der $C(k)$ das erste Mal negativ wird. Dieser Zugang kann jedoch ein wenig verwirrend sein, vor allem, wenn die Autokorrelation nie negativ wird, wie im Fall der Lorenzfunktion (siehe Abbildung 4.14). Ein zu bemängelndes Faktum ist, dass die Autokorrelation nur lineare Zusammenhänge abbildet (nach [McS06]).

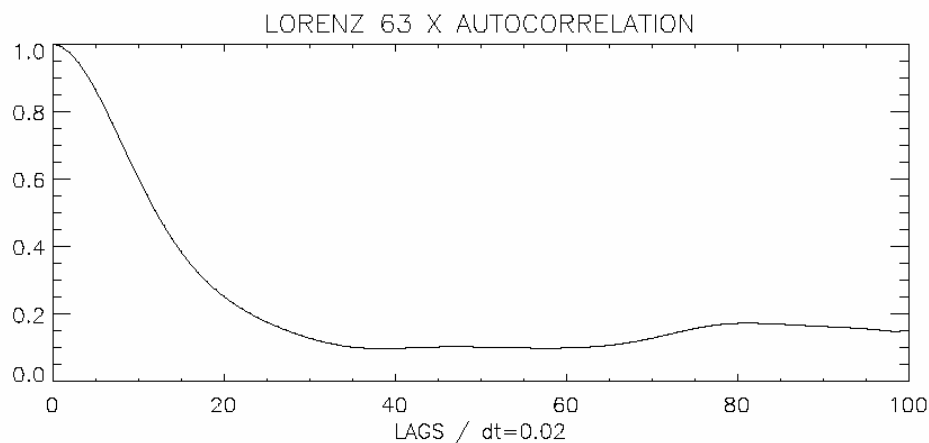


Abbildung 4.14: Autokorrelation der Lorenzfunktion (aus [McS06]).

4.5.2 Mutual Average Information Kriterium (MAI)

Das nichtlineare Analogon zur Autokorrelation stammt aus der Informationstheorie und ist die Mutual Information (gemeinsame Information).

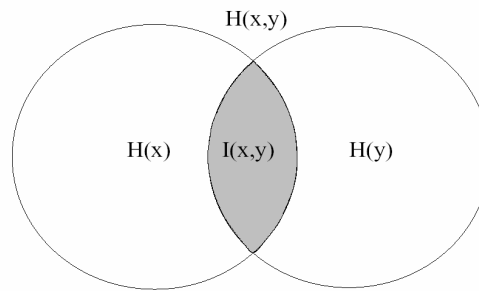


Abbildung 4.15: Mutual Information zweier Mengen (aus [McS06])

Dabei werden zwei Mengen $H(x)$ und $H(y)$ betrachtet. In unserem Fall sind das zwei Sequenzen einer Geschwindigkeitszeitreihe v_t . Die Mutual Information legt fest, inwieweit diese beiden Zeitreihen dieselbe Information in bit enthalten. McSharry gibt folgende mathematische Definition (Gleichungen 4.20 und 4.21), eine grafische Erläuterung gibt Abbildung 4.15).

$$I(x, y) = H(x) + H(y) - H(x, y) \quad (4.20)$$

$$I(x, y) = \sum_{i,j}^{x,y} P_{xy}(a_i, b_j) \cdot \log_2 \left(\frac{P_{xy}(a_i, b_j)}{P_x(a_i) \cdot P_y(b_j)} \right) \quad (4.21)$$

Die Wahl des optimalen Verzögerungsparameters τ erfolgt unter Zuhilfenahme der MAI so, dass man für ein Spektrum von τ Sequenzen generiert und danach die jeweilige MAI berechnet. Alsdann wählt man jenes τ , bei dem die MAI ihr erstes Minimum erreicht (vgl. Abbildung 4.16).

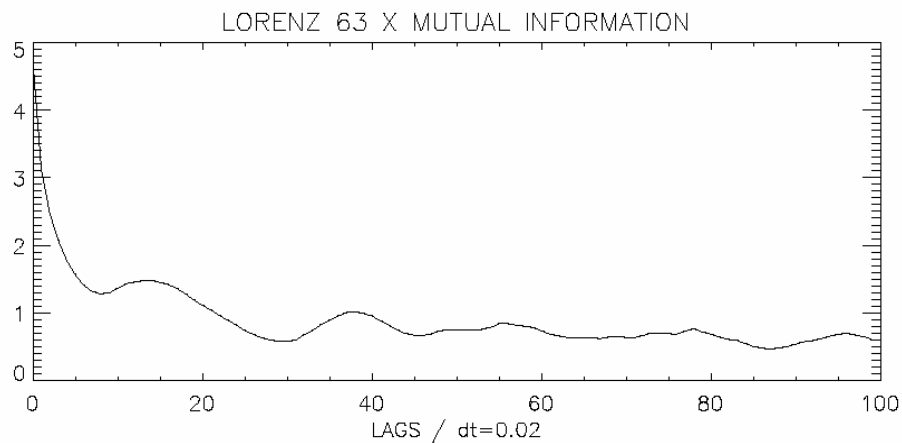


Abbildung 4.16: Mutual Information der Lorenzfunktion (aus [McS06])

4.6 False Nearest Neighbours (FNN)

Zu Beginn des FNN-Verfahrens steht die Bestimmung der Verzögerung τ der Zeitreihe. Danach lokalisiert man den nächsten Nachbarn $x(k)$ im M-dimensionalen Raum. Sei $R_M = \|x(t) - x(k)\|$ die euklidische Distanz zwischen x an einem Zeitpunkt t und x an einem Zeitpunkt k in der Zeitreihe x_t . Dann ist R_{M+1} die Distanz zwischen den beiden Punkten, wenn sie auf M+1 Dimensionen projiziert werden. Der Nachbar ist *falsch*, wenn

$$\sqrt{\frac{R_{M+1}^2 - R_M^2}{R_M^2}} > \alpha \quad (4.22)$$

ist. Das kann auch umformuliert werden zu

$$\frac{|s_{t+M\tau} - s_{t+M\tau}|}{R_M} > \alpha \quad (4.23)$$

Eine zweite Kondition wird mit

$$\frac{|s_{t+M\tau} - s_{t+M\tau}|}{R_A} > \beta \quad (4.24)$$

definiert, wobei R_A der Radius des Attraktors von s_t im jeweiligen Projektionsraum ist. McShannon gibt typische Werte für die Parameter mit $\alpha \approx 15$ und $\beta \approx 2$ an. Es soll nun die Einbettungsdimension M so gewählt werden, dass die Anzahl an FNN möglichst klein ist. Ob ein Nachbar falsch ist oder nicht wird durch die jeweiligen Flussrichtungen bestimmt. Ist der Fluss entgegengesetzt, so spricht man von einem falschen nächsten Nachbarn (FNN). Günter [Gün95] spricht in diesem Zusammenhang salopp von *Geisterfahrern* (Abbildung 4.17).

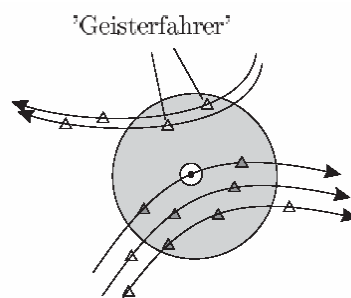


Abbildung 4.17: Auftreten von Geisterfahrern (aus [Gün95])

Die Anzahl von FNN hängt vom Suchradius und von der Einbettung ab. Die Flussrichtung kann laut Günter über den jeweiligen Winkel α der Flussrichtungen bestimmt werden (vgl. Abbildung 4.18):

$$\cos(\alpha) = \frac{(\mathbf{x}_{i+T} - \mathbf{x}_i) \cdot (\mathbf{x}_{\text{Nachbar},i+T} - \mathbf{x}_i)}{|\mathbf{x}_{i+T} - \mathbf{x}_i| \cdot |\mathbf{x}_{\text{Nachbar},i+T} - \mathbf{x}_i|} \quad (4.25)$$

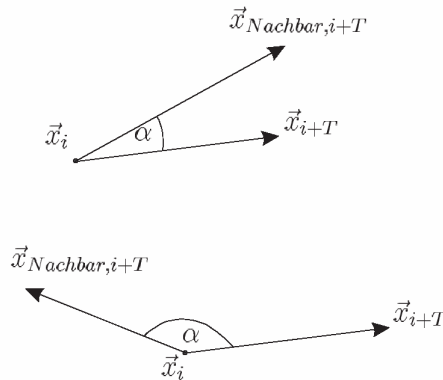


Abbildung 4.18: Erkennung von FNN (aus [Gün95])

Wird der Winkel α stumpf, so hat man einen FNN lokalisiert. Stellen wir uns eine Reihe zufälliger Punkte vor. Alle Punkte dieser Zeitreihe haben einen Wertebereich $s_i \in [0,1]$. Wenn L die euklidische Distanz zwischen den Punkten ist, dann gilt

$$(2L_{\min})^M \approx \frac{1}{N} \quad (4.26)$$

$$\text{bzw. } L_{\min} \approx \frac{1}{2N^{1/M}} \quad (4.27)$$

$$\text{und } \langle |s_{t+M\tau} - s_{t+M\tau}| \rangle \approx 1. \quad (4.28)$$

Wenn die Dimension M zunimmt nimmt auch L_{\min} zu. Bei

$$\frac{\langle |s_{t+M\tau} - s_{t+M\tau}| \rangle}{L_{\min}} > \alpha \quad (4.29)$$

stellt sich eine wirklich geringe *Reibung* ein (nach [McS06]). Das passiert, wenn die Anzahl der Datenpunkte $N \approx (a/2)^M$ bzw. $N \approx 10^M$ ist. Für eine genaue

Bestimmung der Einbettungsdimension bedarf es mitunter einer sehr großen Zahl an Datenpunkten. Für die Umsetzung des FNN-Verfahrens boten sich die MatLab-Algorithmen von Dr. Michael Small 2005, Hong Kong Polytechnic University in China, an. Ein Algorithmus von Dr. Alexandros Leontitsis 2001, University of Kent at Canterbury in the U.K, lieferte die von Small nicht abgedeckte Mutual Information. Die Algorithmen sind im Annex B zu finden.

4.7 Zusammenfassung

Die in diesem Kapitel vorgestellten chaostheoretischen Konzepte stellen die Basis für die in dieser Arbeit vorgestellten Stabilitätszugänge dar. Die Shannon-Entropie S und der Ljapunow-Exponent LE können auf jede vollständige Zeitreihe angewandt werden. Für Prognosemethoden ist Effektivität entscheidend, sowohl was die Prognosegüte als auch die Rechenzeit zur Prognoseerstellung bzw. die Trainingszeit zur Systemabbildung betrifft. Wie weit muss man in die Vergangenheit blicken, um auf die Zukunft schließen zu können? Die Charakteristiken können aufgespürt werden, wenn man eine Zeitreihe in Sequenzen unterteilt, die erforderliche Länge einer Sequenz ist dabei eine kritische Größe.

In der österreichischen (arsenal research) und der französischen (INRETS) Verkehrstelematik wird diese Länge bis dato aus der Erfahrung der Wissenschaftler bestimmt und abgeschätzt. Mit dem Zugang der Einbettungsdimension findet ein Konzept aus der nichtlinearen Dynamik erstmals Anwendung in diesem Forschungsgebiet. Im Kapitel 12 sind die Ergebnisse einer Sensitivitätsanalyse dargestellt. Die FNN-Methode wurde angewandt und liefert Ergebnisse hinsichtlich optimaler Verzögerung (Delay) und Einbettungsdimension.

Außerdem wird später im Kapitel 6 ein neues Verfahren zum Visuellen Data Mining vorgestellt, das u.a. auf den Aspekten der Shannon-Entropie und dem Ljapunow-Exponenten aufbaut und von mir entwickelt wurde. Es handelt sich dabei um das ALEV-Verfahren (Aspects of Ljapunow, Entropy and Variance). Mit dessen Hilfe ist es möglich, die Datenrepräsentation für ein Prognosemodell intuitiv auf visuellem Wege zu bewerten. Es gibt eine breite Anzahl an Prognoseverfahren, jedoch ist in der Literatur nur wenig über die Charakteristiken der zu beschreibenden Systeme zu finden. Es spielt eine sehr große Rolle auf welchen Daten, welchen Beobachtungen, ein Prognosemodell beruht. Die Daten sind es, die wir verstehen und kennen müssen.

Ein Modell der KI, sei es ein NN oder ein fortgeschrittenes statistisches Verfahren, gibt bis zu einem gewissen Grad Aufschluss über das System. Es bleibt aber eine Unbekannte übrig: Wir konzipieren unsere Modelle und deren spezielle Architekturen aufgrund jener Kenntnisse und Erfahrungen, die wir uns über das zu beschreibende System gebildet haben. Wir können gar nicht anders agieren! Daten sind theoriebeladen und jede Theorie ist nur ein weiterer Beobachtungsaspekt, eine Facette eines Gesamtbildes, das uns in komplexen und nichtlinearen, chaotischen Systemen verborgen bleibt. Vieles ist unbeschreibbar und nicht rein deterministisch.

Kapitel 5

Der BETA-Converter – Ein Prototyp zur Visualisierung von Zeitreihen

„Es gibt drei Bestandteile, die diesbezüglich von grundlegender Bedeutung sind. Das eine besagt, dass, wenn man ein geschlossenes System an seinem eigenen Output operieren lässt (das heißt: Output wird zu neuem Input), konvergiert es früher oder später (im chaotischen Fall nie) zu einem stabilen Verhalten. Aufgrund ihrer kurzen Entwicklungsgeschichte werden diese dynamischen Gleichgewichte von verschiedenen Forschern mit verschiedenen Namen versehen: Fixpunkte, Attraktoren, seltsame Attraktoren und Eigenverhalten [vFör93] (Anm. siehe auch [vFör84]).“

Heinz von Förster

Nach meinem ersten Kontakt mit der Nichtlinearen Dynamik durch die Spezialvorlesung *Nichtlineare und chaotische dynamische Systeme* [TroSte03] von Hans Troger, Professor am Institut für Mechatronik der TU Wien, Abteilung für angewandte Mechanik, bedurfte es einige Zeit, bis ich die theoretischen Grundlagen verstand. Meine Vision war die Übertragung der dort vermittelten Ansätze in den Verkehrsbereich. Der Hauptaugenmerk lag dabei in der Analyse von Verkehrszeitreihen, Messwerte, die nicht so einfach durch nichtlineare partielle Differentialgleichungen abbildbar sind. Der Kernbestandteil der Vorlesung befasste sich sehr ausführlich und detailliert mit Systembeschreibungen durch eben diesen Differentialgleichungstyp. Auf wenigen Seiten in einem der letzten Kapitel wurden jedoch ein paar Konzepte zur Analyse empirisch ermittelter Zeitreihen vorgestellt³¹, jene Anstöße, auf die ich meine Dissertation aufbaute. Die mit

³¹ Diese Konzepte und deren Erfinder wurden im Kapitel 4 vorgestellt.

Differentialgleichungssystemen beschriebenen Anwendungen aus der angewandten Mechanik wirkten zudem sehr erläuternd. Ein sehr gut aufbereitetes Beispiel war ein flüssigkeitsdurchströmter vertikal herabhängender Schlauch. Wie man leicht am eigenen Gartenschlauch experimentieren kann ändert sich sein Verhalten mit der Strömungsgeschwindigkeit des Wassers bzw. der Anzahl, Länge und Anordnung von stabilisierenden Spiralfedern, die an seinem Umfang radial und eben angeordnet werden. Es gibt stabile Stellungen, Symmetrien, Kodimensionen und letztendlich chaotische Bewegungen, die keine Regelmäßigkeit mehr besitzen. Zusammen mit japanischen Kollegen wurde ein solches System analytisch und empirisch untersucht. Es wird nun in Japan eingesetzt um Brücken zu dämpfen, damit bei einem Erdbeben das Risiko struktureller Materialschäden der Bausubstanz stark vermindert werden kann.

In meiner Freizeit beschäftigte ich mich mit einigen theoretischen Beispielen und deren Visualisierungsmöglichkeiten, um Messwerte greifbarer zu machen, zu verborgenen Regelmäßigkeiten vorzudringen, die einen Blickwinkel für eine Klassifizierung darstellen können. Gerade der Straßenverkehr wird an zahlreichen Beobachtungspunkten gemessen. Zu behaupten, dass die Charakteristiken verschiedener Straßen ident sind ist derzeit unmöglich. Bis ich mit ersten Präsentationen der theoretischen Beispiele und ersten Visualisierungen von Verkehrsdaten aus meiner Diplomarbeit [Top04] im September 2005 wieder zu arsenal research gepilgert bin hatte ich mich auch mit grafischen Userinterfaces (GUI) in Matlab beschäftigt. Dies war ein Anstoß, den mir Dr. DI Martin Linauer bei einem Treffen im August 2005 gegeben hatte. Prototypen sind erste Zugänge, Urbilder von Anwendungen. Mit GUIs können komfortabel Daten bereitgestellt und ausgewertet werden und sie sind essentiell als effektive Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine.

Ich stattete arsenal research in den folgenden Monaten zwei weitere Besuche ab, einen im November 2005, einen weiteren im Jänner 2006. Im Jänner waren zwei geförderte Forschungsprojekte bewilligt worden, wodurch sich konkrete Einsatzmöglichkeiten meiner Ideen und Zugänge eröffneten. Meine erste Euphorie wich aber in den darauf folgenden zwei Monaten einer Ernüchterung. Ein Personalaufnahmestopp des Unternehmens stellte sich unheilvoll vor meine Pläne. Nun gut, was kann man angesichts so einer Situation, mit einem Kopf voller Gedanken und Ideen, angespannt durch enormen Tatendrang unternehmen? Ich recherchierte im Internet, suchte nach Fördermöglichkeiten. Bei der österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) stieß ich auf die Möglichkeit einer

Nachwuchsförderung – junge Wissenschaftler werden hier zu einem großen Teil finanziert und setzen ein durch ein Proposal definiertes Projekt um. Mein erster telefonischer Kontakt enttäuschte mich sehr, arsenal research gehört nicht zu jenen Unternehmen, die in das Förderprogramm fallen, weil es zu 50% in staatlicher Hand liegt. Wo könnte der Nachwuchs besser Erfahrungen sammeln als in einem Unternehmen, dessen Kerngeschäft die Forschung darstellt? Diese Förderstrategie möchte ich nicht kommentieren.

Durch Zufall stieß ich auf die Homepage des Austrian Traffic Telematics Clusters (ATTC) und dem dort ausgeschriebenen Ideenwettbewerb Prix ATTC 2006. Studenten, Schüler und Jungunternehmer waren eingeladen, Konzepte und Visionen zum Thema Verkehr einzureichen. Eine sehr gute Chance, um ungewisse Monate zu überbrücken, darüber hinaus gleich eine Referenz in einem Wettbewerb zu erlangen. Mittlerweile hatte ich meine Visualisierungen aus der nichtlinearen Dynamik fast fertig programmiert, ein hobbymäßiger Zugang aus meinem Erkenntnisprozess konnte umgesetzt und publiziert werden, eine greifbare Möglichkeit.

Ende Juli 2006 erhielt ich einen sehr erfreulichen Anruf von Dr. Peter Porzer, Mitarbeiter am Institut für Infrastrukturwirtschaft und Urban Technologies der FH Joanneum und Jurymitglied beim Prix ATTC 2006. Ich war zum Gewinner im Bereich innovativer Verfahren gewählt worden, allerdings unter der Bedingung, dass ich mein Paper mit einer für den wissenschaftlich interessierten Laien verständlichen Einleitung bzw. einem entsprechenden Schluss versehen sollte. Diese Anerkennung meiner Arbeit beflügelte mein Selbstvertrauen ungemein. Gegen Ende April fand dann schließlich mein Vorstellungstermin bei der Geschäftsführung von arsenal research statt. DI Anton Plimon, Geschäftsführer und studierter Physiker war ein interessanter Kritiker meiner Präsentation und meiner Vorstellungen bzw. meines Vorhabens Visuelles Data Mining (VDM) unter chaostheoretischen Aspekten zu betreiben. Das Gespräch dauerte in etwa eineinhalb Stunden, wobei wir uns in Erklärungen von thermodynamischen Phänomenen seinerseits und in Beschreibungen der Funktionsweise von Neuronalen Netzen und Genetischen Algorithmen meinerseits wieder fanden. Die KI war ein kontroversieller Kernpunkt, der sehr missverstanden wurde. Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik ist eine Theorie, die sich der Unordnung (Entropie) widmet. Die Entropie ist auch ein Beschreibungsmaß in der nichtlinearen Dynamik, wo der Informationsgehalt von Attraktoren berechnet werden kann. Am Ende war ich erleichtert und ein wenig erschöpft, es war eine stichfeste konstruktive Kritik, in der ich meine Arbeit in einer langen Konversation konfrontiert sah.

In diesem Kapitel wird das Konzept, mit dem die Bewerbung zum Prix ATTC 2006 erfolgte und der Inhalt des erweiterten Papers über den Prototyp Beta-Konverter vorgestellt. Die Struktur wurde allerdings an das Dissertationsformat angepasst.

5.1 Das Konzept: Chaostheoretische Aspekte zur Analyse von Verkehrsdaten

PRIX ATTC KATEGORIE		
<input checked="" type="checkbox"/> Verkehrssicherheit	<input checked="" type="checkbox"/> Verkehrsträger übergreifende Konzepte	<input checked="" type="checkbox"/> Ökologie im Verkehr
ART DER EINREICHUNG	<input checked="" type="checkbox"/> Konzept	<input type="checkbox"/> Vision

5.1.1 Kurzbeschreibung des Vorhabens

Datamining Anwendungen beruhen auf sehr großen Datenmengen und zielen unter anderem darauf ab, versteckte Informationen in Form von impliziten Mustern zu ergründen und somit Entscheidungsprozesse zu konkretisieren. Zuerst muss man allerdings wissen, welche Informationen fundamental sind, wonach man suchen soll. Aus diesem Grund liegt es nahe ein System, anhand der über einen längeren Zeitraum gesammelten Daten, zu untersuchen, bevor man an das Datamining mittels verschiedener Algorithmen schreitet.

Diese Voruntersuchung erfolgt maßgeblich auf dem visuellen Weg. Aus diesem Grund werden von mir Visualisierungen angestrebt, die sich für eine Bewertung der Datenstämme durch die Entwickler am effizientesten eignen. Bezeichnet wird dieser Prozess als Visuelles Data Mining, bei dem die Einbindung menschlicher Eigenschaften wie Intelligenz, Kreativität und Allgemeinverständnis zur Identifikation und Definition relevanter Systemeigenschaften führt. Dabei sollen einige Konzepte zur Analyse dynamischer, deterministisch chaotischer Systeme zur Anwendung gebracht werden.

5.1.2 Ziele

- Darstellung effektiver Visualisierungsmethoden: Punktabbildungen und Polardarstellung mit gefalteter Zeit.
- Phasenraumrekonstruktionen: Abbildungen von Attraktoren, Aufschluss über die für Prognosen optimale Vergangenheitstiefe.

- Poincaré-Abbildungen: Dimensionsreduktion, Aufschluss über die Stabilität der Messwerte bzw. Auslastung des Phasenraums
- Programmierung der Visualisierungen in MatLab: Die angeführten Konzepte sollen sinnvoll anordnet werden, um Überblicke mit hoher Informationsdichte zu erzielen.

5.1.3 Ausblick

Die Ergebnisse aus diesen ersten Untersuchungen können als Grundlage für Prognosen herangezogen werden. Zum Einsatz könnten hier Künstliche Neuronale Netze und statistische Methoden kommen. Die Bildung von hybriden Systemen stellt eine Möglichkeit dar, verschiedene Prognosealgorithmen zu vereinen. Auf diese Weise können die jeweiligen Vorteile am besten genutzt und etwaige Nachteile abgeschwächt werden. Primär als Basis zur Verfeinerung von Prognosen stellen diese Konzepte auch sekundär als Vision einen elementaren Baustein für eine effektive intelligente Verkehrsregelung dar, die sich positiv auf die Sicherheit und die Ökologie auswirken würde.

5.2 Der BETA-Converter



Abbildung 5.1: Logo des BETA-Converters

5.2.1 Einführung

In unserer vernetzten Welt haben Logistik, Transport und Mobilität einen maßgeblichen volkswirtschaftlichen Einfluss. Seit einigen Jahren werden europäische Autobahnen mit Messeinrichtungen und elektronischen Anzeigetafeln bestückt. Die Gesetzmäßigkeiten des motorisierten Verkehrs werden erst dadurch erforschbar. Durch intelligente Straßen sollen in Zukunft sichere Verkehrsflüsse gewährleistet werden, denn ein Verkehrsstau bedeutet unnötigen Energieverbrauch, zusätzliche Emissionen und Zeitverlust.

Es lagen noch nie so viele Messdaten vor wie heute. Die Beobachtungszeiträume waren noch nie so lang und die beobachteten Stellen waren noch nie so zahlreich.

Einhergehend mit diesem Trend schreitet die Entwicklung von Telematikdiensten voran. Wissenschaftler beschäftigen sich mit der Beschreibung des Verkehrsflusses. Statistische Verfahren und der Einsatz von künstlicher Intelligenz sollen zur Systemkenntnis führen und damit zur Fähigkeit der aktiven Regelung des Verkehrsgeschehens.

Verkehrsprognosen spielen hierbei die wichtigste Rolle. Auf ihrer Basis können kritische Entwicklungen vorhergesehen und über dynamische Geschwindigkeitslimits abgeschwächt werden. Der Analyseprozess von sehr großen Mengen an Beobachtungsdaten wird als Datamining bezeichnet. Dabei werden versteckte Informationen (nicht direkt aus den Daten ersichtlich, implizite Muster) gesucht, die Entscheidungsprozesse für eine Telematikanwendung konkretisieren.

Das Problem dabei: Verkehr ist nicht gleich Verkehr, je nach beobachteter Strecke ergeben sich quantitative und qualitative Unterschiede. Transitrouten unterscheiden sich beispielsweise von jenen mit erhöhtem Pendler- oder Urlauberanteil. Die Eignung eines erfolgreich ermittelten Modells für einen Beobachtungsort A ist für den Einsatz an einem anderen Beobachtungsort B keineswegs ad hoc feststellbar.

Für die Abbildung und Modellierung eines lokalen Verkehrsgeschehens wird eine Vielzahl von Methoden eingesetzt. Die Suche nach der optimalen Abbildung gestaltet sich jedoch häufig aufwändig, denn zufrieden stellende Ergebnisse erfordern mehrere Versuche nach dem Trial and Error Prinzip. Die Bandbreite der Modellparameter ist groß. Ist dieser Prozess durch abstraktere Zugänge verallgemeinerbar und dadurch beschleunigbar? Der Schlüssel liegt in der Visualisierung von umfangreichen Messreihen und daraus ableitbaren charakteristischen Eigenschaften. Das Hauptaugenmerk der Arbeiten in diesem Paper liegt auf ersten Visualisierungen, die ein schnelles Bewerten ermöglichen sollen.

Bezeichnet wird dieser Prozess als Visuelles Data Mining, bei dem die Einbindung menschlicher Eigenschaften wie Intelligenz, Kreativität und Allgemeinverständnis zur Identifikation und Definition relevanter Systemeigenschaften führt. Dafür wurden einige Konzepte zur Analyse nichtlinearer dynamischer, deterministisch chaotischer Systeme zur Anwendung gebracht und in einem Prototyp vereint.

5.2.2 Der Prototyp

Der programmierte Prototyp trägt den Namen *BETA-Converter*, in Anlehnung an das griechische Alphabet bevorzuge ich den Kurznamen *β -Converter*. Die Abkürzung BETA (Basic Estimation of Timeseries by means of chaotic Aspects) bezeichnet somit eine grundlegende Bewertung von Zeitreihen mittels chaostheoretischer Aspekte. Der Beiname *Converter* zielt auf Umwandlung in verschiedene Darstellungsmethoden ab.

Beim β -Converter handelt es sich um ein von mir konzipiertes Add-On für MatLab, welches ein weit entwickeltes Programm für technische Berechnungen und Simulationen ist. Die in MatLab vorhandenen Visualisierungswerkzeuge wurden speziell für den Prototyp adaptiert und die im Punkt 6.1 beschriebenen Ziele in einem grafischen User-Interface (GUI) vereint. Die Komponentenstruktur ist in Abbildung 5.2 ersichtlich, einen Screenshot des β -Converters liefert Abbildung 5.3.

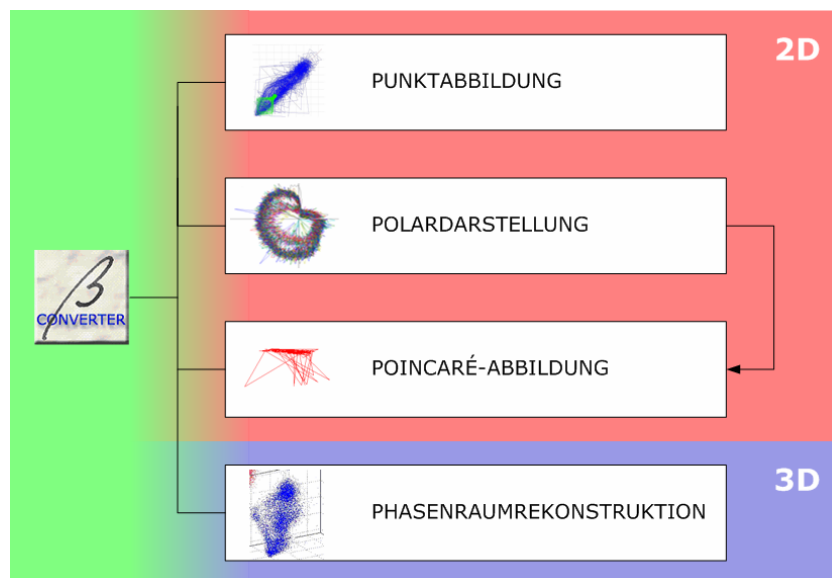


Abbildung 5.2: Komponentenstruktur

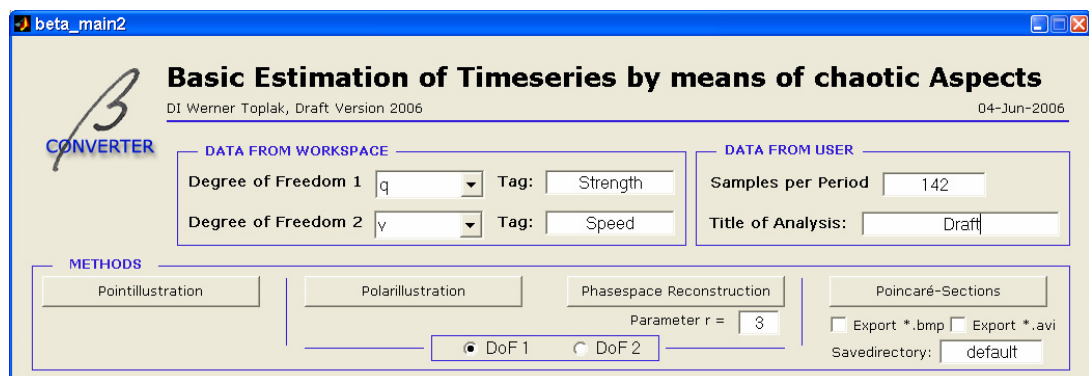


Abbildung 5.3: GUI des β -Converters (Screenshot)

5.2.3 Integrierte Konzepte

5.2.3.1 Punktabbildungen

Eine Punktabbildung ist eine Darstellung, bei der man eine Zeitreihe sozusagen auf sich selbst abbildet. Was man genau darunter versteht, soll nun in Kürze erklärt werden.

Üblicherweise stellt man eine zeitlich zusammenhängende Sequenz (Zeitreihe) von Messwerten einer Variablen (in der Dynamik wird eine Variable auch als Freiheitsgrad bezeichnet) in einem zeitbezogenen Diagramm dar. In Abbildung 6.4 wurden auf diese Weise die Verkehrskenngrößen Geschwindigkeit v und Verkehrsstärke q dargestellt.

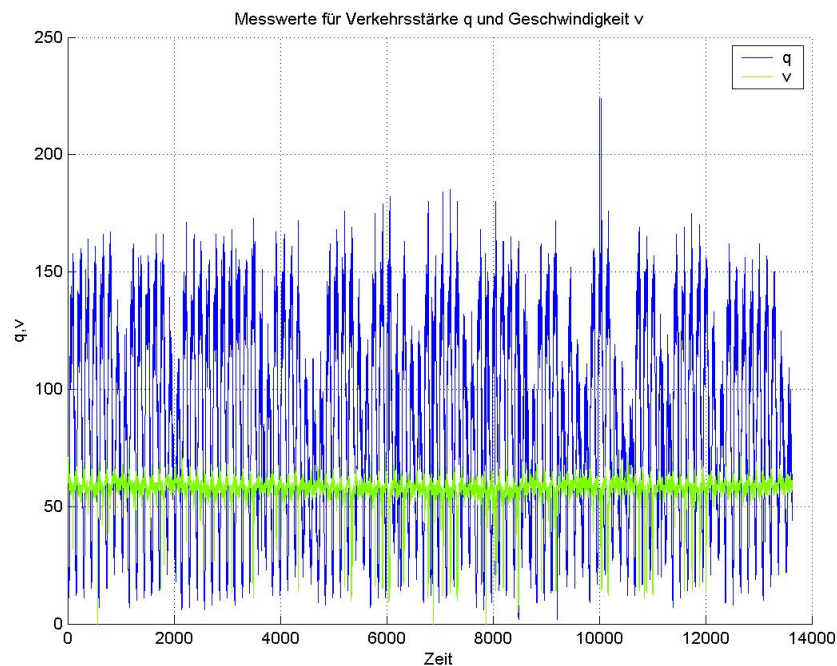


Abbildung 5.4: Zeitbezogenen Darstellung

Auf der Abszisse ist die Zeit in Form von Messintervallindizes und auf der Ordinate die zugehörigen Messwerte q (in Fahrzeugen/10 Minuten) und v (in km/h) aufgetragen. Mit einer Intervalllänge von 10 Minuten sind also die Messwerte von 96 Tagen dargestellt.

Der Informationsgehalt ist nicht sehr groß, man könnte sich lediglich die Mühe machen und die Spitzenwerte der Verkehrsstärke abzählen, um zu überprüfen, ob hier wirklich 96 Tage vorliegen. Was könnte man aus einer solchen Darstellung noch

ablesen, wenn man anstatt der 96 Tage etwa 400 Tage vorliegen hätte? Praktisch gar nichts mehr.

Ich möchte nun zwei einfache mathematische Beispiele ins Spiel bringen, um sie quasi als Leiter zu benützen, die uns auf eine höhere Verständnisebene führen soll. Die Bernoulli-Verschiebung und die logistische Funktion, die auch als Lorenz-Funktion bekannt ist.

Mit diesem Schritt werden zwei Phänomene anschaulich, die deterministisch chaotisches Verhalten bewirken können:

- Die Auswirkungen von kleinen Abweichungen im Startwert von Funktionsvariablen (Bernoulli-Verschiebung)
- Die Auswirkungen von Abweichungen in Funktionsparametern (logistische Funktion)

Die Bernoulli-Verschiebung

Mit $x(n+1) = [2 \cdot x(n)] \bmod 1$ (5.1) und der Anfangsbedingung $x(0) \ll 1$ ist eine Funktion definiert, die einen iterativen Charakter besitzt. Das heißt, dass der Wert der Funktion x zum Zeitpunkt $n+1$ auf dem Funktionswert zum Zeitpunkt n beruht. Beginnt man mit einem Startwert $x(0)=0.2$ so ergeben sich die ersten Werte für x :

$$x=(0.2, 0.4, 0.8, 0.6, 0.2, 0.4, 0.8, \dots)$$

Der Modalwert zu 1 (mod 1) limitiert dabei die Funktionswerte, sodass die ganzzahligen Werte eliminiert werden und nur der Restwert bestehen bleibt. Wenn man nun neue Startwerte mit z.B. $x_1(0)=0.123456002$ und $x_2(0)=0.123456001$ festlegt und die Iterationen genügend lange durchläuft, ergeben sich Funktionswerte, die in Abbildung 5.5 zeitbezogen dargestellt werden.

Obwohl sich die beiden Startwerte erst an der neunten Nachkommastelle um 1 unterscheiden, $\Delta=x_1(0)-x_2(0)=0.000000001$, kommt es kurz nach der 20. Iteration zu einem massiven Ausbrechen der Folge x_2 , die bis dahin noch der Folge x_1 gefolgt ist. Man sagt in diesem Fall, dass sich die Funktion verzweigt hat (Bifurkation, Gabelung).

In der Physik gibt es die beiden Prinzipien der schwachen und der starken Kausalität:

- Schwache Kausalität: Gleich konfigurierte Systeme verhalten sich gleich.
- Starke Kausalität: Hinreichend ähnlich konfigurierte Systeme verhalten sich ähnlich.

Wenn wir nun die Bernoulli-Folge betrachten können wir folgendes feststellen: Ein gleicher Startwert führt immer zu gleichen Funktionswerten, die schwache Kausalität gilt. Ein ähnlicher Startwert führt nicht zu ähnlichen Funktionswerten, die starke Kausalität gilt nicht. Es herrscht sensitive Abhängigkeit von den Anfangsbedingungen!

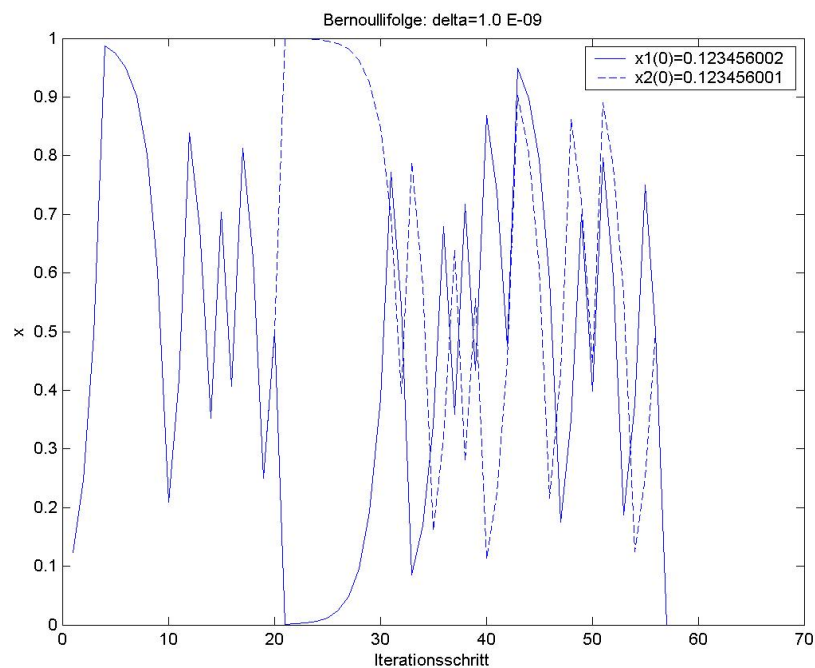


Abbildung 5.5: Bernoulli-Verschiebung (zeitbezogen)

Um tiefer in die Charakteristik der Bernoulli-Funktion einzutauchen bietet sich die Punktabbildung an. Wie zu Beginn erwähnt wird hier eine beobachtete Variable auf sich selbst abgebildet. Abbildung 5.6 stellt die Funktionswerte von x_1 und x_2 dar.

Auf der Abszisse sind die x -Werte zu einem fortlaufenden Zeitpunkt n und auf der Ordinate die x -Werte zu einem gleich darauf folgenden Zeitpunkt $n+1$ aufgetragen. Ein Punkt P in dieser Darstellung ergibt sich also zu $P=(x(n), x(n+1))$.

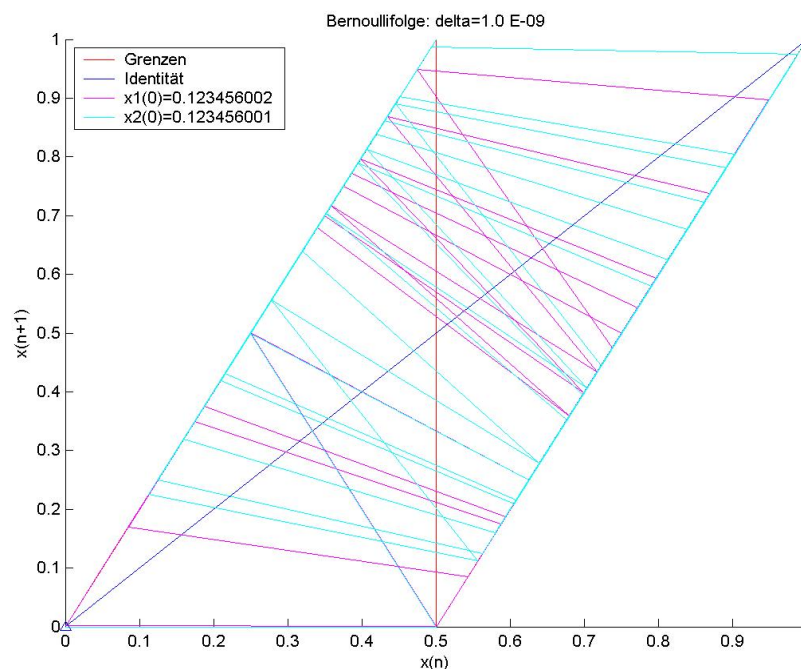


Abbildung 5.6: Punktabbildung der Bernoulli-Verschiebung

Verblüffend ist in dieser Darstellung, dass sich die Funktionswerte von x_1 und x_2 auf zwei Geraden bewegen, von $(0,0)$ bis $(0.5,1)$ und von $(0.5,0)$ bis $(1,1)$. Die Linien zwischen diesen Geraden für x_1 und x_2 verlaufen willkürlich, je nach Startwert verschieden. Ein großer Vorteil gegenüber einer zeitbezogenen Darstellung ist zweifellos die Tatsache, dass beliebig viele Messwerte dargestellt werden können und immer ersichtlich bleibt, wie der Ereignisraum von den Messwerten belegt wird. Die Identität ist jene Gerade $(0,0)$ bis $(1,1)$, auf der stabile Werte zu liegen kommen (blau). Alle theoretisch möglichen Werte, die zur Zeit n gleich groß wie zur Zeit $n+1$ (also konstant) sind, bilden diese 45°-Linie. Nachdem die Bernoulli-Verschiebung auf einer sehr einfachen mathematischen Formel beruht sind auch deren Charakteristika in der Punktabbildung relativ leicht zu erkennen.

*Pierre-François Verhulst*³² (1804-1849) war ein belgischer Mathematiker und gilt als Erfinder der logistischen Gleichung, die er zur Beschreibung von Populationsmodellen (nach [TroSte03]) einsetzte.

³² http://de.wikipedia.org/wiki/Pierre_Fran%C3%A7ois_Verhulst – gelesen am 06.07.2005

Edward Norton Lorenz³³ (geb. 1917) ist emeritierter Professor für Meteorologie am Massachusetts Institute of Technology (MIT), USA. In den 1960er Jahren arbeitete er an Computersimulationen, um Wetterphänomene genauer zu untersuchen. Er stellte fest, dass bereits kleinste Abweichungen in den Anfangsbedingungen sehr unterschiedliche Ergebnisse im zeitlichen Fortschritt seines, auf der logistischen Funktion basierenden, Wettermodells bewirkten. Die logistische Funktion wird durch eine relativ einfache Formel dargestellt und findet, teilweise in abgeänderter oder erweiterter Form, auch Anwendung in den Wirtschaftswissenschaften (nach [LoiBet93]).

Für das Demonstrationsbeispiel beschreibt die logistische Funktion eine Population P:

$$P(n+1) = r \cdot (1 - P(n)) \cdot P(n), \quad 0 < P < 1 \quad (5.2)$$

Die Größe einer Population P zum Zeitpunkt n+1 hängt wesentlich von der Populationsgröße zum vorhergehenden Zeitpunkt n ab. Andere Populationsmodelle gehen nur auf exponentielles Wachstum ein, lassen aber vollkommen außer Acht, dass eine Population von Lebewesen in einem beschränkten System lebt. Die Entwicklung der Anzahl menschlicher Lebewesen muss beispielsweise mit der Größe des Planeten Erde vereinbar sein. Weitere Einschränkungen ergeben sich allein aus dieser Rahmenbedingung wie z.B. die Verfügbarkeit der Ressourcen Wasser, landwirtschaftlich nutzbarer Flächen, Baumaterial, und so fort.

Mit dem Parameter r wird in der logistischen Formel quasi ein Wert für diese Gegebenheiten angegeben. Ursprünglich berücksichtigte Verhulst den Hunger, die Fruchtbarkeit und jene Populationsgröße, bei der alle Individuen verhungern würden. Ich bin mir sicher, dass es zurzeit schon sehr ausgefeilte Modelle gibt, in denen die verschiedensten Faktoren berücksichtigt werden.

In Abbildung 5.7 sind fünf verschiedene Funktionsverläufe zeitbezogen dargestellt. Sie unterscheiden sich durch die Wahl des Parameters r. Bei niedrigen Werten (r=0.5 und r=1) stirbt die Population mit der Zeit aus. Höhere Parameter (r=2.5 und r=3)

³³ vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Edward_N._Lorenz – gelesen am 06.07.2005

bewirken eine kurzfristige Stabilisierung bzw. ein langsames Konvergieren hin zu einem stabilen Wert. Für höhere Parameter ($r=4$) stellt sich gar keine stabile Population mehr ein, vielmehr fluktuieren die Werte scheinbar ohne jegliche Gesetzmäßigkeit, sie verhalten sich chaotisch.

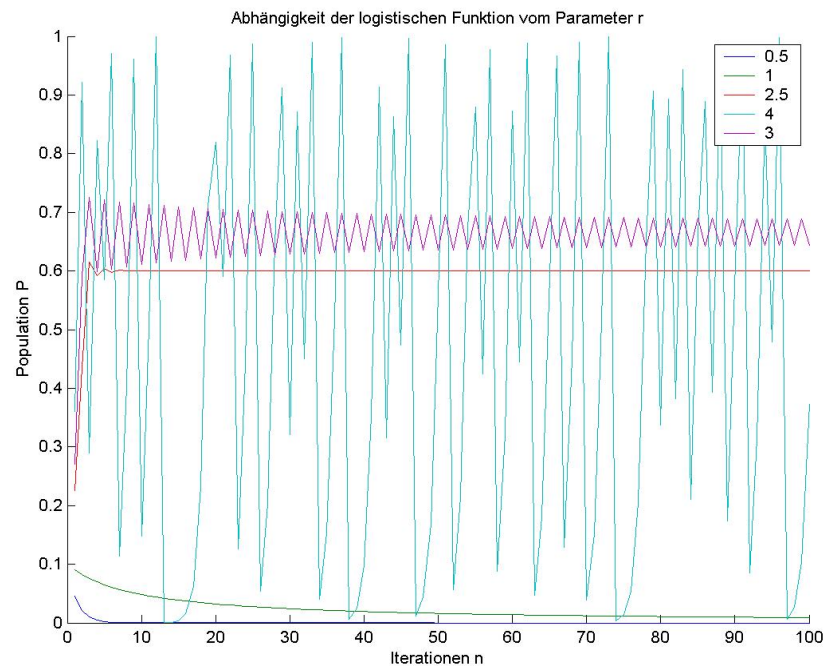


Abbildung 5.7: Verlauf der logistischen Gleichung für fünf Parameterwerte

Die Punktabbildung (Abbildung 5.8) enthüllt diese Verläufe in einem neuen Licht:

- $r=2.5$: Die Werte nähern sich sehr schnell der Identität, Stabilität stellt sich ein.
- $r=3$: Die Werte oszillieren um einen Stabilitätspunkt nahe der Identität.
- $r=4$: Die Werte bilden eine Parabel und kommen chaotisch auf ihr zu liegen.

Dieses Beispiel zeigt deutlich die Abhängigkeit von Parametern, die in einer Vielzahl von technischen Anwendungen auftreten. Um die Bedeutung der logistischen Gleichung zu unterstreichen, möchte ich noch das Feigenbaumdiagramm explizit erwähnen.

Mitchell Jay Feigenbaum³⁴ (geb. 1944) ist ein US-amerikanischer Physiker und Chaosforscher, der auf Basis der logistischen Funktion ein Bifurkationsdiagramm entwickelt hat. Im Jahr 1975 entdeckte er die nach ihm benannten Feigenbaumkonstanten α und δ . Die Bedeutung dieser Konstanten für die Chaostheorie wird oft mit der Bedeutung der Zahl π für die euklidische Geometrie verglichen.

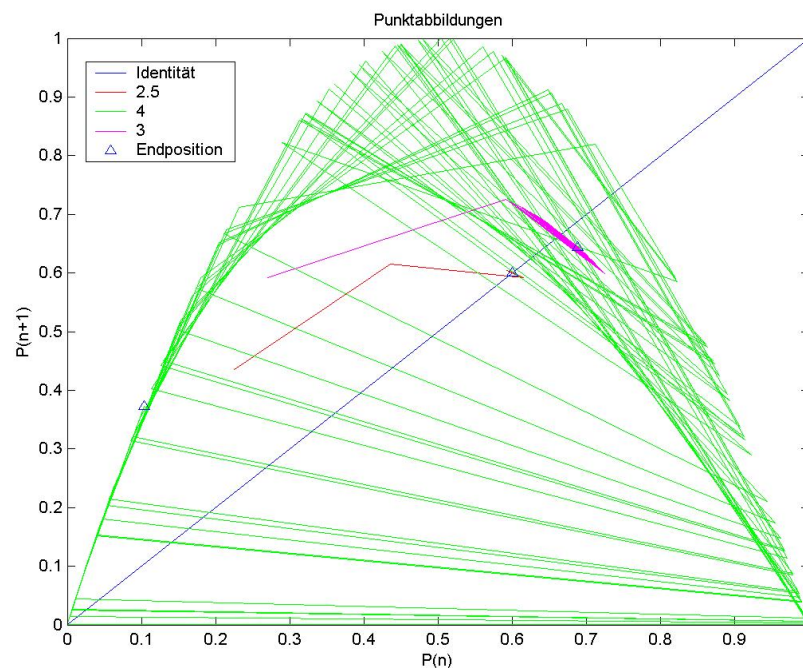


Abbildung 5.8: Punktabbildungen der logistischen Funktion

Ich habe nun anhand einiger Durchläufe mit verschiedenen Parameterwerten für r versucht, ein solches Bifurkationsdiagramm, das auch in diesem speziellen Fall als Feigenbaumdiagramm bekannt geworden ist, darzustellen. In Abbildung 5.9 flossen nur 10 Iterationen ein, Abbildung 5.10 hingegen basiert auf 1000 Iterationen. Man erkennt leicht, wie wichtig es ist, für qualitativ hochwertige Untersuchungen auf große Datenstöcke zurück zu greifen. Üblicherweise wird jenes Zeitintervall ausgeblendet, in dem sich viele Funktionswerte einschwingen.

Darauf habe ich hier verzichtet. Auf den Abszissen ist der Parameter r aufgetragen, die Ordinaten reflektieren die Populationen, die sich je Parameterwert ergeben. Mit

³⁴ http://de.wikipedia.org/wiki/Mitchell_Feigenbaum – gelesen am 06.07.2005

steigendem Parameter nehmen die Verzweigungen progressiv zu, das Längenverhältnis der Verzweigungen strebt dabei gegen die Feigenbaumkonstante α^{35} .

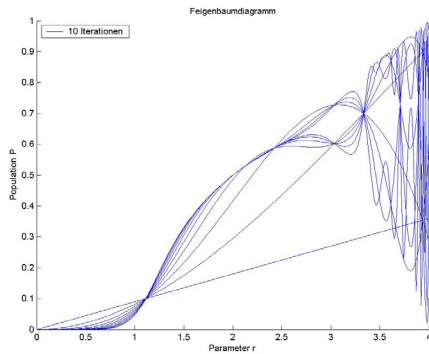


Abbildung 5.9:

Feigenbaumdiagramm für 10 Iterationen

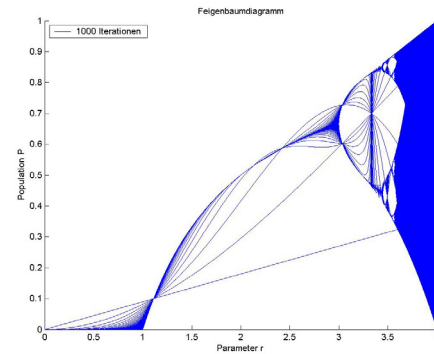


Abbildung 5.10:

Feigenbaumdiagramm für 1000 Iterationen

Punktabbildung für Verkehrsdaten

Nach den zwei einführenden Beispielen komme ich nun zur ersten Verkehrsvisualisierung, die mit dem β -Converter erstellt wurde (Abbildung 5.11).

Das hochkomplexe Verkehrsgeschehen ergibt natürlich keine so eindeutigen Charakteristika, wie sie in der Bernoulli-Verschiebung und der logistischen Funktion zu erkennen waren. Man kann jedoch eine Asymmetrie der Verkehrsstärke q (blau) um die Identität feststellen. Weiters sind einige Werte erkennbar, die nicht im Häufungsfeld um die Identität liegen. Solche Werte kann man in weiterer Folge isoliert betrachten und prüfen, ob es sich dabei um Fehlmessungen oder äußerst selten auftretende Phänomene handelt. Die Geschwindigkeit v (grün) verläuft ab etwa 50 km/h sehr stabil, bei niedrigeren Werten treten starke Fluktuationen auf.

³⁵ $\alpha=2,502907875095892822283902873218\dots$

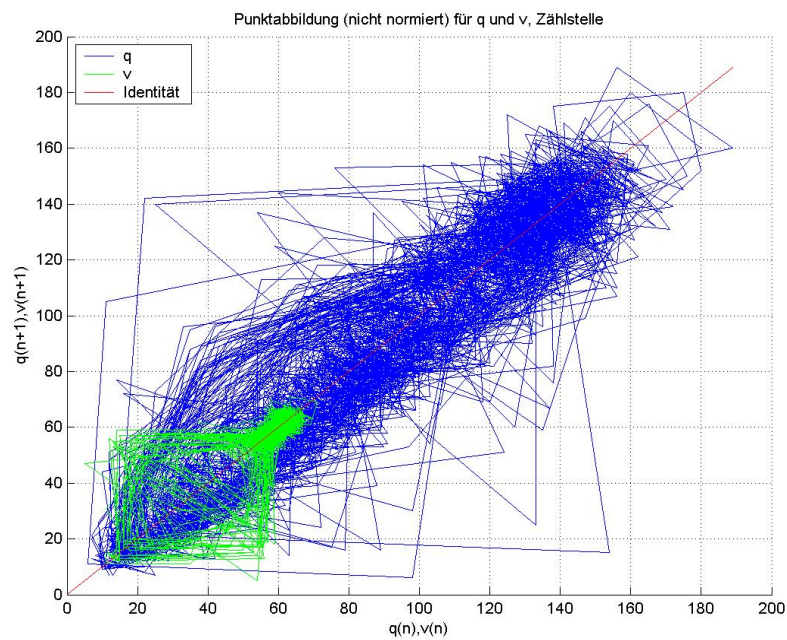


Abbildung 5.11: Punktabbildung für Geschwindigkeit und Verkehrsstärke

5.2.3.2 Polardarstellung

In der Polardarstellung können, ebenfalls wie in der Punktabbildung, theoretisch unlimitiert viele Messwerte dargestellt werden. Dabei wird eine Polartransformation auf die Verkehrskenngröße v angewandt:

$$\begin{aligned} x &= v \cdot \cos \varphi \\ y &= v \cdot \sin \varphi \end{aligned} \quad (5.3)$$

$$\text{mit } \varphi = \frac{2 \cdot \pi}{\text{Samples pro Periode}}$$

Messungen erfolgen zu bestimmten Zeiten (Samplingzeiten). Das kann jede Minute erfolgen, bzw. wurde im Fall der hier untersuchten Verkehrsdaten auf 10-Minutenwerte zurückgegriffen. Ein Tag hat also 1440 Minuten, eine 10-minütige Abtastung ergibt 144 Messwerte pro Tag (Samples pro Periode). Der Winkel φ ordnet nun diese Samples pro Periode kreisförmig an. Jeder Samplingzeit ist somit ein bestimmter Winkel zugewiesen.

Die x - und y -Koordinaten der Darstellung ergeben sich somit aus der Multiplikation des Messwertes mit $\cos(\varphi)$ bzw. mit $\sin(\varphi)$.

Die Bewegungslinien (Trajektorien) der Geschwindigkeit v sind in Abbildung 5.12 dargestellt. Die Unterteilung in die vier Quadranten (0:00 bis 6:00, 6:00 bis 12:00, 12:00 bis 18:00, 18:00 bis 0:00) erfolgt bei der Polardarstellung automatisiert.

Es lassen sich hier einfach jene Tageszeiten abschätzen, an denen mit erhöhter Staugefahr zu rechnen ist. Außerdem kann die Aussage getroffen werden, dass der Verkehr im 10-Minutenintervall gesehen nur sehr selten vollkommen zum Erliegen gekommen ist. Die annähernd kreisförmige Gestalt der meisten Trajektorien deutet auf eine Stabilität der über 50 km/h-Werte hin, die schon in der Punktabbildung zu erkennen war.

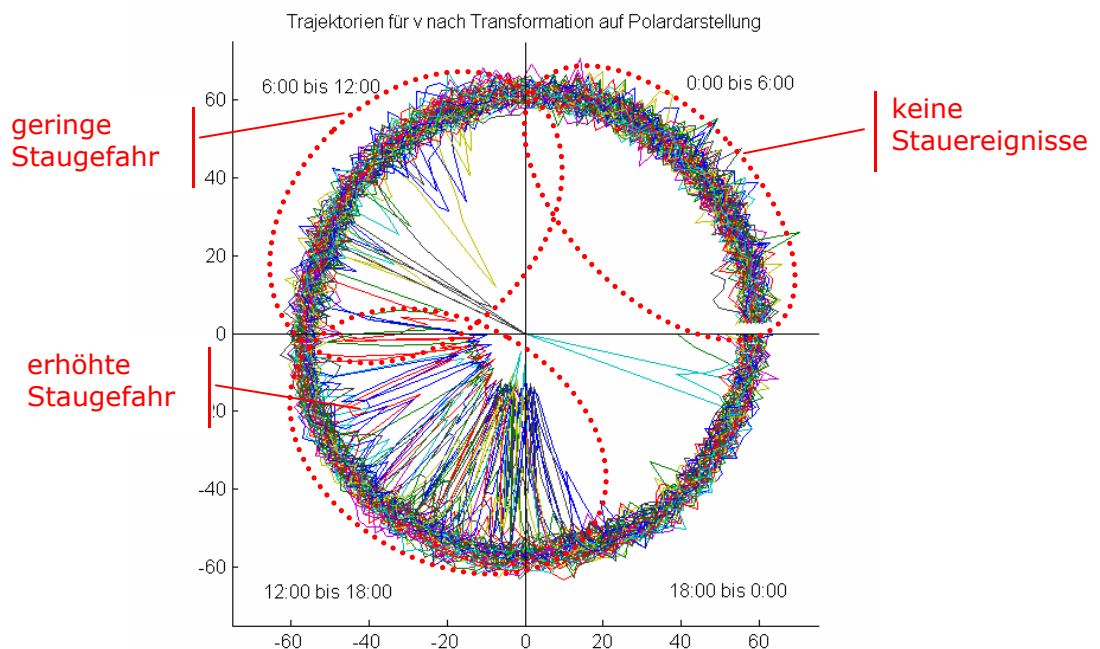


Abbildung 5.12: Polardarstellung für die Geschwindigkeit

Die Verkehrsstärke q wird folgend transformiert:

$$\begin{aligned} x &= q \cdot \cos \varphi \\ y &= q \cdot \sin \varphi \end{aligned} \quad (5.4)$$

$$\text{mit } \varphi = \frac{2 \cdot \pi}{\text{Samples pro Periode}}$$

Die Polardarstellung (Abbildung 5.13) zeigt Interessantes. Es sind zwei Ringe erkennbar, die zu gewissen Tageszeiten separiert sind oder miteinander

verschmelzen. Intuitiv wird man feststellen, dass der größere Ring die Wochentage widerspiegelt und dass im kleineren Ring die Wochenenden und Feiertage zu finden sein werden. Wenige Spitzenwerte, die sich nicht in die Form der Ringe integrieren, erscheinen untersuchungswert. Auch die verschwimmenden Bereiche, in denen sich die Ringe vereinen, könnten interessant für weitere Untersuchungen sein.

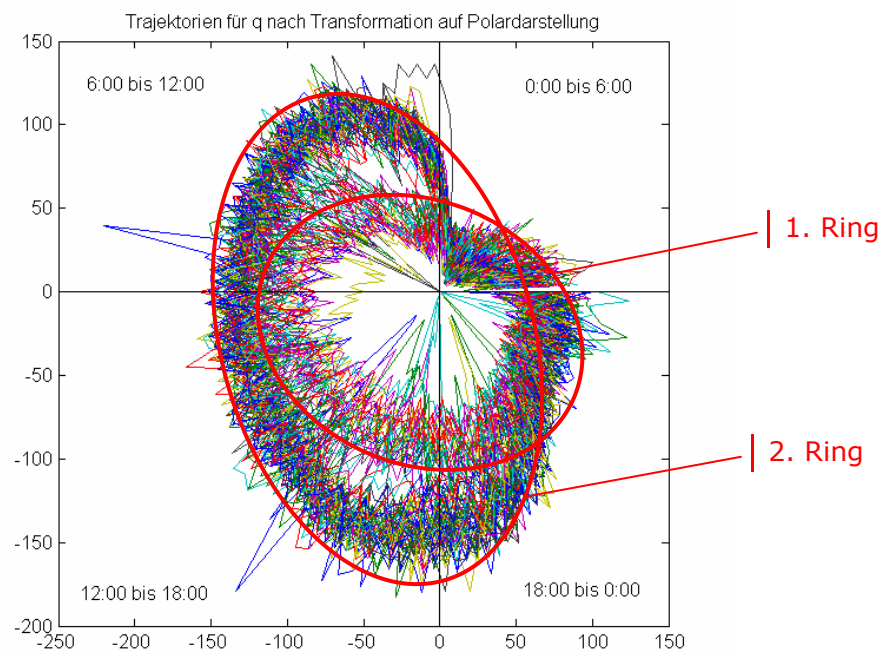


Abbildung 5.13: Polardarstellung für die Verkehrsstärke

5.2.3.3 Poincaré-Abbildungen

Jules Henri Poincaré³⁶ (1854 -1912) war ein französischer Mathematiker und theoretischer Physiker. Poincaré entdeckte deterministisches Chaos in den Planetenbewegungen unseres Sonnensystems. Diese Erkenntnis erschütterte das damalige rein deterministisch dominierte Weltbild: Alles Geschehen ist also keineswegs vorherbestimmt!

Die Poincaré-Abbildung beruht auf einem Prinzip, das ich anhand der Polardarstellungen erklären werde. Zu diesem Zweck habe ich in den Abbildungen 5.14 und 5.15 einige Ergänzungen vorgenommen.

Ich habe die projizierende Ebene ε_1 so in die Trajektorien der Geschwindigkeit (Abbildung 5.14) gelegt, dass sie um den Ursprung rotieren kann. In den Trajektorien der Verkehrsstärke (Abbildung 5.15) findet sich analog die projizierende Ebene ε_2 .

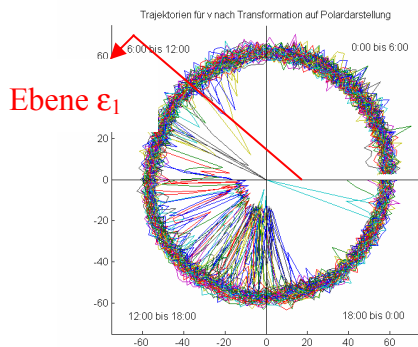


Abbildung 5.14

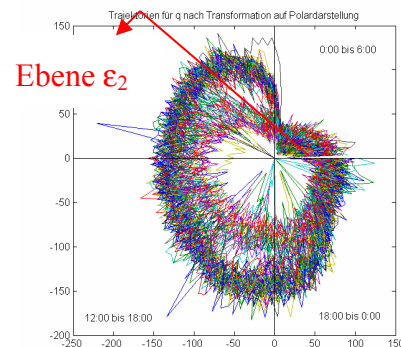


Abbildung 5.15

Jede der beiden Ebenen wird von den jeweiligen Trajektorien durchstoßen. So erhält man, wenn man die Ebenen ε_1 und ε_2 in wahrer Größe betrachtet eine Reihe von Durchstoßpunkten. Auf einen Blick sieht man also alle vorhandenen Geschwindigkeits- bzw. Verkehrsstärkewerte für eine bestimmte Tageszeit. Dieses Prinzip wird Poincaré-Abbildung genannt. Rotiert man nun beide Ebenen um den Ursprung, erhält man Abbildungen für jede Samplingzeit.

Nachdem im System Verkehr zwei Freiheitsgrade (Geschwindigkeit v und Verkehrsstärke q) vorliegen stellte ich diese in Kombination dar. Abbildung 5.16 zeigt eine Poincaré-Abbildung zu einer bestimmten Tageszeit, die interessant erscheint. Die Durchstoßpunkte sind durch rote Linien verbunden, sodass der zeitliche Zusammenhang benachbarter Perioden erhalten bleibt.

Die meisten q - v Werte liegen in einem Häufungsbereich, manche brechen an einem Tag nach unten aus und bezeichnen einen schlechten Verkehrszustand. Ein Wert bricht aus und kehrt auch am nächsten Tag nicht in den Häufungsbereich zurück (waagerechte Linie). Dies könnte ein Anzeichen für eine Störung sein, die von

³⁶ http://de.wikipedia.org/wiki/Henri_Poincar%C3%A9 – gelesen am 06.07.2005

extern auf den Verkehrsverlauf über längere Zeit einwirkt, z.B. eine Baustelle oder ähnliches.

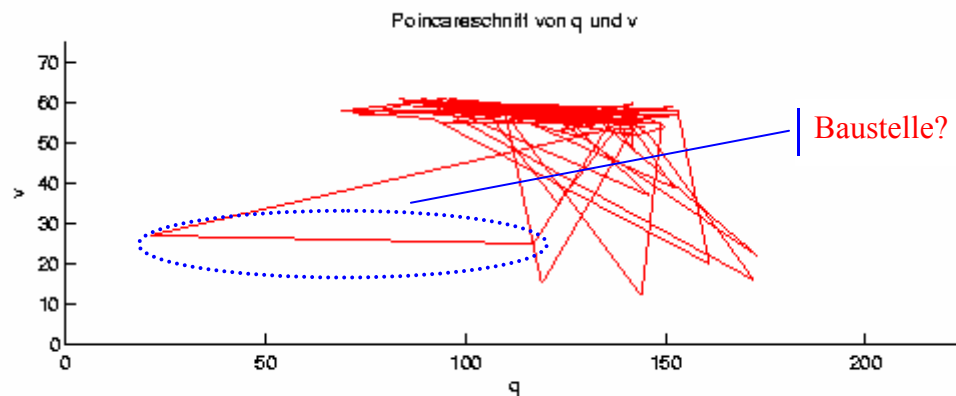


Abbildung 5.16: Poincaré-Abbildung, ε_1 und ε_2 vereint

Der β -Converter beinhaltet die Option, die erstellten Poincaré-Abbildungen als Bilddatei (*.bmp) in einen angegebenen Exportordner automatisiert abzuspeichern. Für eine weitere Analyse hinsichtlich der fraktalen Dimension dienen sie so als Objekte für bildverarbeitende Algorithmen. So könnte quasi ein Maß für die Auslastung des Phasenraums mittels der fraktalen Dimension bestimmt werden. Um den Umfang meines Konzepts nicht zu sprengen gehe ich aber nicht näher auf das Prinzip der fraktalen Dimension ein, obwohl ich schon an einem Algorithmus gearbeitet habe.

Mit dem β -Converter lässt sich außerdem eine Filmdatei (*.avi) erstellen, welches die Poincaré-Abbildungen für einen ganzen Tag chronologisch zeigt. Siehe hierfür die beiliegende Datei *poincare.avi*.

5.2.3.4 Phasenraumrekonstruktion

Die Phasenraumrekonstruktion ist wohl das ungewöhnlichste Prinzip, das in diesem Paper vorgestellt wird.

Beginnen wir mit der sensitiven Abhängigkeit von den Anfangsbedingungen, wie sie in der Bernoulli-Verschiebung erkenntlich ist. Der Schmetterlingseffekt ist eine Metapher aus der Meteorologie und stammt von Edward Norton Lorenz: Schon ein

einzigster Flügelschlag könnte Auswirkungen auf das Wetter an einem weiter entfernten Ort zu späterer Zeit haben und einen Sturm auslösen. Auf den Verkehr umgemünzt könnte eine kleine Störung Auswirkungen im zeitlichen Verlauf zeigen und zu einem bestimmten Zeitpunkt mitverantwortlich für die Entstehung eines Staus sein.

Zweck der Phasenraumrekonstruktion ist die Abbildung der Auswirkungen für bestimmte Störungen, sehr allgemein ausgedrückt. Die Aussage des Schmetterlingseffekts ist die, dass fundamentale Auswirkungen bei kleinen Störungen erst nach einiger Zeit auftreten können, und hier setzt das Prinzip der Phasenraumrekonstruktion an. Als Systemanalysten interessiert mich die daraus notwendige zeitliche Entkoppelung des Systems.

Was kann man sich unter zeitlicher Entkoppelung vorstellen? Übliche zeitbezogene Darstellungen (Abbildung 5.17) basieren auf einem chronologischen Ablauf der Messwerte.

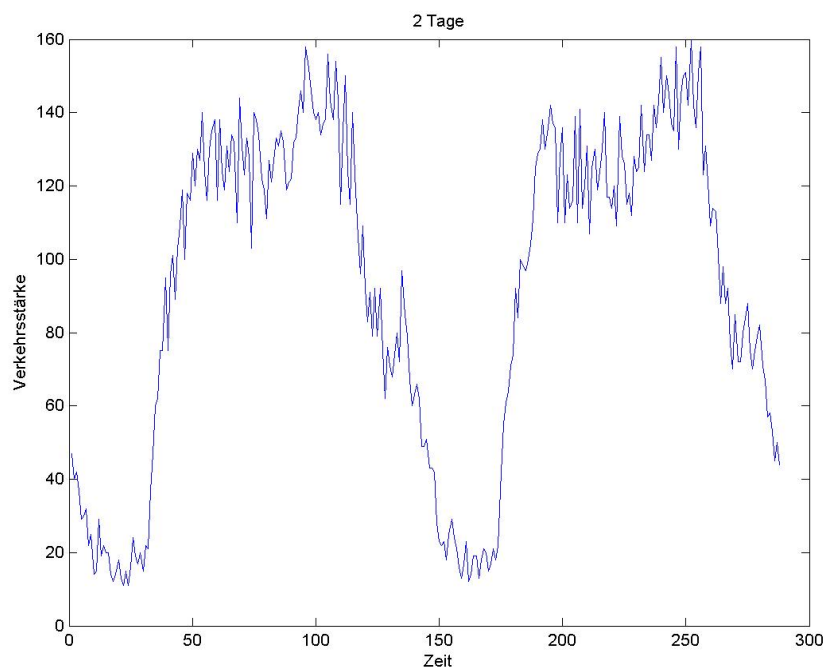


Abbildung 5.17: Verkehrsstärke für zwei Tage

Denken wir uns eine 3-dimensionale Abbildung, die Achsen beruhen auf dem betrachteten Freiheitsgrad, hier der Verkehrsstärke. Die x-Achse soll die Werte zu einem fortlaufenden Index n beinhalten. Die y-Achse soll jedoch nicht den darauf folgenden Wert bei $n+1$ (wie bei der Punktabbildung) beinhalten sondern einen um den Parameter r erweiterten Zeitindex $n+r$ aufweisen. Die z-Achse wiederum repräsentiert eine weitere Zeitverschiebung um den Parameter s auf $n+s$. Nachdem die zeitlichen Auswirkungen auf einen Tag, also periodenweise, beschränkt bleiben sollte gilt als Bedingung: $r \cdot s \leq \text{Samples pro Periode}$.

Mit verschiedenen Parameterwerten für r und s ist es nun möglich, die jeweiligen zeitlich entkoppelten Systeme darzustellen. In Abbildung 6.19 sind einige Phasenraumrekonstruktionen angeordnet. Die blaue Punktwolke bildet den Attraktor der Messwerte, die roten Punktwolken sind die Schattenwürfe des Attraktors auf die jeweiligen Ebenen. Die Schatten sollen größtmöglicher Informationsdichte genügen und die zeitlichen Zusammenhänge zwischen den Entkopplungsrelationen

$$\frac{n}{n+r}, \frac{n}{n+s}, \frac{n+r}{n+s} \quad (5.5)$$

darstellen. Der Attraktor liegt schließlich im Raum und ist nicht global einsehbar. Der Vorteil für den Systemanalysten liegt aber auch in der Möglichkeit, eine mit dem β -Converter erstellte Phasenraumrekonstruktion auf dem PC in 3D zu rotieren und zu zoomen und so die Struktur des Attraktors näher zu erforschen (Abbildung 5.18).

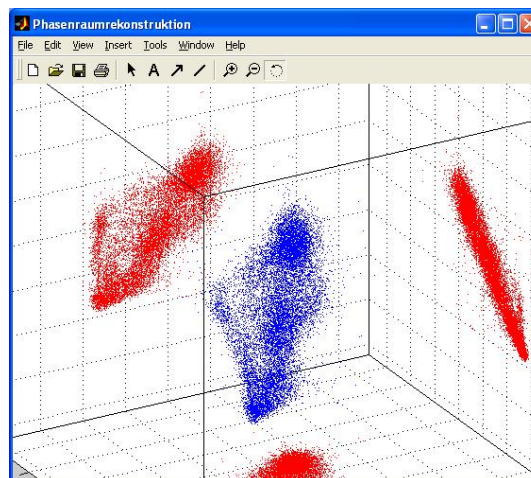


Abbildung 5.18: Gezoomter Attraktor

Die Phasenraumrekonstruktion erfolgt animiert (Animationsleiste: Abbildung 5.23), sodass es möglich ist, die zeitliche Evolution des Systemverhaltens zu erfassen und damit nachzuvollziehen.

Mit den richtigen Parameterwerten entfaltet sich die Punktwolke zu einem Gebilde (Attraktor) verschiedener Häufungsbereiche heraus. Würde vollkommenes Chaos herrschen, so würden die Punkte den gesamten zulässigen Wertebereich ausfüllen. Somit kann die Wahrscheinlichkeit bestimmt werden, in welche Kategorie ein zukünftiger ($n+s$) Messwert fallen wird, wenn man die Anfangswerte n und $n+r$ kennt.

Eine Weiterentwicklung wäre zum Beispiel, dass man mit der Maus ein Fenster über interessante Regionen des Attraktors zieht. Die so ausgewählten Messwerte könnten dann als Variable gespeichert werden, die wiederum für weitere Untersuchungen dient.

Für die Prognose mit Neuronalen Netzen oder auch statistischen Verfahren könnten die Erkenntnisse aus diesem Analyseprozess eine Leistungsverbesserung und höheres Verständnis des Systemverhaltens bewirken.

Zuletzt habe ich noch eine automatisierte Datumserstellung auf den Visualisierungen hinzugefügt, um jede mit dem β -Converter erstellte Visualisierung zeitlich gut zuordnen zu können. Ein paar Screenshots finden sich in den Abbildungen 5.20 bis 5.23. Die Erstellung der Titel, Achsenbezeichnungen und die Einbindung der vom Anwender gewählten Parameter erfolgt ebenfalls automatisch, um Zeit zu sparen. Alle diese, auf der MatLab-Oberfläche basierenden, Darstellungen sind natürlich in der gewohnten einfachen Weise adaptierbar (Figure- und Axis-Properties). Farben, Linien, Linientypen, Wertebereiche der Achsen und vieles mehr können so über die entsprechenden Untermenüs eingestellt werden.

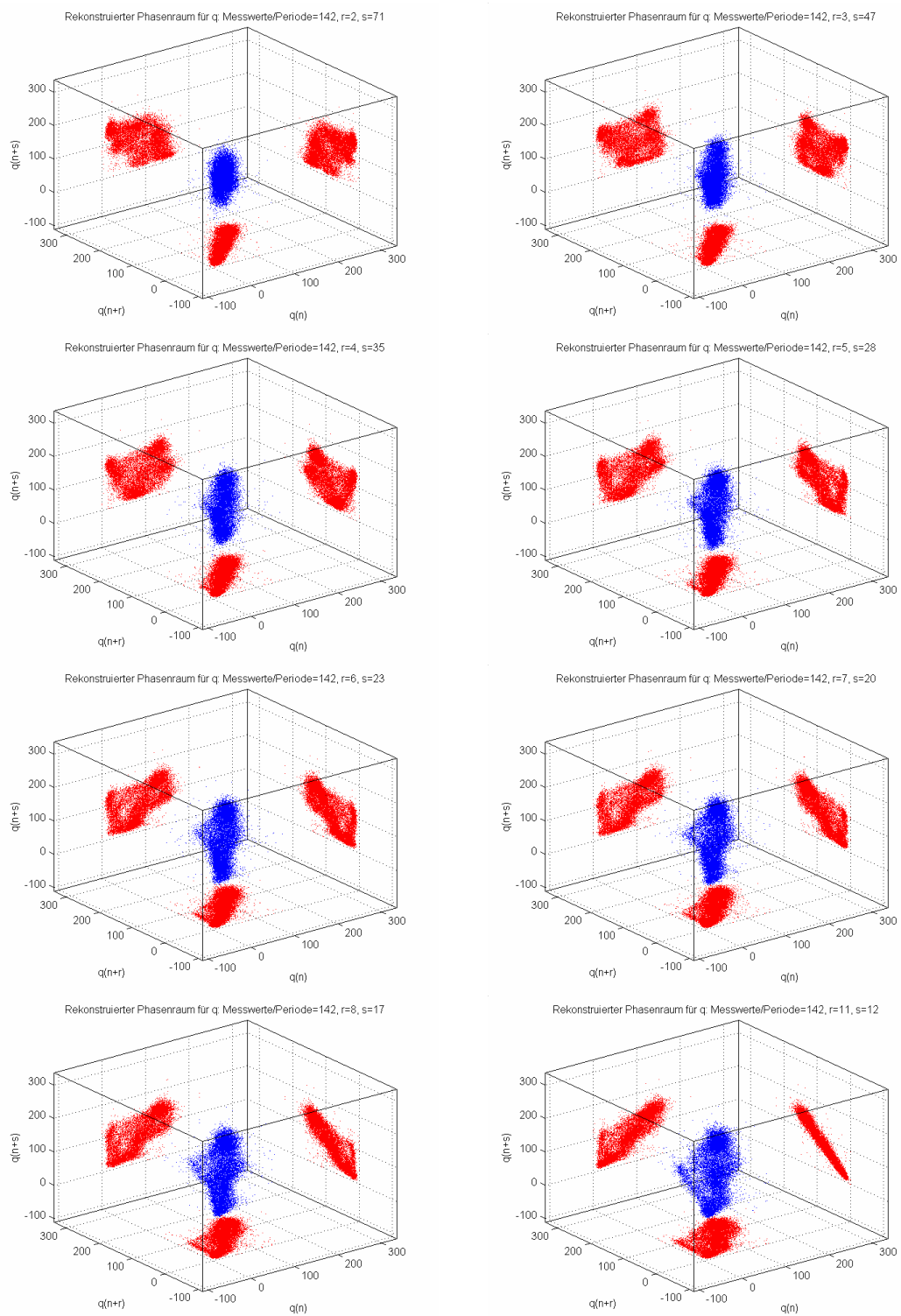


Abbildung 5.19: Rekonstruierte Phasenräume

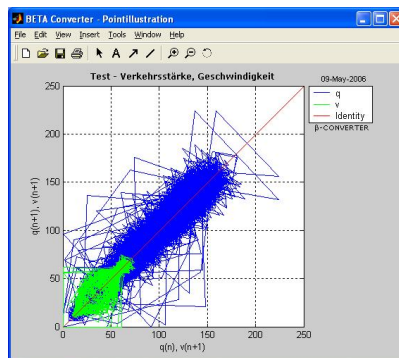


Abbildung 5.20

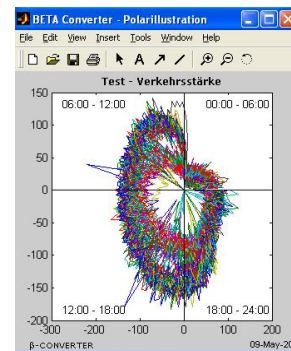


Abbildung 5.21

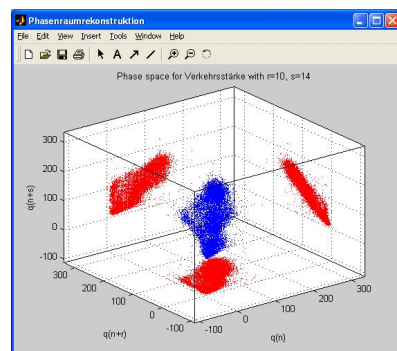


Abbildung 5.22

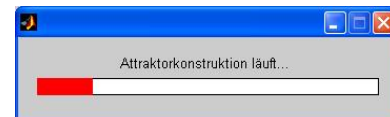


Abbildung 5.23

Ich hatte nach etwa einem Monat in meiner neuen Anstellung das Glück den polnischen Informatiker und Doktorstudenten Seweryn Habdank kennen zu lernen, der eine Fuzzy-Clusterung von 96 dimensional Ganglinien durchführte. Wir hatten sehr interessante Diskussionen über Hochdimensionalität und Clusterbildung. Auf dieser Basis erweitere ich meine Vorstellungen zur Darstellung hochdimensionaler Attraktoren.

Ernst von Glasersfeld schildert eine seiner ersten Simulationstechniken, die er in den frühen 1960ern mit Barton Burns entwickelte:

„Da es damals nur ganz wenige und kaum zugängliche Großrechner gab, realisierten wir unser System auf etwa zehn Quadratmetern Sperrholz an der Wand unseres Büros. Wir simulierten die Grundoperationen des Computers (Lesen, Vergleichen und Schreiben von Symbolen) durch die Bewegung einer Armee von farbigen Reißnägeln. Das war ein unglaublich langsames Verfahren, hatte aber den Vorteil, jede Art von Inkonsistenz und jeden Fehler in dem von uns entwickelten Programm unmittelbar erkennbar zu machen [vGla97].“

Kapitel 6

Formerhaltende Datenselektion: Das ALEV-Verfahren

Ich betone die Tatsache dass ‚Daten‘ nicht Ereignisse oder Objekte sind, sondern stets Berichte, Beschreibungen oder Erinnerungen von Ereignissen oder Objekten. [...] Zudem kommt es immer und unausweichlich zu einer Selektion der Daten, weil nicht das gesamte vergangene und gegenwärtige Universum Untersuchungsgegenstand vom Standpunkt eines beliebigen Beobachters aus ist. Streng genommen sind daher überhaupt keine Daten wirklich ‚nackt‘, und jeder Bericht ist irgendwie durch seine Abfassung und durch Transformation entweder durch einen Menschen oder durch seine Instrumente verändert worden. Dennoch sind aber die Daten die verlässlichste Informationsquelle, und von ihnen muss der Wissenschaftler ausgehen. Sie liefern ihm die erste Inspiration, und zu ihnen muss er später zurück kehren [Bate85].

Gregory Bateson

In diesem Kapitel wird eine neue und von mir konzipierte Methode zur Datenselektion, das so genannte ALEV-Verfahren (Aspekte durch Ljapunow, Entropie und Varianz bzw. Aspects of Lyapunov, Entropy and Variance), vorgestellt. Bevor ich auf den Begriff der Form und dessen Bedeutung für ALEV eingehe soll auf ungelöste Fragestellungen für komplexe Prognosesysteme eingegangen werden.

Nachdem in den letzten Jahren die Datenbestände sehr stark gewachsen sind und immer mehr Punkte zur Beobachtung von sehr großen Systemen definiert wurden, stößt man heute immer häufiger an die Grenzen der rechnerischen Leistung.

Expertensysteme (XPS) und Methoden der Mustererkennung (Pattern Recognition), wie das Kernel-Verfahren, greifen im laufenden Betrieb auf einen Datenbestand (Wissensbasis) zu und suchen darin nach ähnlichen Mustern. Je größer die Datenbank, desto länger die benötigte Zeit.

Trainierbare Modelle (NN) arbeiten im laufenden Betrieb ohne jegliche externe Wissensbasis und müssen auf keinen Datenbestand zugreifen. Der Lernprozess gestaltet sich aber mitunter sehr zeitintensiv. Diese Nachteile können jedoch mit ALEV abgeschwächt werden. Bei NN gibt es das *offline-Lernen* und das *online-Lernen*. Für viele Anwendungen erscheinen sowohl offline als auch online Lernverfahren sinnvoll für den Einsatz, das ist eine notwendige Konsequenz zur Gewährleistung der Prognose- bzw. Klassifikationsgüte.

Beim *online-Lernen* erfolgt eine Anpassung des Netzes nach jedem präsentierten Datenvektor im laufenden Betrieb. Damit das NN qualitativ überhaupt in den laufenden Betrieb genommen werden kann muss es jedoch im Vorfeld mit Daten der bisherigen Beobachtungen konfrontiert werden. Im Betrieb soll es sich dann laufend anpassen und so immer den aktuellsten Wissensstand über das beobachtete System abbilden. Online-Lernen hat aber auch hier Schwächen: Klassisch wird jeder neue Datenvektor für eine Adaption der Gewichte genutzt, es wird nicht unterschieden, ob er für ein gegebenes Problem wichtig ist oder nicht bzw. die Modellgüte verbessert oder nur rechnerischen Ballast darstellt. Mehr noch, im Fall von Verkehrsprognosen gibt es unzählige Muster für den freien Verkehr. Kritische Muster sind nur gering beobachtbar, weil sie sehr selten auftreten. Treten über eine längere Periode nur unkritische Muster auf verändert sich das assoziative Gedächtnis für die Anwendung nicht positiv. Repräsentationen kritischer Muster werden abgeschwächt und im Extremfall sogar *vergessen*.

Beim *offline-Lernen* wird das assoziative Gedächtnis nicht im laufenden Betrieb gebildet, und dafür müssen Daten zusammengestellt werden. Auch hier gilt wie bei XPS und Pattern Recognition: je größer der Datensatz, desto länger das Training. Man kann natürlich alle Beobachtungen blind in das Modell jagen. Dann werden sehr viele unkritische Muster einfließen, die sogar die Abbildung weniger kritischer Muster verzerren können. Der Zeitfaktor ist meines Erachtens nach aber die wirklich kritische Größe, von der es abhängt, ob ein Verfahren, sei es statistisch oder konnektionistisch, in Echtzeit einsetzbar und damit lebensfähig ist. Es sollen Informationen berechnet und zeitgerecht bereitgestellt werden.

Für den Anwender eines Informationssystems gilt: Keine Information – kein Nutzen!

In zahlreichen Diskussionen mit Bernhard Nowotny und Norbert Hainitz wurde das Problem der Wissensbasis bzw. der Trainingsdaten angeschnitten, eine Lösung wurde jedoch lange nicht konkret gefunden. Von Nowotny wurde vorgeschlagen, dass die gesamte Wissensbasis alle zwei Wochen mit allen in dieser Zeit gesammelten Beobachtungen ersetzt werden sollte. Ishak und Alecsandru [IshAle03], zwei Wissenschaftler der US-amerikanischen Louisiana State University, verfolgen einen ähnlichen Ansatz für ein Prognosesystem mit NN und dem Neuro-Fuzzy-Modell CANFIS (Co-Active Neuro-Fuzzy Inference System). Es gibt viele weitere wegweisende Publikationen zum Einsatz von NN in der Verkehrstelematik (z.B. [IshAl-De02], [KwCoBi00], [SmWiOs02], [ParRil98], [SmWiOs02], [RilPar99], [AbPoRe99], [LiHoZu02], [FuRil00], [PaRiHa99], [VDVDoWa96], [Yas99], [Zha00], [ZhRiLo00] und [DuHaSt01]). Sie alle untersuchen die Performance verschiedener NN-Architekturen und vergleichen sie untereinander bzw. mit statischen Verfahren. Der Tenor ist ziemlich einheitlich: NN haben eine starke Position in der Klassifikation und Prognose. Sie können mit anderen Verfahren konkurrieren und liefern fallweise sogar die besseren Ergebnisse.

Alle diese Vergleiche basieren jedoch auf sehr dünnen Datenbeständen (wenige Tage bis Wochen). Für Analysen werden lediglich wenige Beobachtungspunkte eines gesamten Systems herangezogen. Früher war das bedingt durch hohe Kosten und den pionierhaften Einzug von Prognoseverfahren in den Verkehrsbereich. Die Idee, dieses System zu beobachten, gibt es zwar schon lange, die Sensorik wurde jedoch erst in den letzten Jahren kostengünstiger und damit großflächig einsetzbar. Vielerorts fand ein Umdenken statt, es bildete sich ein Bewusstsein in der Öffentlichkeit und der Politik, dass die Straßenkapazitäten an ihre Grenzen stoßen und der volkswirtschaftliche und ökologische Schaden durch schlechte Verkehrsflüsse immer weiter steigt. Vor Jahrzehnten führte man manuell Verkehrszählungen durch, heute montiert man einen Sensor mit drahtloser Datenübertragung an die Verkehrsleitzentrale. Inwieweit NN zur Prognose in anderen Ländern in VMI bereits integriert sind, ist ungewiss. Die historischen Datenbestände wachsen heute sehr schnell an. Es herrscht ein Bedarf an effektiven Selektionsverfahren, die schlanke Datenbestände extrahieren, um NN kürzer trainieren zu können und für XPS kürzere Suchzeiten zu gewährleisten.

Die Methode, lediglich eine jeweils kürzlich vergangene Zeitspanne zu wählen, ist meiner Meinung nach ein sehr pragmatischer Zugang. Wenn in diesen Wochen kein einziges kritisches Muster enthalten ist wird jedes Modell sehr gute Prognosen liefern, denn es gibt auch wirklich *nichts interessantes* zu prognostizieren außer dem

freien Verkehr. Sehr verallgemeinert betrachtet sind es nur konstante Werte mit einer statistischen Streuung, an die sich jedes Modell in seiner Performance annähern wird!

Hainitz und ich vertraten die Ansicht, dass kritische Muster auf jeden Fall erhalten bleiben und der Rest durch unkritische Muster aufgefüllt werden sollte. Ein Vorschlag von Hainitz war, dass man die Daten der letzten beiden Monate in *gestaut* und *frei* unterteilt. Die Einteilung in gestaut und frei definierte er, indem er jeden Vektor, der ein Element mit Wert $<50\text{km/h}$ enthält als gestaut einstuft.

Ich finde, dass man hier weitaus feinfühlicher vorgehen muss, da man ansonsten Gefahr läuft sich in Schwarz-Weiß-Malerei zu verlieren (wo es doch so viele Grautöne gibt). Wie kann man Stabilität quantitativ beschreiben, und wie kann man sie für ein Modell in kodierter Form abbilden?

6.1 Aspekte der Stabilität

Indikatoren und Kenngrößen sind zur Beschreibung von Systemen unverzichtbar. Mit jeder Theorie verbreitert sich das Spektrum möglicher Betrachtungs- und Beschreibungswinkel (Abbildung 7.1).

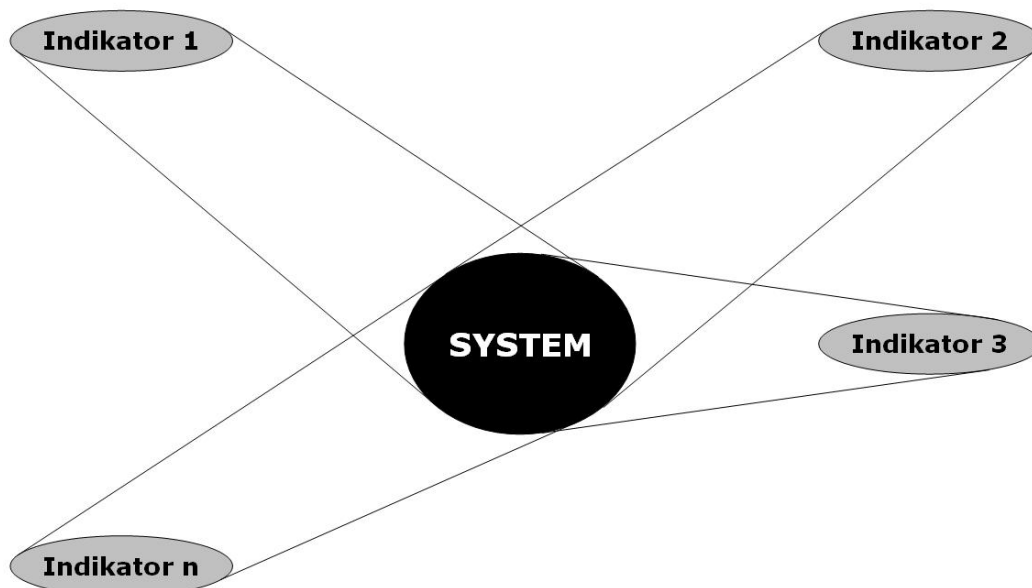


Abbildung 6.1: Aspekte verschiedener Indikatoren bei der Beschreibung eines Systems

6.1.1 EL-Matrix

Im Kapitel 5 wurden die Zugänge von *Shannon* und *Ljapunow* vorgestellt. Beide Indikatoren, die Shannon-Entropie S und der gemittelte Ljapunow-Exponent $MLLE$, gehen auf die Phänomene *Ordnung* bzw. *Unordnung* und *Stabilität* bzw. *Instabilität* ein. Je höher die Entropie, desto höher die Unordnung bzw. der Informationsgehalt eines Signals. Ein positiver MLE bedeutet Instabilität, ein negativer bedeutet Stabilität. Die Höhe des Wertes steht für die Intensität der Stabilität bzw. Instabilität.

Aus einer Zeitreihe v_t werden die Sequenzvektoren \mathbf{v}_1 bis \mathbf{v}_n extrahiert. Jede Sequenz kann nun durch die Entropie E bzw. den $MLLE$ L beschrieben werden:

$$E_i = S(\mathbf{v}_i, n_{\text{Räume}}) \quad \text{für } i = 1..n \quad (6.1)$$

$$L_i = MLLE(\mathbf{v}_i) \quad \text{für } i = 1..n \quad (6.2)$$

Vergleiche hierzu die Gleichungen (4.1) und (4.15) bzw. die Funktionen `entropy.m` und `Ljapunows`. Für die Entropie (6.2) muss außerdem die Anzahl der Unterräume $n_{\text{Räume}}$ angegeben werden.

Die beiden Aspekte E und L lassen sich nun in einer Matrix EL vereinen, und zwar, indem man eine Klasseneinteilung vornimmt, und die Anzahl n der Vektoren aufsummiert, die in die jeweilige Klasse fallen. Ein guter Ansatz für die Klassenanzahl für E und L ist die Anzahl der Unterräume $n_{\text{Räume}}$, die bereits bei der Berechnung von L erforderlich war. Ein jeder Vektor fällt nun in eine gepaarte Klasse von E und L .

Die Größe der Matrix EL ist somit $(n_{\text{Räume}}, n_{\text{Räume}})$. Die Daten sollen visuell dargestellt werden, um die jeweilige Charakteristik des Beobachtungspunktes intuitiv ergründen zu können. Sehr große Datenmengen werden so überschaubar.

Zur Verdeutlichung dieses Zuganges wurden Geschwindigkeitsdaten einer Section des österreichischen Autobahnnetzes herangezogen (Abbildung 6.2). Die Sequenzvektoren waren 15-dimensional. Auf der Abszisse sind die Ergebnisse von S , auf der Ordinate die Ergebnisse von MLE und auf der z-Achse die jeweils in der zugehörigen Klasse befindlichen Mitglieder n aufgetragen. Die EL -Matrix ist durch einen Oberflächenplot (`surf.m`) dargestellt. Es gibt eine Vielzahl an Sequenzen für geringe Werte von E und für L um 0, vielleicht sogar zyklisches Verhalten (rote Markierung).

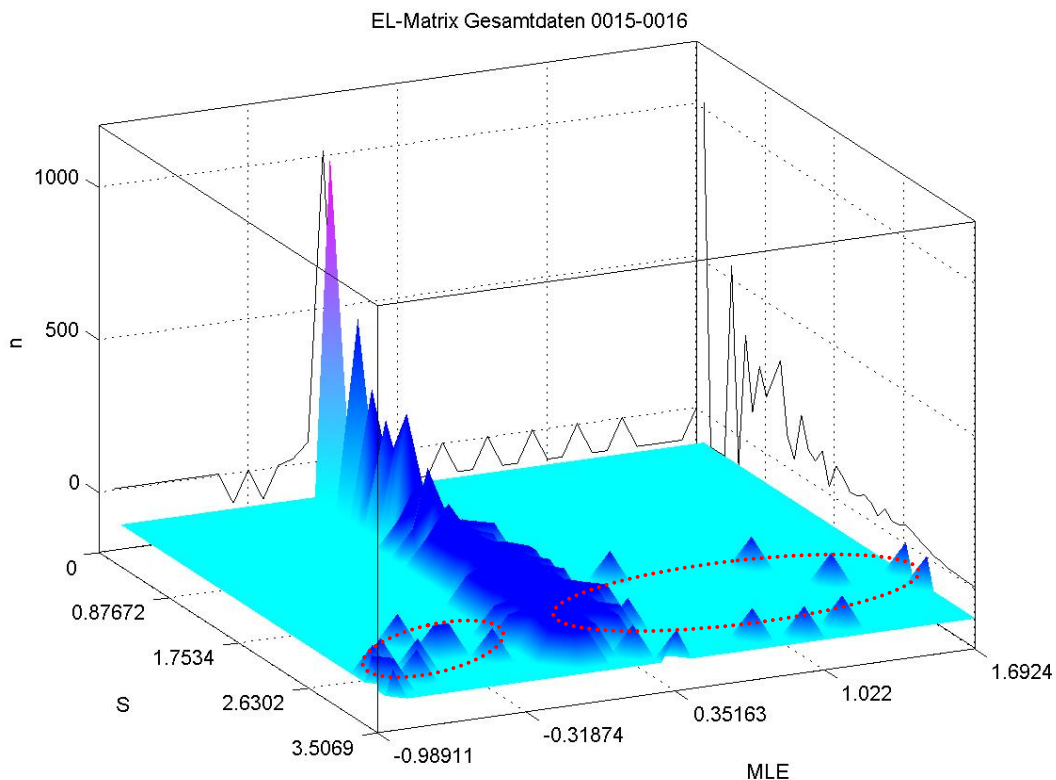
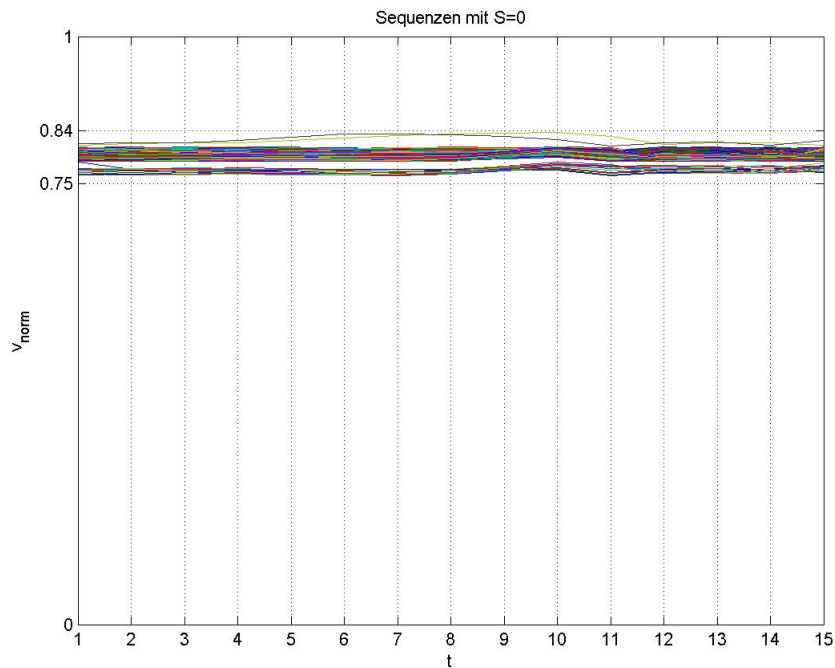
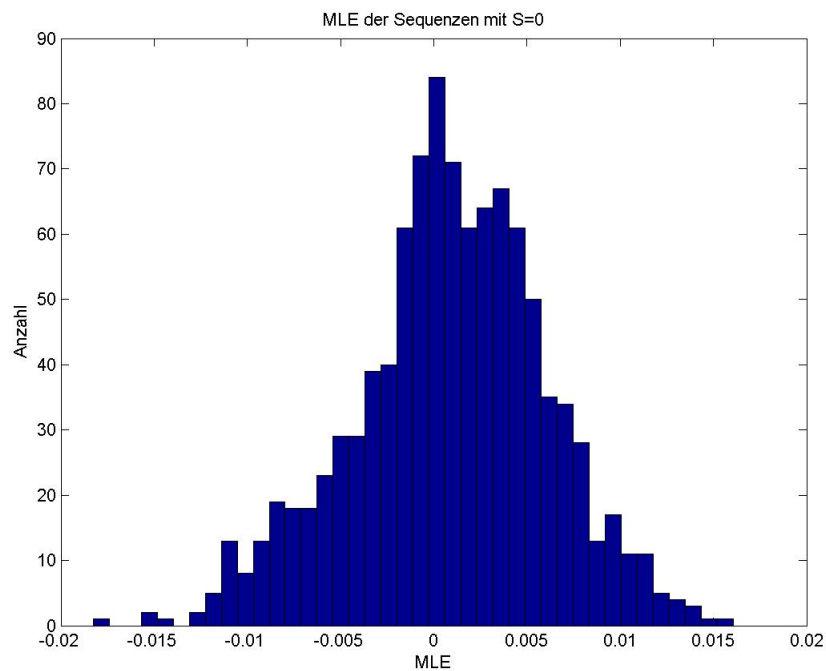


Abbildung 6.2: EL-Matrix eines Beobachtungspunktes

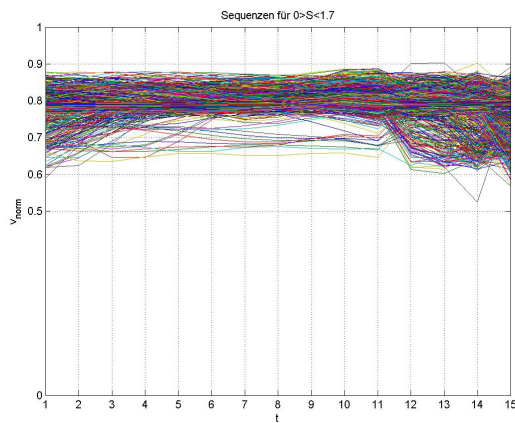
Mit steigendem E beginnt L zu streuen und die Sequenzen, die in diesen Bereich fallen sind im Datensatz von zwei Monaten (5934 Sequenzvektoren) sehr gering enthalten. Hierbei handelt es sich also um Muster, die einen höheren Informationsgehalt besitzen und im Sinne von Ljapunow instabiler oder stabiler als der große Rest der Muster sind. Es sind so wenige in den Daten vorhanden, dass eine Adaption der EL-Matrix erfolgte, um sie überhaupt im Vergleich zu den anderen Mustern darstellen zu können. Klassen der EL, die keine Sequenz enthalten ($n=0$) wurden mit negativen Werten befüllt, wodurch die Ebene (cyan) leerer Klassen tiefer gesetzt wurde. In den Ebenen $E-n$ und $L-n$ wurden noch die Konturen der Schattenwürfe geplottet, damit die Werte von E und L besser herausgelesen werden können. Wenn man die Klassen mit $E=0$ näher in Augenschein nimmt (Abbildung 7.3) sieht man, dass es sich um Sequenzen handelt, die aus annähernd konstanten Werten bestehen. 1014 Sequenzvektoren (17.09%) repräsentieren dieses übergeordnete Muster des freien Verkehrs mit hohen genormten Geschwindigkeiten ($v_{norm}=0.75$ bis 0.84).

In Abbildung 6.4 ist die Verteilung der zugehörigen mittleren lokalen Ljapunow-Exponenten dargestellt. Alle befinden sich zwischen -0.02 und 0.02.

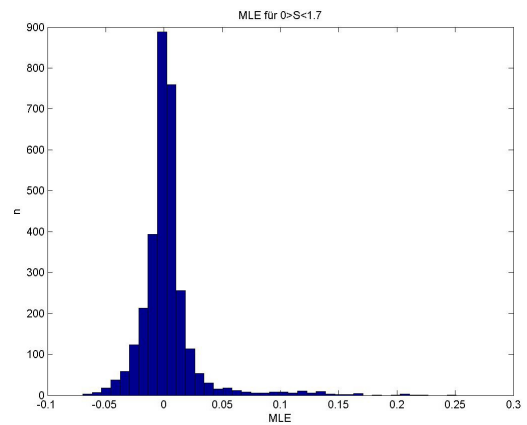
Abbildung 6.3: Sequenzvektoren mit $E=0$ Abbildung 6.4: Histogramm der MLE für Sequenzvektoren mit $E=0$

Wie sehen die Sequenzvektoren für andere Bereiche von E und L aus? In Abbildung 6.5 ist eine Auswahl davon abgebildet. Man sieht, dass man auf der Basis von Entropie und MLLE nicht so einfach die Daten separieren kann, denn ein MLLE gering um 0 ist für steigendes E lange dominant vertreten. Für MLLE größer 0.3 und

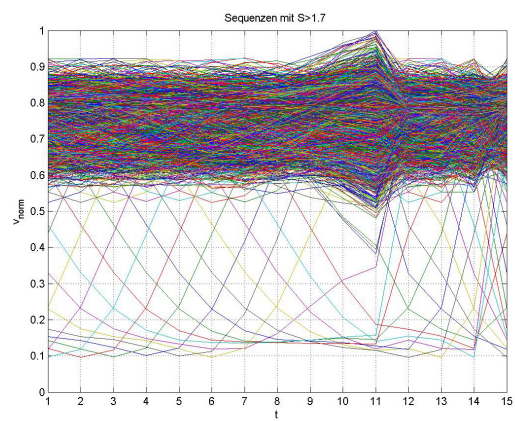
kleiner -0.3 (Abbildung 6.5 e und f) sind sehr wenige Vektoren vertreten. Es sind Muster von kritischen Übergängen von gestaut zu frei und umgekehrt. Sie sind es, die in der Datenbasis enthalten sein sollen und erhalten bleiben müssen!



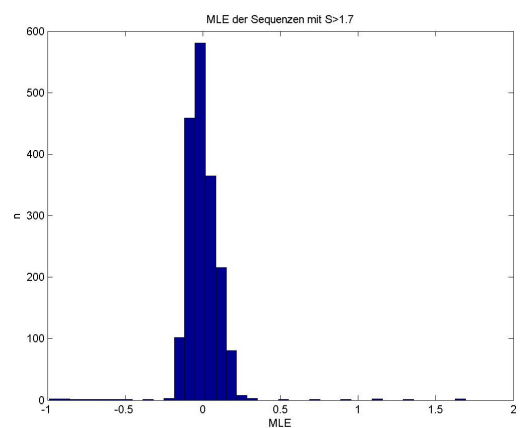
a. Sequenzvektoren mit $0 < E < 1.7$



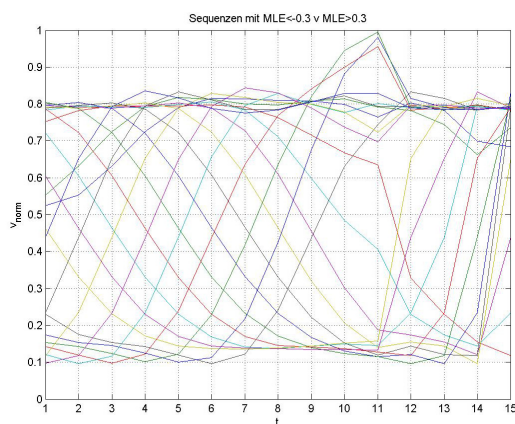
b. MLE für $0 < E < 1.7$



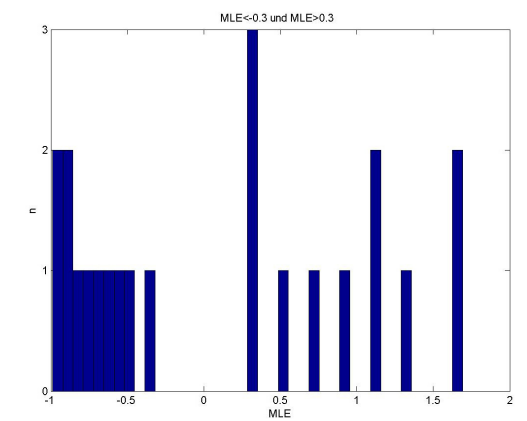
c. Sequenzvektoren mit $E > 1.7$



d. MLE für $E > 1.7$



e. Sequenzvektoren mit $L < -0.3$ und $L > 0.3$



f. $L < -0.3$ und $L > 0.3$

Abbildung 6.5: Isolierte Sequenzen für verschiedene Bereiche von E und L

6.1.2 VE-Matrix

L und E sind zwei Aspekte zur Beschreibung von Stabilität. Es hat sich aber in Abbildung 6.5 a und c herausgestellt, dass die isolierten Vektoren mitunter sehr stark streuen können. Ein weiterer Aspekt erscheint untersuchenswert. Es handelt sich um die statistische Größe Varianz. Sie ist ein Maß für die Streuung um den Mittelwert der d Vektorelemente und definiert sich wie folgt:

$$VAR(x) = \frac{1}{d(d-1)} \left(d \cdot \sum_{i=1}^d x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^d x_i \right)^2 \right) \quad (6.3)$$

Analog zu den Gleichungen 6.1 und 6.2 kann die Varianz V für einen Sequenzvektor berechnet werden:

$$V_i = VAR(\mathbf{v}_i) \quad \text{für } i = 1..n \quad (6.4)$$

Will man nun die Zusammenhänge von Entropie E und Varianz V visuell untersuchen, so kann man analog zur EL-Matrix vorgehen. Man klassifiziert die Sequenzen (Größe $EV=(n_{Räume}, n_{Räume})$) und zählt die Elemente je Klasse. Abbildung 6.6 zeigt die so erstellte EV-Matrix.

Man erkennt, dass die Varianz mit zunehmender Entropie ansteigt. Ebenso gibt es einen Bereich (rot) mit hoher Entropie (etwa $E > 2.6$ Sh) und mittelgroßer Varianz (etwa $0.03 < V < 0.06$), in dem keine Muster enthalten sind. Im Bereich mit etwa $V > 0.06$ und $E > 2.6$ sind wieder mehr Muster enthalten. Es ist durchaus denkbar, dass bei weiterer Beobachtung Sequenzen auftreten, die leere Bereiche der VE-Matrix füllen. Andererseits ist es auch denkbar, dass sich manche Bereiche nie füllen werden. Je länger die Beobachtung, desto mehr kristallisiert sich eine *Form* in der Abbildung heraus. Dieses Bild in der Visualisierung der Matrix sagt uns etwas über die Charakteristik des Beobachtungspunktes. Es gibt Bereiche der Attraktion, die letztendlich eine Form hervorbringen, die charakteristisch und vom Menschen interpretierbar ist.

Der Bereich mit sehr niedriger Varianz ($V < 0.001$) ist wiederum charakteristisch für etwa 4163 (70.16%) der Sequenzen. Es gibt etwa 1000 (16.85%) sehr stabile Sequenzen, für die $E=0$ ist.

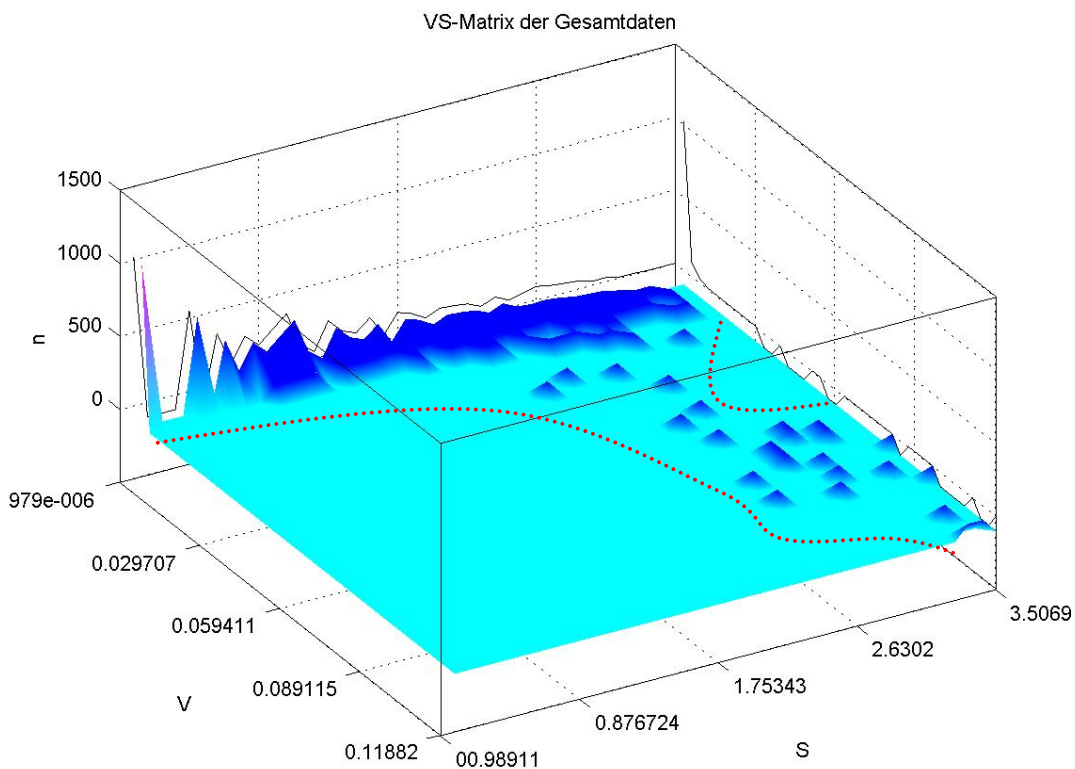


Abbildung 6.6: VE-Matrix eines Beobachtungspunktes

6.1.3 VL-Matrix

Wir betrachten die zeitlichen Verläufe von Messwerten eines Systems mit drei Aspekten. Die EL-Matrix und die VE-Matrix stellen zwei Relationen dieser Aspekte her. Wenn man nun Varianz V und Ljapunow-Exponent L in der VL-Matrix zueinander in Relation stellt, erhält man eine weitere interessante Form (Abbildung 6.7).

Mit etwa 4000 Sequenzen (67.4%) liegt der Großteil der Daten bei $V=0$ und $-0.3 < L$ bzw. $L > 0.3$. Man kann in die anderen Bereiche zwei Zyklen (schwarz) interpretieren. Es könnte sich aber auch um nur einen Zyklus handeln (rot).

Wozu dienen die EL-, VE- und VL-Matrizen? In ihrer Visualisierung sind sie ein Werkzeug zur Bildung einer Systemerkennntnis. Mehr noch, auf diesem Konzept wird später im Kapitel der Algorithmus des ALEV-Verfahrens vorgestellt. Mit seiner Hilfe sollen große Datenbestände auf für die Modellierung relevante Gesichtspunkte untersucht werden. Die Balance aus jeglicher Art von stabilen und instabilen Bereichen muss gewährleistet werden, der Charakter der Attraktion soll mit so wenig Daten wie möglich erhalten bleiben und in der Selektion repräsentiert werden.

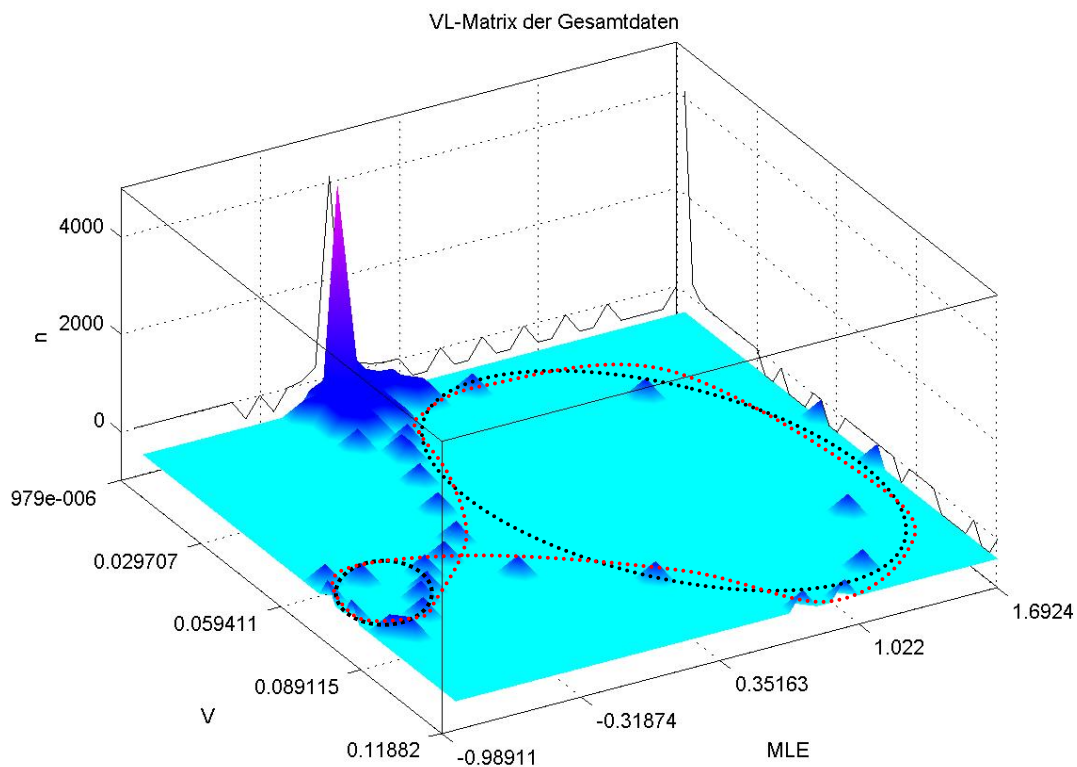


Abbildung 7.6: VL-Matrix eines Beobachtungspunktes

6.2 Erwartete Repräsentation und Modelltest

Im Punkt 6.1 wurden die gesamten Daten eines Beobachtungspunktes von zwei Monaten untersucht. Die letzten beiden Wochen sollen als Validierungs- bzw. Testdaten genutzt werden, die Zeit davor soll für das Modelltraining bereitgestellt werden. Eine Frage zu Beginn: Wie decken sich die Trainings- und Testcharakteristiken ab?

Um dieser Frage auf den Grund zu gehen wurden Aspekte von Ljapunow, Entropie und Varianz für beide Datensätze in jeweils einer Darstellung vereint (Abbildungen 6.8 bis 6.10). Die blaue Form repräsentiert alle Trainingsdaten und die rote Form alle Testdaten. Generell decken sich die jeweiligen Formen ab, Diskrepanzen treten in der VL-Matrix (Abbildung 6.9 – rote Markierung) auf. Hier gibt es einen Bereich, in dem Muster liegen, die nicht durch die Trainingsdaten repräsentiert werden. Eine logische Schlussfolgerung ist: Je geringer die Deckungsgleichheit beider Flächen, desto geringer die gegenseitige Repräsentation und umso schlechter die Qualität des Modells!

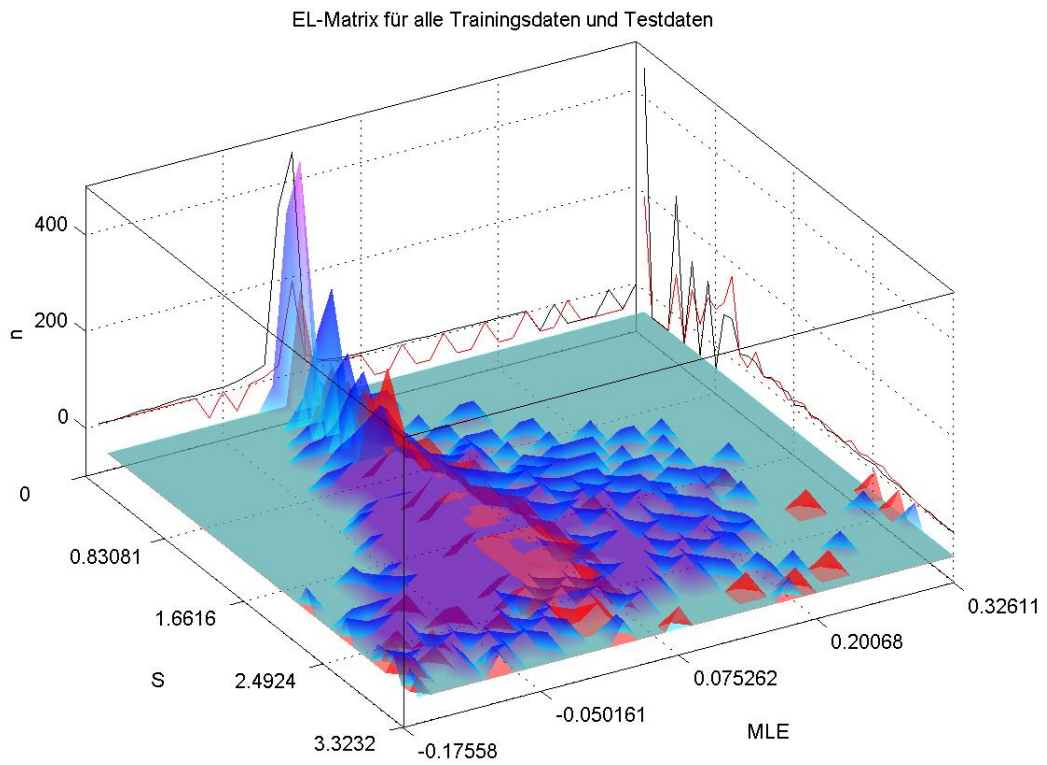


Abbildung 6.8: EL-Matrix für alle Trainingsdaten und Testdaten

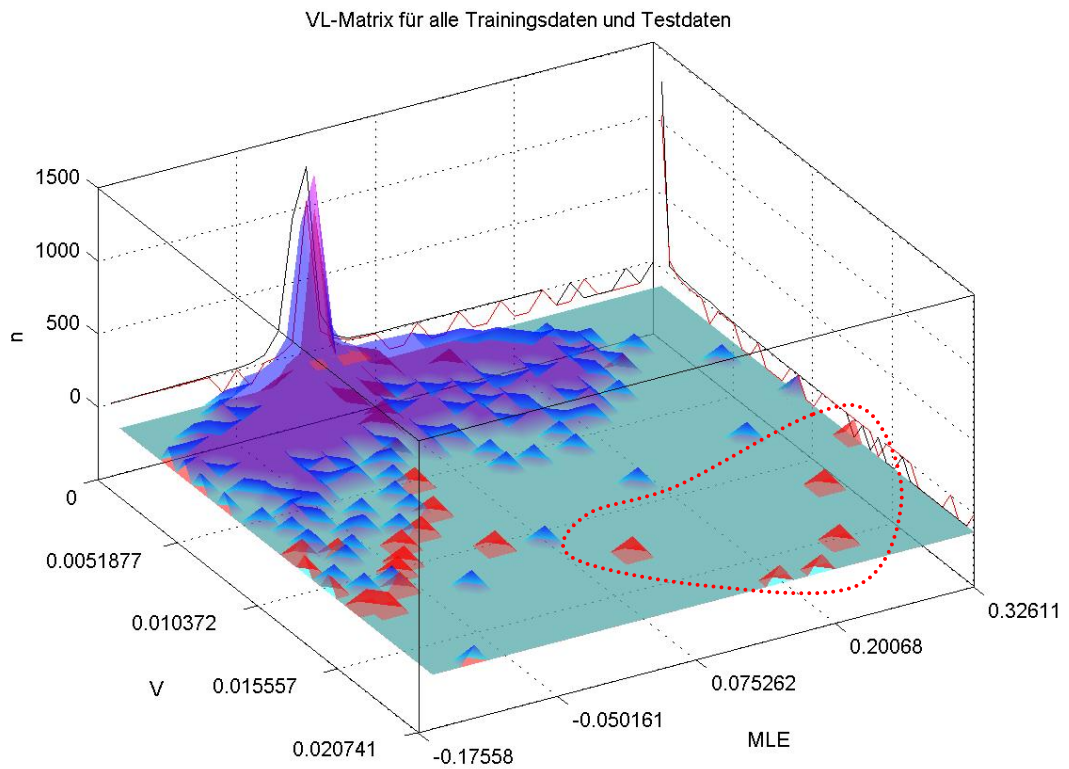


Abbildung 6.9: VL-Matrix für alle Trainingsdaten und Testdaten

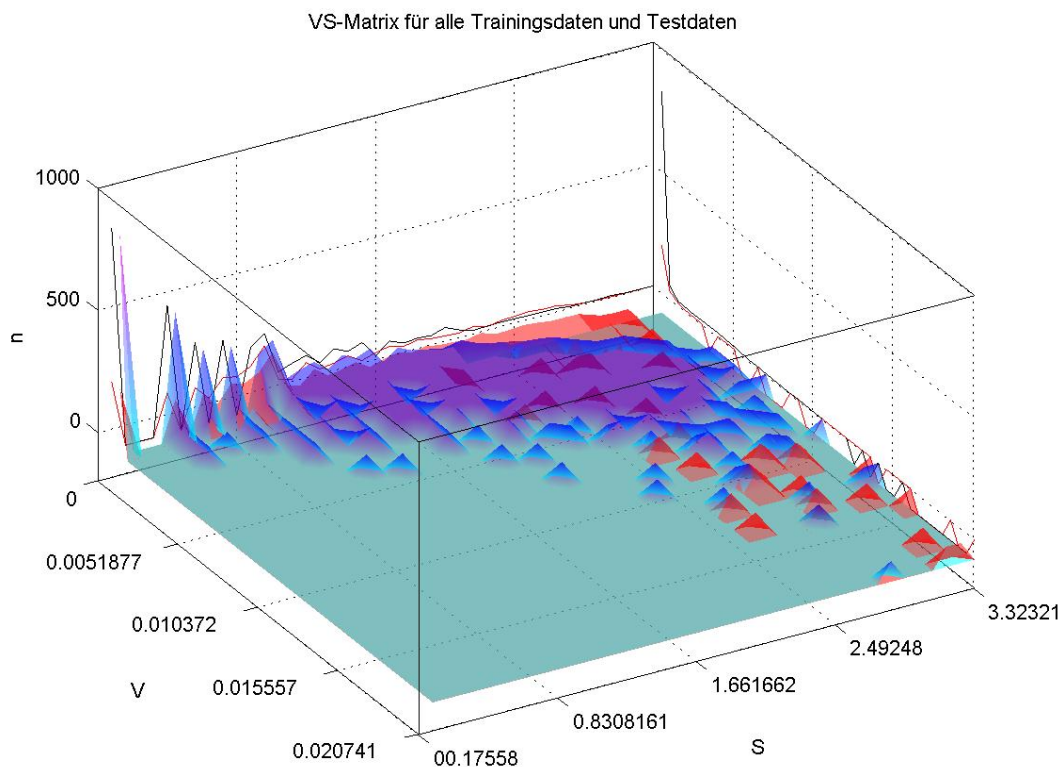


Abbildung 6.10: VE-Matrix für alle Trainingsdaten und Testdaten

6.3 Datenselektion mit dem ALEV-Algorithmus

Mit dem ALEV-Algorithmus werden überrepräsentierte Bereiche ausgedünnt, ohne dass dabei die grundlegende Generalisierungsperformance eines Prognoseverfahrens signifikant abnimmt. Unter Generalisierung versteht man die Verallgemeinerung eines Modells auf Daten, die weder in der Wissensbasis (XPS) noch in den Trainingsdaten (NN) vorhanden sind. Im Echtzeitbetrieb erfolgt daher immer eine Interpretation neuer Daten bzw. unbekannter Inputs.

In der Kybernetik vertritt *Humberto Maturana* folgende Position, die sich auf das Konzept der Formüberlagerung von Trainings- und Testdaten bestätigen lässt:

„Ein lebendes System ist aufgrund seiner zirkulären Organisation ein induktives System und funktioniert vorhersagend: was einmal geschehen wird sich wieder ereignen. Seine Organisation (die genetische wie die sonstige) ist konservativ und wiederholt nur das, was funktioniert [Matu70].“

Was sich in der Vergangenheit ereignet hat, wird sich auch in der Zukunft zumindest ähnlich wiederholen. Jede Information und Erfahrung trägt zur Erfindung und

Ableitung von (Natur-)Gesetzen bei. Das ALEV-Verfahren ist formkonservativ, das geltende Prinzip ist die *Erhaltung der Form*, wie ich sie in den EL-, VE- und VL-Matrizen für einen ersten visuellen Analyseprozess dargestellt habe. Der Grund für mein Vorgehen und meinen Zugang wird durch folgendes Zitat von Gregory Bateson untermauert:

Die Gesetze der Erhaltung von Materie und Energie betreffen eher Substanz als Form. Aber geistige Prozesse, Ideen, Kommunikation, Organisation, Differenzierung, Muster und so weiter haben eher mit Form als mit Substanz zu tun. Innerhalb des Fundus von Grundlagen wurde die Hälfte, die sich auf Form bezieht, in den letzten 30 Jahren dramatisch angereichert durch die Entdeckung der Kybernetik und der Systemtheorie [Bate85].

Die Wichtigkeit von effektiven Visualisierungstechniken zur Interpretation von Rohdaten aber auch den Ergebnissen aus Data-Mining Algorithmen ist unbestritten. Nicht umsonst gewann der Begriff des Visuellen Data Minings (VDM) in den letzten Jahren zunehmend an Bekanntheit (vgl. z.B. [Kei02b]). In meiner Definition von Neuronalem Data Mining (NDM) in Kapitel 3 verringern sich die Barrieren zwischen Künstlichen Neuronalen Netzen (KNN) und Biologischen Neuronalen Netzen (BNN). Systeme werden durch den Menschen beschrieben und durch die Maschine abgebildet, und es gibt unzweifelhaft Schnittstellenverluste.

Mit ALEV werden überrepräsentierte Systemdynamiken in Trainingsdaten und Wissensbasen reduziert. Je nach Aspekt können dies im Fall unseres Beobachtungspunktes wenige hundert bis mehrere tausend sein. Durch die Einführung eines Schwellwertes $n_{Schwelle}$ wird jede in diesem Sinne überrepräsentierte Klasse von L , E und V begrenzt. Liegt die Anzahl an repräsentierten Sequenzen über dem Schwellwert, so werden zufällig Sequenzen dieser Klasse aus der Gesamtheit entnommen und in den repräsentativen, formkonservativen Selektionsdatensatz übernommen. Alle jene Klassen, die weniger Mitglieder als den Schwellwert haben, werden 1:1 übernommen. Die Funktion `alev.m` ist aufgrund des Recht von geistigem Eigentum nicht in dieser Arbeit als Sourcecode verfügbar.

Die visuellen Ergebnisse der ALEV-Selektion sind nun am Beispiel unseres Beobachtungspunktes dargestellt (Abbildungen 6.11 bis 6.13). Wie man im Vergleich zu den Abbildungen 6.2, 6.6 und 6.7 erkennen kann, bleibt die Form erhalten. Insgesamt wurden die gesamten Daten um 87,75% von 5934 auf 727 Sequenzvektoren reduziert. Eine beachtliche Datenersparnis bei gleicher Charakteristik.

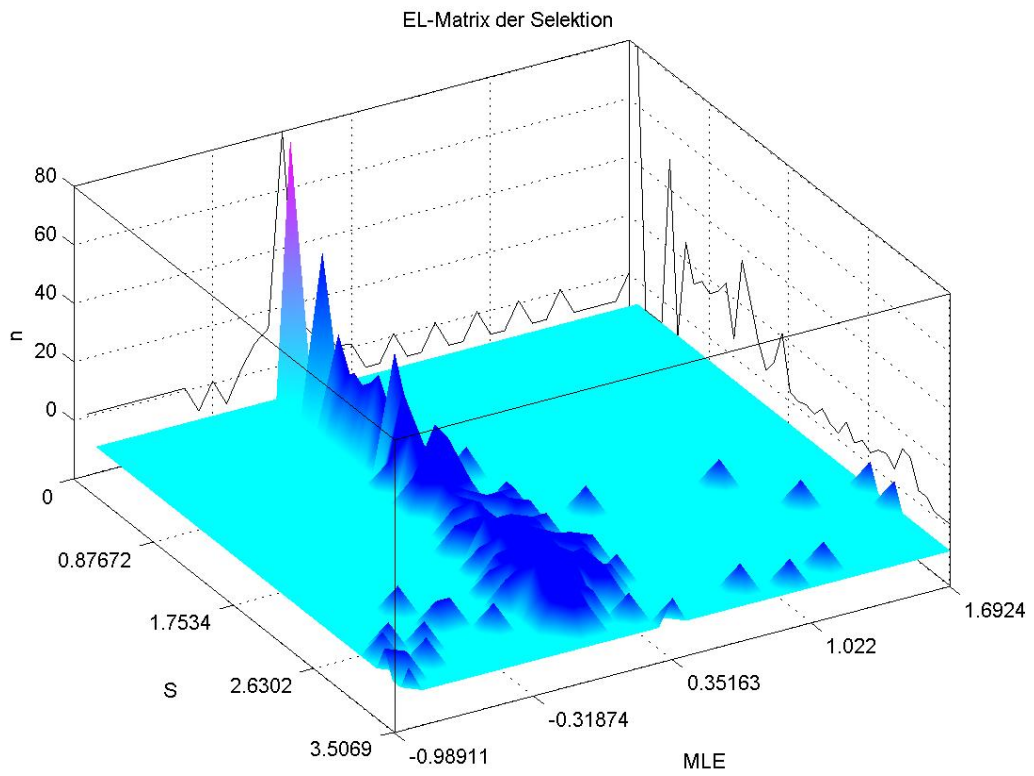


Abbildung 6.11: EL-Matrix der Selektion eines Beobachtungspunktes

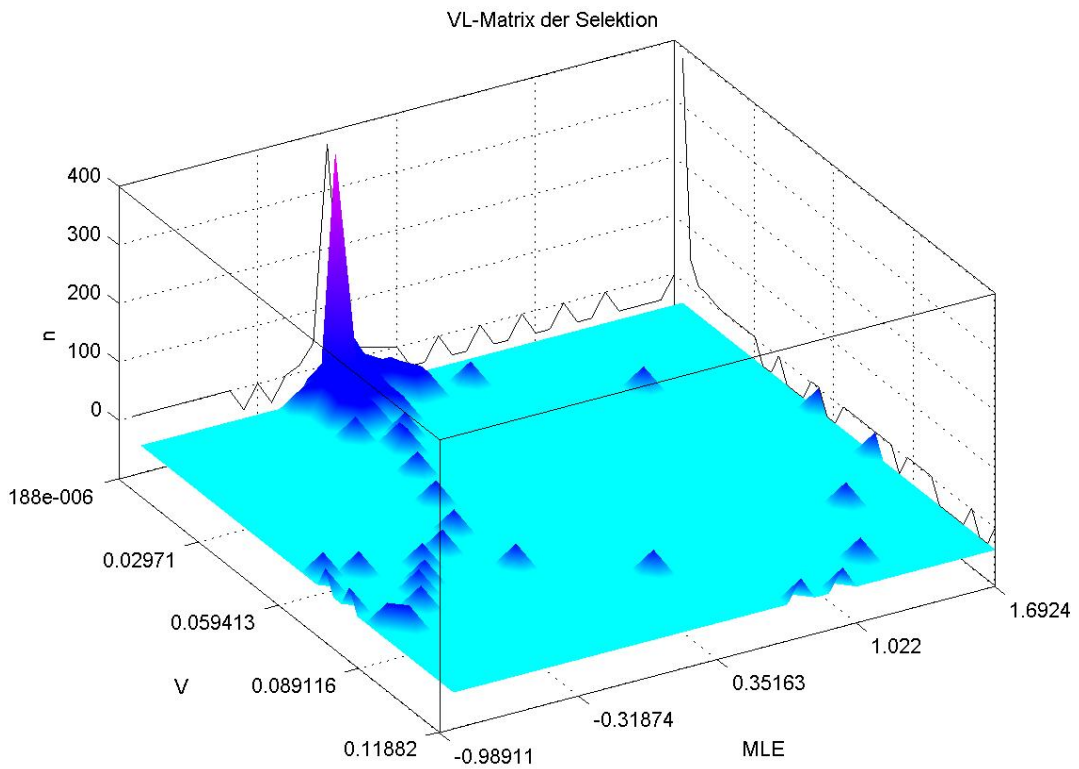


Abbildung 6.12: VL-Matrix der Selektion eines Beobachtungspunktes

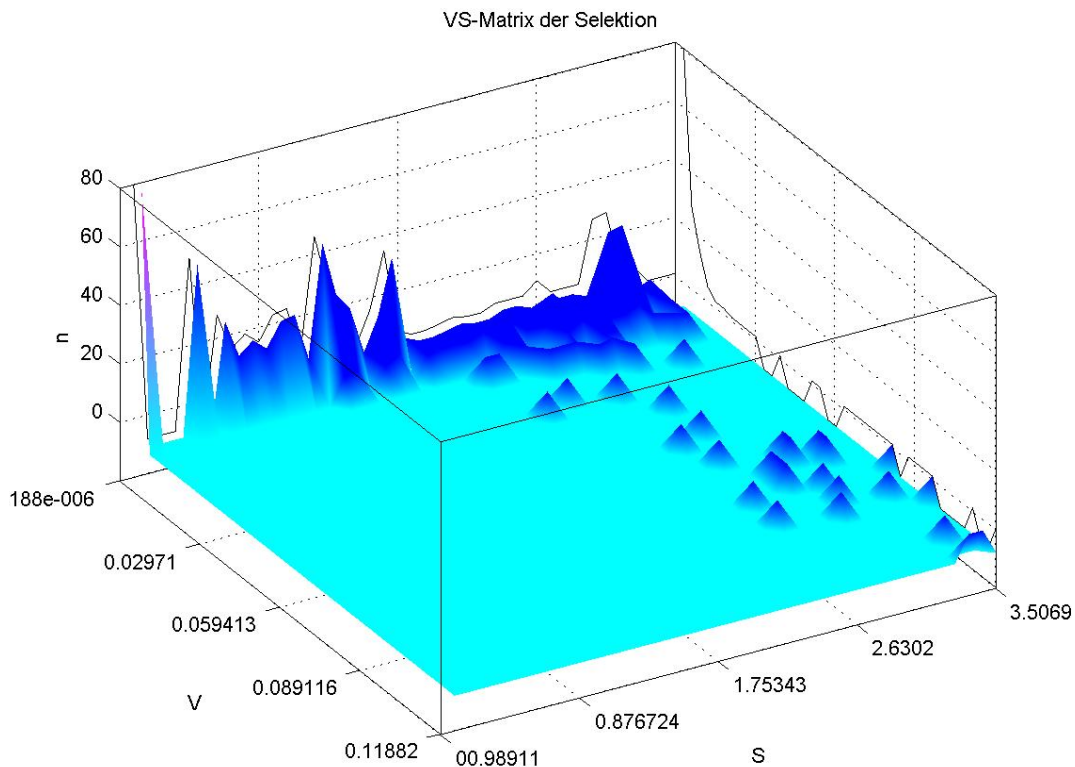


Abbildung 6.13: VE-Matrix der Selektion eines Beobachtungspunktes

6.4 Beweis gleich bleibender Generalisierungsgüte

Um die vermutete Sicherung der Generalisierungsgüte zu beweisen wurde ein NN genetisch mit den gesamten Trainingsdaten des Beobachtungspunktes (Beobachtungspunkt 1) optimiert. Bei dem Modell handelt es sich um ein MLP mit 11 Inputneuronen, 27 und 9 Neuronen in den verdeckten Schichten und 4 Neuronen in der Ausgabeschicht. Trainiert wurde es mit der Momentum Regel. Ein zweiter Beobachtungspunkt (Beobachtungspunkt 2) wurde mit einem genetisch optimierten MLP mit 11 Inputneuronen, 6 bzw. 13 verdeckten Neuronen und 4 Ausgabeneuronen abgebildet und ebenfalls simuliert, um das ALEV-Verfahren abzusichern. Dabei wurden folgende Performanceindikatoren zur Bewertung herangezogen.

6.4.1 Mittlerer Quadratischer Fehler (MSE)

Der Mittlere Quadratische Fehler MSE (Mean Square Error) ist folgend definiert:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{i,Soll} - x_{i,Ist})^2 \quad (6.5)$$

6.4.2 Korrelationskoeffizient r

Der Korrelationskoeffizient r ist ein Maß für die Beziehung zweier Größen zueinander.

$$r = \frac{COV(x_{Soll}, x_{Ist})}{\sqrt{VAR(x_{Soll})} \cdot \sqrt{VAR(x_{Ist})}} \quad (6.6)$$

mit $-1 < r < 1$ und

$$COV(x_{Soll}, x_{Ist}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{i,Soll} - MEAN(x_{Soll})) \cdot (x_{i,Ist} - MEAN(x_{Ist})) \quad (6.7)$$

6.4.3 Relativer Fehler (RE)

Der relative Fehler ist folgend definiert:

$$RE = \frac{|x_{Soll} - x_{Ist}|}{x_{Soll}} \quad (6.8)$$

6.4.4 Akaikes Informationskriterium (AIC)

Das Informationskriterium von *Akaike*³⁷ (engl. Akaike's Information Criterion, AIC) wird zur Wahl eines Modells bzw. in der Ökonometrie benutzt. Es berücksichtigt sowohl die Anpassungsgüte eines Modells an die vorliegenden Daten als auch die Modellkomplexität anhand der verwendeten Anzahl an Parametern. Dabei werden schlanke Modelle eher bevorzugt als Modelle mit vielen Parametern. Es wird jenes Modell bevorzugt, welches das niedrigste Informationskriterium besitzt. Das AIC definiert sich in NeuroSolutions zu

$$AIC = n \cdot \ln(MSE) + 2 \cdot k, \quad (6.9)$$

wobei n die Anzahl der Trainingsdatensätze und k die Anzahl an Verbindungsgewichten darstellen.

Je geringer das AIC bzw. die nun definierte minimale Beschreibungslänge MDL, desto optimaler das Modell.

³⁷ http://de.wikipedia.org/wiki/Akaike_Information_Criterion - gelesen am 23.2.2007

6.4.5 Minimale Beschreibungslänge (MDL)

Das nach dem englischen mittelalterlichen Philosophen *Wilhelm von Ockham*³⁸ (1285 – 1349) benannte Prinzip *Ockhams Rasiermesser* besagt, dass man die einfachste Theorie, die einen Sachverhalt beschreibt, wählen soll. Die Idee selbst reicht wahrscheinlich schon bis zu Aristoteles zurück.

Umgemünzt auf die Performance von Prognosemodellen bedeutet das, dass jenes Modell zu bevorzugen ist, das eine gegebene Datenmenge am besten verdichtet. Im Prinzip kann jede Regelmäßigkeit, die in den Daten gefunden wird für die Verdichtung ausgenutzt werden. NeuroSolutions berechnet die MDL mittels

$$MDL = n \cdot \ln(MSE) + \frac{1}{2} k \cdot \ln(n). \quad (6.10)$$

6.4.6 Cycles to Overfit

Overfitting ist ein Phänomen, dass ab dem Punkt auftritt, an dem die Generalisierungsleistung eines NN im Lernprozess wieder abnimmt. Zu Beginn fallen Trainings- und Validierungsfehler. Wenn ein Modell beginnt sich auf die Trainingsdaten zu versteifen, quasi präsentierte Muster auswendig zu lernen und nicht mehr verallgemeinern kann, tritt *Overfitting* auf. Aus diesem Grund sollte ein Trainingsprozess terminiert werden, um das optimalste trainierte Netz zu erhalten. Eine gängige Methode, die z.B. auch von [IshAle03] verwendet wurde, ist die Terminierung des Lernprozesses. Falls sich in den jeweils letzten 50 Lernzyklen der Fehler für Crossvalidation (CV) nicht verbessert hat wird abgebrochen. Der Indikator *Cycles to Overfit* wurde von mir definiert und ist nichts anderes als die Zählung der durchlaufenen Lernzyklen bis zum Abbruch.

6.4.7 Time to Overfit

Nachdem die Rechenzeit eine sehr große Rolle für die Implementierung eines Modells in einer Anwendung ist, sollte festgehalten werden, wie lange ein Trainingsprozess bis zu seinem Abbruch dauert, wann sozusagen das optimale Netz in Abhängigkeit von der jeweiligen Initialisierung und Architektur gebildet wurde.

³⁸ http://de.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_von_Ockham - gelesen am 23.2.2007

6.5 Nachweis von signifikanten Unterschieden bei heuristischen Verfahren

Die Gewichte vieler NN werden in der Regel zufällig initialisiert. Dies birgt jedoch für jedes Lernverfahren die Gefahr, in einem suboptimalen Minimum bei der Abbildung der Daten zu konvergieren.

Günter Raidl, Professor am Institut für Algorithmen und Datenstrukturen der TU-Wien, schlägt folgende Bewertung vor:

„Wird vermutet, dass ein Verfahren X im Durchschnitt bessere Ergebnisse liefert als ein Verfahren Y, so sollte zur Bestätigung ein statistischer Test durchgeführt werden [Rai04].“

Raidl verweist hierbei explizit auf den Student t -Test mit einer Anzahl von mindestens 30 Durchläufen je Verfahren ($n_x \geq 30$ und $n_y \geq 30$).

Der t -Wert errechnet sich wie folgt für die Ergebnisse zweier Verfahren X und Y:

$$t = \frac{|\bar{x} - \bar{y}|}{\sqrt{(n_x - 1)\sigma_x^2 + (n_y - 1)\sigma_y^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_x n_y (n_x + n_y - 2)}{n_x + n_y}} \quad (6.11)$$

Für ein Signifikanzniveau von 99.95% und $n = n_x + n_y - 2 = 58$ liegt in der Referenztafel³⁹ kein t -Wert vor. Für $n=60$ beträgt der Wert $t_\alpha=3.460$ und für $n=50$ gilt $t_\alpha=3.496$. Für den Vergleich wird der geringere Referenzwert gewählt, so liegen alle Aussagen auf der sicheren Seite. Liegt der tatsächliche Wert von t über dem der Referenz, gilt also $t > t_\alpha$, so kann der Unterschied als signifikant bezeichnet werden.

In den folgenden Tabellen 6.1 und 6.2 sind die Ergebnisse der je 30 Simulationsläufe für das MLP dargestellt. Aus den gesamten 4309 Vektoren wurden 1000 selektiert. Es wurden für jeden Performanceindikator der Mittelwert und die Standardabweichung berechnet. Im ersten direkten Vergleich wurden jene Werte grün hinterlegt, die besser im Gegensatz zum jeweils anderen Modell waren.

³⁹ http://en.wikipedia.org/wiki/Student's_t-distribution - gelesen am 27.5.2007

MLP GA 11/27/9/4 Mom	gesamte Trainingsdaten 4309 Datensätze										LEV selektierte Trainingsdaten 1000 Datensätze									
	MSE	r	RE	AIC	MDL	Cycles to Overfit	Time to Overfit	MSE	r	RE	AIC	MDL	Cycles to Overfit	Time to Overfit						
1	0.028735	0.491293	2.910732	-17613.11	-16203.34	274	00:58	0.040414	0.535407	3.824708	-1976.579	-1080.99	145	00:10						
2	0.028745	0.494077	2.930787	-17611.2	-16201.44	183	00:29	0.038452	0.573854	3.785182	-2026.347	-1130.758	485	00:31						
3	0.028828	0.491026	2.912018	-17595.85	-16186.09	167	00:33	0.040111	0.543409	3.82948	-1984.106	-1088.517	207	00:13						
4	0.027627	0.522553	2.886171	-17821.88	-16412.12	548	01:49	0.040708	0.532199	3.833041	-1969.335	-1073.746	125	00:08						
5	0.028266	0.506387	2.899154	-17700.46	-16230.7	631	02:03	0.040675	0.534711	3.849969	-1970.13	-1074.542	65	00:05						
6	0.027783	0.516978	2.888015	-17791.86	-16382.09	588	01:56	0.040149	0.535285	3.825006	-1983.146	-1087.557	73	00:05						
7	0.027741	0.520947	2.894497	-17799.88	-16390.12	816	02:57	0.041944	0.514286	3.885138	-1939.421	-1043.833	62	00:04						
8	0.028117	0.510425	2.902387	-17728.51	-16318.74	232	00:46	0.041447	0.523128	3.887998	-1951.343	-1055.755	61	00:04						
9	0.02839	0.502824	2.913699	-17677.2	-16267.43	212	00:43	0.04061	0.535077	3.859659	-1971.748	-1076.159	147	00:09						
10	0.028307	0.505071	2.907935	-17692.69	-16282.93	242	00:48	0.039279	0.551736	3.794347	-2005.075	-1109.487	315	00:21						
11	0.028516	0.501697	2.913759	-17653.64	-16243.87	237	00:47	0.041894	0.510931	3.894962	-1940.625	-1045.036	63	00:04						
12	0.028678	0.497357	2.922326	-17623.65	-16213.89	192	00:39	0.040672	0.531856	3.863362	-1970.21	-1074.621	103	00:07						
13	0.028514	0.498846	2.9049	-17654.09	-16244.32	241	00:49	0.039846	0.5456	3.838354	-1990.74	-1095.151	173	00:11						
14	0.027943	0.516359	2.892917	-17761.38	-16351.61	547	01:48	0.040554	0.537805	3.867957	-1973.131	-1077.542	192	00:12						
15	0.027478	0.526751	2.87492	-17850.54	-16440.77	868	02:55	0.039866	0.542462	3.832093	-1990.227	-1094.638	134	00:08						
16	0.027672	0.521527	2.897412	-17813.2	-16403.44	726	02:22	0.039904	0.543984	3.83285	-1989.287	-1093.698	117	00:07						
17	0.027306	0.531481	2.885835	-17883.91	-16474.15	1356	04:06	0.041249	0.525805	3.881186	-1956.128	-1060.539	62	00:04						
18	0.028213	0.508455	2.891565	-17710.41	-16300.64	279	00:53	0.039419	0.552964	3.830249	-2001.507	-1105.919	168	00:10						
19	0.027574	0.523161	2.877035	-17832.03	-16422.26	1000	03:16	0.040385	0.537081	3.850149	-1977.291	-1081.702	121	00:08						
20	0.028711	0.496205	2.918968	-17617.51	-16207.74	330	01:05	0.039981	0.54815	3.81478	-1987.353	-1091.764	120	00:07						
21	0.02771	0.519777	2.892469	-17805.81	-16396.04	574	01:53	0.041464	0.52029	3.882403	-1950.918	-1055.329	64	00:04						
22	0.02828	0.506599	2.896139	-17697.76	-16298	323	01:04	0.039271	0.557779	3.800123	-2005.258	-1109.669	172	00:11						
23	0.028446	0.501803	2.911623	-17666.75	-16256.98	257	00:52	0.039223	0.554445	3.791846	-2006.499	-1110.91	339	00:21						
24	0.028263	0.50892	2.90511	-17701.04	-16291.27	369	01:13	0.040705	0.535991	3.864406	-1969.395	-1073.806	126	00:08						
25	0.02837	0.503508	2.916611	-17680.88	-16271.11	245	00:48	0.041064	0.53024	3.886946	-1960.633	-1065.044	100	00:07						
26	0.028056	0.511539	2.898331	-17740.01	-16330.24	341	01:09	0.039596	0.547691	3.794579	-1997.026	-1101.438	210	00:13						
27	0.027412	0.526203	2.861496	-17863.2	-16453.44	821	02:37	0.037377	0.586297	3.74275	-2054.713	-1159.124	590	00:38						
28	0.028624	0.4959	2.910386	-17633.62	-16223.85	169	00:34	0.04014	0.540438	3.831474	-1983.133	-1087.545	151	00:11						
29	0.02925	0.476374	2.914628	-17518.78	-16109.01	64	00:10	0.04014	0.539972	3.812975	-1983.394	-1087.805	114	00:07						
30	0.026715	0.54302	2.850619	-17999.95	-16590.18	2000	06:16	0.038631	0.568914	3.785195	-2021.691	-1126.103	302	00:19						
Mittelwert	0.0281423	0.5092354	2.8994148	-17724.69	-16314.93	494.4	01:37	0.0401723	0.5412596	3.8357722	-1982.88	-1087.291	170.2	00:10						
Standardabweichung	0.0005529	0.014261	0.0177438	104.76129	104.76092	412.98865	01:18	0.0010127	0.016429	0.0375209	25.401592	25.401533	124.7672	00:07						

Tabelle 6.1: Simulationsergebnisse des Netzwerktrainings für Beobachtungspunkt 1

MLP GA 11/27/9/4 Mom Simulationslauf	VALIDIERUNG											
	gesamte Trainingsdaten 1625 Datensätze						LEV selektierte Trainingsdaten 1625 Datensätze					
	MSE	r	RE	AIC	MDL	MSE	r	RE	AIC	MDL	MSE	MDL
1	0.071986	0.514464	5.279951	-3043.94	-1998.715	0.075028	0.463708	5.344046	-2976.588	-1931.463		
2	0.073609	0.487505	5.368174	-3007.599	-1962.474	0.075138	0.451292	5.498238	-2974.207	-1929.082		
3	0.073467	0.497845	5.348924	-3010.744	-1965.619	0.075696	0.485666	5.371704	-2962.182	-1917.058		
4	0.073568	0.472035	5.396147	-3008.506	-1963.38	0.040708	0.532199	3.833041	-1969.335	-1073.746		
5	0.072308	0.510239	5.320641	-3036.582	-1991.457	0.07333	0.51053	5.300828	-3013.781	-1968.657		
6	0.071514	0.487962	5.30457	-3054.534	-2009.409	0.04149	0.535285	3.825006	-1983.146	-1087.557		
7	0.071526	0.475514	5.338161	-3054.247	-2009.122	0.076304	0.469213	5.445345	-2949.164	-1904.039		
8	0.071578	0.475884	5.300264	-3053.082	-2007.957	0.075934	0.462256	5.382782	-2957.063	-1911.938		
9	0.074291	0.459448	5.366368	-2992.625	-1947.5	0.078375	0.42689	5.454206	-2905.666	-1860.541		
10	0.073065	0.471542	5.344994	-3019.669	-1974.544	0.071464	0.493784	5.255156	-3055.663	-2010.538		
11	0.071673	0.490093	5.286813	-3050.926	-2005.801	0.07407	0.50093	5.334444	-2997.47	-1952.345		
12	0.074556	0.455025	5.401011	-2986.836	-1941.711	0.074721	0.478599	5.356667	-2983.244	-1938.119		
13	0.075153	0.45438	5.408231	-2973.866	-1928.741	0.074688	0.480727	5.390574	-2983.96	-1938.835		
14	0.072965	0.455929	5.344734	-3021.891	-1976.766	0.074402	0.485488	5.325231	-2990.184	-1945.059		
15	0.071114	0.487619	5.299129	-3063.639	-2018.514	0.075426	0.467851	5.415697	-2967.976	-1922.851		
16	0.070075	0.518724	5.292392	-3087.565	-2051.439	0.07249	0.489433	5.347895	-3032.494	-1987.369		
17	0.071766	0.464828	5.35512	-3048.814	-2003.689	0.075303	0.467425	5.402678	-2970.625	-1925.5		
18	0.073561	0.456053	5.354206	-3008.667	-1963.542	0.075015	0.465719	5.376867	-2976.855	-1931.73		
19	0.078456	0.397145	5.506668	-2903.98	-1858.855	0.076343	0.465848	5.417835	-2948.352	-1903.227		
20	0.072172	0.516151	5.321307	-3039.65	-1994.524	0.074928	0.457299	5.347991	-2978.749	-1933.624		
21	0.072591	0.472177	5.36677	-330.2288	-1985.104	0.075625	0.466821	5.379674	-2963.693	-1918.568		
22	0.073471	0.480738	5.348938	-3010.652	-1965.527	0.075388	0.463307	5.462066	-2968.808	-1923.683		
23	0.075222	0.459682	5.398511	-2972.38	-1927.255	0.073954	0.476912	5.337627	-3000.012	-1954.887		
24	0.072925	0.483994	5.353476	-3022.778	-1977.653	0.074874	0.471671	5.37801	-2979.912	-1934.787		
25	0.072432	0.464763	5.316408	-3033.792	-1988.667	0.075018	0.478657	5.384973	-2976.791	-1931.666		
26	0.074197	0.451865	5.405251	-2994.686	-1949.561	0.076827	0.457153	5.426603	-2938.075	-1892.95		
27	0.072902	0.461626	5.357627	-3023.288	-1978.164	0.073864	0.451368	5.481617	-3001.989	-1956.864		
28	0.071186	0.50687	5.269173	-3062.001	-2016.876	0.075717	0.46285	5.402487	-2961.719	-1916.595		
29	0.078273	0.426309	5.502995	-2907.78	-1862.655	0.073792	0.485108	5.307532	-3003.851	-1958.456		
30	0.071674	0.462663	5.323812	-3050.891	-2005.766	0.073904	0.456727	5.402776	-3001.116	-1955.991		
Mittelwert	0.0731092	0.4739691	5.3526926	-2929.191	-1974.366	0.0726605	0.4753539	5.2795532	-2912.422	-1877.257		
Standardabweichung	0.0018874	0.0264544	0.0562727	492.59643	41.85257	0.0086775	0.0228562	0.3979703	256.04547	218.37514		

Tabelle 6.2: Simulationsergebnisse der Validierung für Beobachtungspunkt 1

Die Trainingsergebnisse zeigen, dass das mit den gesamten Daten trainierte MLP bis auf *Time to Overfit* und *Cycles to Overfit* besser abschneidet. Das MLP mit den selektierten Daten konvergiert schneller in einem Minimum. Das verwundert auch nicht, je Zyklus werden weniger Daten präsentiert. Der freie Verkehr wird durch weniger Beobachtungen abgebildet. Dies hat aber keinen wirklichen Einfluss auf die Generalisierungsleistung, wie Tabelle 6.2 zeigt. Die Indikatoren bei der Validierung liegen sehr nahe beisammen, ohne Signifikanztest fällt es schwer, eines der beiden Modelle zu bevorzugen. Zur Sicherheit wurde der zweite Beobachtungspunkt auf Performance getestet (Tabelle 6.3 und 6.4).

MLP GA 11/27/9/4 Mom	gesamte Trainingsdaten 4309 Datensätze										LEV selektierte Trainingsdaten 839 Datensätze									
	MSE	r	RE	AIC	MDL	Cycles to Overfit	Time to Overfit	MSE	r	RE	AIC	MDL	Cycles to Overfit	Time to Overfit						
1	0.015438	0.453725	5.156529	-17512.44	-17010.06	344	00:33	0.054544	0.470141	14.00399	-1980.439	-1666.235	199	00:08						
2	0.01487	0.487783	5.094231	-17673.99	-17171.62	631	01:00	0.055864	0.449093	14.176908	-1960.376	-1646.171	271	00:10						
3	0.015076	0.474298	5.085199	-17614.83	-17112.45	293	00:28	0.055404	0.455814	14.068257	-1967.318	-1653.114	182	00:07						
4	0.014801	0.49008	5.60703	-17694.02	-17191.64	686	01:07	0.054459	0.462226	13.674863	-1981.751	-1667.547	449	00:16						
5	0.014959	0.478104	5.084754	-17648.46	-17146.09	637	01:03	0.057256	0.43335	14.321601	-1939.731	-1625.526	159	00:06						
6	0.015301	0.463368	5.154322	-17550.93	-17048.56	212	00:21	0.05533	0.459492	14.03126	-1968.429	-1654.225	200	00:08						
7	0.015069	0.476579	5.097416	-17616.63	-17114.25	617	01:01	0.05891	0.395389	14.442664	-1915.835	-1601.63	315	00:11						
8	0.014947	0.48247	5.099831	-17651.74	-17149.37	403	00:39	0.055505	0.460333	14.087316	-1965.779	-1651.575	217	00:07						
9	0.014243	0.520049	5.001961	-17859.59	-17357.22	2000	03:18	0.056171	0.444544	14.09149	-1955.783	-1641.579	200	00:07						
10	0.015124	0.471454	5.100951	-17601.05	-17098.68	282	00:30	0.053889	0.484848	14.251192	-1990.574	-1676.369	310	00:11						
11	0.015022	0.478589	5.08099	-17630.09	-17127.72	467	00:42	0.057098	0.426998	14.263992	-1942.044	-1627.84	228	00:05						
12	0.014922	0.483883	5.11839	-17659.07	-17156.7	515	00:49	0.056176	0.445855	14.232656	-1955.707	-1641.502	268	00:10						
13	0.086583	0.285992	13.059525	-10082.6	-9580.231	62	00:06	0.056062	0.444871	14.01695	-1957.413	-1643.209	181	00:07						
14	0.015282	0.461731	5.115156	-17556.37	-17054	334	00:33	0.058284	0.413949	14.456134	-1924.795	-1610.591	141	00:05						
15	0.015391	0.459021	5.158309	-17525.74	-17023.37	207	00:20	0.054954	0.477495	13.913861	-1974.158	-1659.954	206	00:08						
16	0.014745	0.493152	5.062922	-17710.51	-17208.14	665	01:04	0.055181	0.45203	13.863214	-1970.704	-1666.5	216	00:08						
17	0.090562	0.155914	13.508841	-9889.018	-9386.645	52	00:05	0.056719	0.438401	14.164094	-1947.626	-1633.422	152	00:06						
18	0.015345	0.459656	5.148506	-17538.52	-17036.14	326	00:33	0.055439	0.453389	14.024888	-1966.791	-1652.586	210	00:08						
19	0.015068	0.477624	5.110168	-17617.16	-17114.79	293	00:29	0.057664	0.413457	14.245439	-1933.771	-1619.566	254	00:09						
20	0.014713	0.495503	5.070834	-17719.85	-17217.48	684	01:08	0.056968	0.434932	14.011768	-1943.958	-1629.754	176	00:06						
21	0.015115	0.47185	5.103826	-17603.73	-17101.36	403	00:41	0.057625	0.427964	14.296428	-1934.339	-1620.135	241	00:08						
22	0.014494	0.483914	5.091245	-17653.86	-17151.49	691	01:10	0.055587	0.460473	14.290017	-1964.542	-1650.338	131	00:04						
23	0.015275	0.462822	5.138941	-17558.19	-17055.81	325	00:21	0.059221	0.389867	14.378158	-1911.411	-1597.207	188	00:05						
24	0.014888	0.48497	5.081137	-17668.76	-17166.38	539	01:29	0.05907	0.394092	14.561217	-1913.554	-1599.35	130	00:04						
25	0.015116	0.47766	5.12257	-17603.32	-17100.95	508	00:46	0.055322	0.457057	13.905434	-1968.56	-1654.356	219	00:08						
26	0.01538	0.462614	5.182971	-17528.86	-17026.49	145	00:13	0.05668	0.436864	14.305959	-1948.208	-1634.004	227	00:09						
27	0.014749	0.492746	5.042874	-17709.37	-17207	547	00:52	0.056044	0.455266	14.323389	-1957.673	-1643.469	192	00:08						
28	0.087517	0.226287	13.175282	-10036.38	-9534.004	217	00:21	0.055598	0.454307	14.154106	-1964.374	-1650.17	188	00:07						
29	0.01475	0.492566	5.051693	-17708.94	-17206.56	629	01:03	0.055153	0.461557	14.001289	-1971.129	-1656.925	218	00:08						
30	0.015081	0.478611	5.124785	-17613.41	-1711.037	390	00:37	0.055424	0.461351	14.129226	-1967.018	-1652.814	160	00:06						
Mittelwert	0.0223424	0.4527672	5.934373	-16667.91	-15852.21	470.13333	00:47	0.0562534	0.4438485	14.156049	-1954.793	-1640.589	210.73333	00:07						
Standardabweichung	0.0223429	0.0810082	2.48225	2328.8198	3540.758	345.96958	00:35	0.0013556	0.0237548	0.1958854	20.513467	20.513472	66.085594	00:02						

Tabelle 6.3: Simulationsergebnisse des Netzwerktrainings für Beobachtungspunkt 2

MLP GA 11/6/14/4	VALIDIERUNG													
	gesamte Trainingsdaten 1625 Datensätze							LEV selektierte Trainingsdaten 1625 Datensätze						
	MSE	r	RE	AIC	MDL	MSE	r	RE	AIC	MDL	MSE	r	RE	AIC
1	0.019974	0.350813	6.292347	-5899.169	-5508.944	0.021042	0.403263	7.246368	-5814.473	0.021042	0.403263	7.246368	-5814.473	-5424.248
2	0.01907	0.392132	6.12533	-5974.438	-5584.213	0.020679	0.382773	6.79639	-5842.781	0.020679	0.382773	6.79639	-5842.781	-5452.556
3	0.019259	0.378656	6.11507	-5958.38	-5568.155	0.020584	0.412471	7.043836	-5850.273	0.020584	0.412471	7.043836	-5850.273	-5460.048
4	0.018865	0.398051	6.04496	-5992.012	-5601.787	0.020355	0.395651	6.705593	-5868.44	0.020355	0.395651	6.705593	-5868.44	-5478.215
5	0.019275	0.375461	6.1379711	-5957.017	-5566.792	0.020771	0.37518	6.695553	-5835.533	0.020771	0.37518	6.695553	-5835.533	-5445.308
6	0.019337	0.378125	6.148861	-5951.78	-5561.555	0.020725	0.417	7.132087	-5839.193	0.020725	0.417	7.132087	-5839.193	-5448.968
7	0.019352	0.377108	6.124665	-5950.565	-5560.34	0.021026	0.330716	6.576056	-5815.707	0.021026	0.330716	6.576056	-5815.707	-5425.482
8	0.018984	0.39518	6.084134	-5981.745	-5591.52	0.020597	0.406535	6.942183	-5849.211	0.020597	0.406535	6.942183	-5849.211	-5458.986
9	0.018751	0.4710617	6.112901	-6001.865	-5611.64	0.020777	0.386553	6.856983	-5835.087	0.020777	0.386553	6.856983	-5835.087	-5444.862
10	0.019397	0.375391	6.127817	-5946.783	-5556.558	0.020675	0.407899	7.067371	-5843.072	0.020675	0.407899	7.067371	-5843.072	-5452.847
11	0.019121	0.387236	6.078229	-5970.041	-5579.816	0.020444	0.37802	6.579415	-5861.651	0.020444	0.37802	6.579415	-5861.651	-5471.096
12	0.019572	0.381011	6.238734	-5932.158	-5541.933	0.020366	0.403646	6.804235	-5867.606	0.020366	0.403646	6.804235	-5867.606	-5477.381
13	0.102611	0.202405	15.480507	-3239.815	-2849.589	0.02382	0.394732	6.65755	-5866.275	0.02382	0.394732	6.65755	-5866.275	-5476.05
14	0.019705	0.362397	6.243909	-5921.17	-5530.945	0.02674	0.371104	6.604014	-5843.161	0.02674	0.371104	6.604014	-5843.161	-5452.936
15	0.019807	0.359344	6.257762	-5912.787	-5522.562	0.025351	0.401445	9.058766	-5511.764	0.025351	0.401445	9.058766	-5511.764	-5121.539
16	0.018942	0.396548	6.092115	-5985.395	-5595.17	0.020534	0.378793	6.749895	-5854.025	0.020534	0.378793	6.749895	-5854.025	-5463.979
17	0.108573	0.013808	16.190069	-3148.038	-2757.813	0.020615	0.375193	6.645877	-5847.836	0.020615	0.375193	6.645877	-5847.836	-5457.611
18	0.018977	0.395109	6.060802	-5982.387	-5592.162	0.021139	0.372512	6.981365	-5807.049	0.021139	0.372512	6.981365	-5807.049	-5416.824
19	0.018977	0.395109	6.060802	-5982.387	-5592.162	0.020999	0.336487	6.629283	-5817.807	0.020999	0.336487	6.629283	-5817.807	-5427.582
20	0.018839	0.40112	6.0781	-5994.194	-5603.969	0.020678	0.364026	6.549713	-5842.848	0.020678	0.364026	6.549713	-5842.848	-5452.623
21	0.019269	0.379649	6.131515	-5957.548	-5567.323	0.021096	0.352818	6.726546	-5810.352	0.021096	0.352818	6.726546	-5810.352	-5420.127
22	0.019083	0.385398	6.0814335	-5973.325	-5583.1	0.020988	0.400948	7.18986	-5818.665	0.020988	0.400948	7.18986	-5818.665	-5428.44
23	0.019491	0.371442	6.183197	-5938.915	-5548.689	0.021046	0.329324	6.509927	-5814.196	0.021046	0.329324	6.509927	-5814.196	-5423.971
24	0.018848	0.398298	6.047766	-5993.434	-5603.209	0.02117	0.329953	6.667629	-5804.63	0.02117	0.329953	6.667629	-5804.63	-5414.405
25	0.019077	0.393294	6.05967	-5973.853	-5583.628	0.020634	0.402027	6.886009	-5846.341	0.020634	0.402027	6.886009	-5846.341	-5456.116
26	0.01963	0.366719	6.20145	-5927.4	-5537.175	0.020624	0.385114	6.819948	-5847.105	0.020624	0.385114	6.819948	-5847.105	-5456.98
27	0.018918	0.393909	6.064556	-5987.426	-5597.201	0.02087	0.405775	7.130332	-5827.818	0.02087	0.405775	7.130332	-5827.818	-5437.593
28	0.104918	0.118486	15.923615	-3203.686	-2813.461	0.02758	0.404526	7.05772	-5836.623	0.02758	0.404526	7.05772	-5836.623	-5446.398
29	0.019037	0.394275	6.097338	-5977.231	-5587.006	0.020395	0.406892	6.792225	-5865.247	0.020395	0.406892	6.792225	-5865.247	-5475.021
30	0.019271	0.380672	6.16641	-5957.393	-5567.167	0.02066	0.41212	7.096779	-5844.295	0.02066	0.41212	7.096779	-5844.295	-5454.07
Mittelwert	0.027831	0.3589403	7.1017345	-5685.745	-5295.519	0.0214327	0.3842256	6.906652	-5827.635	0.0214327	0.3842256	6.906652	-5827.635	-5437.405
Standardabweichung	0.0263009	0.0897849	2.9731366	844.17501	844.17509	0.0018631	0.0264354	0.4580158	62.529602	0.0018631	0.0264354	0.4580158	62.529602	62.526071

Tabelle 6.4: Simulationsergebnisse der Validierung für Beobachtungspunkt 2

Die Trainings- und Validierungsergebnisse für Beobachtungspunkt 1 verhalten sich ähnlich wie für Beobachtungspunkt 2. Hier liegt sogar die Trainingsperformance näher beisammen als bei Beobachtungspunkt 1. Bei der Validierung schneidet das mit den ALEV selektierten Daten trainierte Modell durchwegs besser ab.

Kommen wir zum Signifikanztest. In der Tabelle 6.5 sind die t -Werte für die Performanceindikatoren des Trainings und der Validierung des MLP für Beobachtungspunkt 1 angegeben. Es finden sich auch die Referenzwerte für t_α bei $n=50$ und $n=60$.

t	MSE	r	RE	AIC	MDL	Cycles to Overfit	Time to Overfit	$t_a(n=50)$	$t_a(n=60)$
Training	57.109462	8.0626034	123.56706	799.85114	773.7282	4.1159449	6.3030856	3.496	3.46
Validierung	0.276728	0.2169549	0.9966957	0.165441	2.3921203				
Signifikanz im Unterschied	MSE	r	RE	AIC	MDL	Cycles to Overfit	Time to Overfit		
Training	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja		
Validierung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein				

Tabelle 6.5: Ergebnisse des Signifikanztests für Beobachtungspunkt 1

Beim Training gibt es signifikante Unterschiede. Das mit den gesamten Daten trainierte MLP ist qualitativ besser als das optimierte MLP. Die Trainingszeit und die Terminierung verlaufen beim ALEV-optimierten MLP jedoch signifikant besser.

Bei der Validierung gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Modellen. Das optimierte MLP bildet die Testdaten qualitativ vergleichbar ab, und zwar mit signifikant geringerem Lernaufwand. Im Mittel sind das 87 Sekunden weniger bzw. 89.6% Zeitersparnis.

Die Ergebnisse für Beobachtungspunkt 2 lassen dieselben Schlussfolgerungen zu (Tabelle 6.6).

t	MSE	r	RE	AIC	MDL	Cycles to Overfit	Time to Overfit	$t_a(n=50)$	$t_a(n=60)$
Training	8.2971197	0.5786536	18.085368	35.073286	21.983694	4.0337666	15.195834	3.496	3.46
Validierung	1.3291387	1.4797	0.3551984	0.9181096	0.9180776				
Signifikanz im Unterschied	MSE	r	RE	AIC	MDL	Cycles to Overfit	Time to Overfit		
Training	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja		
Validierung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein				

Tabelle 6.6: Ergebnisse des Signifikanztests für Beobachtungspunkt 2

Im Training unterscheiden sich darüber hinaus die beiden Modelle nicht signifikant beim Korrelationskoeffizienten. Der Trainingserfolg bei dem mit den gesamten Daten trainierten MLP ist bei den anderen Fehler- und Komplexitätsindikatoren besser. Die Generalisierung unterscheidet sich jedoch nicht signifikant. Das Training des optimierten MLP erfolgt aber im Mittel um 40 Sekunden schneller bzw. mit 85.1% Zeitersparnis.

6.6 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Kapitel wurde ein von mir konzipiertes Verfahren (ALEV) vorgestellt, dass es ermöglicht, große Datensätze hinsichtlich dreier Stabilitätsindikatoren zu visualisieren und zu selektieren. Die Abkürzung ALEV bedeutet *Aspects of Ljapunow, Entropy and Variance*. Durch geeignete Visualisierungstechniken werden Charakteristiken eines Beobachtungspunktes offensichtlich. Dadurch ist es möglich, die Ergebnisse in interdisziplinären Teams zu diskutieren und in kurzer Zeit ein

überblicksmäßiges Verständnis für Methoden aus der nichtlinearen Dynamik zu bilden. Der ALEV-Algorithmus ist in ein VMI portierbar, wodurch ein *nachhaltiges Management* der aufgezeichneten Daten für diverse Prognoseverfahren (XPS und NN) möglich wird. Zugriffszeiten auf die Datenbank und Trainingszeiten werden so verkürzt. So werden nachhaltige mikroskopische Anwendungen mit einer Vielzahl an integrierten Beobachtungspunkten mit hoher Performanz bei begrenzter Hardwareleistung möglich.

Die Verbreitung des ALEV-Verfahrens wird mit den Publikationen [Top08a], [Top08b] und [Top08c] angestrebt, wo wissenschaftliche Beweise über die Einsatzfähigkeit und die kybernetischen bzw. chaostheoretischen Hintergründe gegeben werden.

Kapitel 7

Neuronale Netze im Aufwind?

„Der Konstruktivismus behauptet hingegen, dass kognitive Tätigkeit im Errichten kohärenter Netzwerke besteht, indem kompatible begriffliche Strukturen und Modelle gebildet werden. In diesem Sinn ist es stets eine Ermutigung, wenn empirische Ergebnisse zu den konstruierten Modellen passen [vGla97].“

Ernst von Glasersfeld

Beginnend mit diesem Zitat befassen wir uns mit einem schwierigen Thema, in dem sich auch in den letzten Jahren sehr viel, für das Forschungsgebiet der Neuronalen Netze doch sehr Positives, abgezeichnet hat. In meiner Diplomarbeit [Top04] umriss ich bereits die Geschichte der Künstlichen Neuronalen Netze (KNN) auf Basis von [NeIll91]. Nachdem ich auf eine sehr interessante Arbeit des Soziologen *Uli Meyer* [Mey04] über die Kontroverse um Neuronale Netze gestoßen bin ist es mir ein Anliegen auf die sozialen Komponenten, die einzelnen Akteure in den Lagern der Gegner und der Befürworter dieses konnektionistischen Ansatzes einzugehen.

7.1 Neuronale Netze und das 21. Jahrhundert

Das Paradigma des Konnektionismus beruht auf der Verarbeitung von Informationen durch viele relativ simple Einheiten, die miteinander in Beziehung stehen und Signale austauschen. Auch heute reagieren viele Forscher mit freundlicher Reserviertheit, wenn es um den Einsatz bzw. die Anwendung Neuronaler Netze geht. Dies liegt meiner Meinung nach an der Darstellung bzw. dem vermittelten Zugang in den Lehrveranstaltungen, wobei ich betonen will, wie umfassend das vermittelte Bild wird, sofern man mehrere Lehrveranstaltungen besucht. Wahrscheinlich liegt es

an der Ausrichtung desjenigen, der beim ersten Kontakt mit diesem Thema die Fakten vermittelt. Viele schwören auf die Macht der Statistik, weil sie für viele Anwendungen ausreichend genau ist und hadern vor einem Blick über den Tellerrand, weil sie sich auf unbekanntes Territorium bewegen müssten. Ich habe Vorlesungen und Übungen besucht, die in den Anwendungsgebieten der Robotik [Kop03], der Intelligenten Regelverfahren [JaKeBe04] und neuen Ansätzen in der Systemtheorie [Katz01] liegen.

Nur *Katzenberger* [Katz01] ging dabei auf die Kontroverse zwischen den Forschern der symbolischen Künstlichen Intelligenz (KI) und jenen des konnektionistischen Ansatzes, der auf dem Prinzip biologischer Nervensysteme beruht und somit die Inspiration künstlicher Neuronaler Netze darstellt, ein. *Jakubek* [JaKeBe04] vermittelte ein deutlich mathematisches Bild, welches exzellent die Grundlagen dieser Modelle vermittelte. *Kopacek* [Kop03] wiederum bezeichnete seine Vorlesung amüsiert als *Anti-KI-Vorlesung* und präsentierte eine Reihe gängiger Implementationen. Das Stichwort *Anti-KI* verdeutlicht schon, dass die Bezeichnung *Künstliche Intelligenz* für viele Menschen eine sehr unterschiedliche Bedeutung haben kann. Zu Beginn der KI-Forschung hatten einige der Begründer eine Auffassung der Möglichkeiten, die nach derzeitigem Stand des Wissens bereits mehrmals abgeändert und teils revidiert wurde.

Vor allem wird man sich beim Begriff der Intelligenz schwer einig, was er wirklich bedeuten soll, und dies trifft nicht nur den Alltagsgebrauch zu. Ein kurzer Blick in das Fremdwörterbuch⁴⁰ enthüllt folgende Definitionen:

- a. Fähigkeit des Denkens, Fähigkeit, die Welt verstandesmäßig zu begreifen und vernünftig zu handeln
- b. Ausmaß des Denk- oder Begriffsvermögens, Grad des Verstandes, der Vernunft oder der Klugheit
- c. geistig arbeitende Schicht einer Gesellschaft (Anm. ?)
- d. vernunftbegabtes Wesen
- e. Grad an weiter gehenden Fähigkeiten einer Maschine

Die Welt verstandesmäßig zu begreifen ist wohl noch keinem gelungen. Philosophen der unterschiedlichsten Denkschulen können stundenlang ihre Ansichten austauschen und danach wieder ein wenig erleuchteter oder enttäuschter ihren Theorien nachgehen. Die Welt ist nicht die Summe einzelner materieller Teilchen,

⁴⁰ www.langenscheidt.de – gelesen am 31.07.2006

der Ablauf von unzähligen Rechenoperationen in jedem Mensch und jedem biologischen Wesen mit einem Nervensystem. Ein menschliches Gehirn hat Schätzungen zufolge 10^{11} Nervenzellen, das entspricht der estimierten Anzahl aller Galaxien in unserem Universum. Die Mannigfaltigkeit unserer Wissenschaften an sich demonstriert das Bestreben der gesamten Menschheit die Welt verstandesmäßig zu begreifen, erklärbar zu machen und damit zu entmystifizieren. Im 19. Jahrhundert war das Weltbild deterministisch, alles sollte erklärbar und damit vorhersagbar sein. Heute wissen wir, dass diese Orientierung ein Ding der Unmöglichkeit darstellt. Wir begegnen nichtlinearen Zusammenhängen, die uns in ihrer Komplexität unsere Grenzen zeigen.

Die einsetzbaren Verfahren sind sehr zahlreich, die Quellen, mit denen wir Systeme beschreiben, sind hingegen nur mit einem Stock vergleichbar, mit dem man sich durch dunkles, unbekanntes Territorium tastet. Die Grenzen liegen also weniger in den Modellierungsverfahren, vielmehr in unseren Beobachtungen selbst. Angenommen wir wären in der Lage wirklich alles zu messen, wären wir in der Lage, wie *Laplace* einmal meinte, alles zu verstehen? Laut *Laplace* müssten wir die Bewegung (Position und Geschwindigkeit) eines jeden Atoms (Teilchens) im Universum kennen, um alles vorhersagen zu können. Das stimmt jedoch nicht so ganz. Es, das Universum, schließt uns in das System mit ein, wir sind präsent und reflektieren aufgrund unserer Sinne. Wenn wir Messwerte vorliegen haben visualisieren wir sie, um sie für uns und andere verständlicher zu machen. Ein Restfehler bleibt immer, sei es durch undetaillierte bzw. falsch definierte Indikatoren, Rauschen in der Messung, Rundungsfehler in der Weiterverarbeitung und letztendlich Fehlinterpretation durch den Menschen selbst.

Die *Vernunft*⁴¹ ist ein philosophisch gewachsener Begriff, der von *Platon*⁴² (427-347 v. Chr.) über *Meister Eckhart* (1260-1328)⁴³ und *Martin Luther* (1483-1546)⁴⁴, *Immanuel Kant* (1724-1804)⁴⁵, *Georg Wilhelm Friedrich Hegel* (1770-1831)⁴⁶ und angesichts des Schreckens des Holocausts im 20. Jahrhundert von *Theodor Adorno* (1903-1969)⁴⁷ und *Max Horkheimer* (1895-1973)⁴⁸ geprägt wurde. Zum einen

⁴¹ <http://de.wikipedia.org/wiki/Vernunft> - gelesen am 31.07.2006

⁴² <http://de.wikipedia.org/wiki/Platon> - gelesen am 31.07.2006

⁴³ http://de.wikipedia.org/wiki/Meister_Eckhart - gelesen am 31.07.2006

⁴⁴ http://de.wikipedia.org/wiki/Martin_Luther - gelesen am 31.07.2006

⁴⁵ http://de.wikipedia.org/wiki/Immanuel_Kant - gelesen am 31.07.2006

⁴⁶ <http://de.wikipedia.org/wiki/Hegel> - gelesen am 31.07.2006

⁴⁷ http://de.wikipedia.org/wiki/Theodor_W._Adorno - gelesen am 31.07.2006

wird sie als die Grundlage für Erkenntnis und Erkenntnisgewinn betrachtet. Sie schafft die Voraussetzung für Erkenntnis, indem sie eine Systematik und einen Bezugsrahmen für Wissen vorgibt. Von der Vernunft unterschieden wird gewöhnlich der Verstand als Erkenntnisvermögen oder als das Zusammenwirken vieler verschiedener kognitiver Fähigkeiten.

Ich für meinen Teil würde noch ergänzen, dass Vernunft etwas mit Vorrorausschau zu tun hat. Will man vernünftig handeln, so geht es in erster Linie um die Abschätzung der eigenen Taten und daraus möglicherweise resultierenden negativen Folgen für sich und für andere. Somit ist sie ein Maß für den Umfang individueller Lernprozesse und daraus gewonnener Erfahrungen in enger Verknüpfung zu persönlicher impliziter Ethik, die man aus sozialen Erlebnissen gewinnt, eine intuitive Rücksicht auf andere. Nicht nur auf die Menschen im direkten Umfeld, heutzutage geschaffene Systeme haben globale Auswirkungen, auch auf die Natur, unsere Umwelt und damit auf eine langfristige Existenz der Menschheit in einem lebenden Ökosystem.

Wenn nun sehr vage von einem *Grad an weiter gehenden Fähigkeiten* einer Maschine geredet wird kann das viel heißen und auch wieder nicht. Im technischen Verständnis kann Intelligenz bedeuten, empirische Daten, Messwerte, die ein System zu einem gewissen Grad beschreiben, so weit zu verarbeiten und in einen Prozess zu integrieren, damit dieser Prozess ohne menschliches Zutun richtige und vertretbare Vorhersagen trifft. Dies erfolgt in einer ersten Form offline, also in einer Lernphase, nach deren Abschluss die vorhandenen Daten zu Informationen bzw. Wissen transformiert und je nach Modell entsprechend codiert wurden, damit ein Algorithmus das zu beschreibende System genügend genau repräsentiert. Ist dies vollendet ist die Maschine fähig autonom zu arbeiten. Einen weiteren Schritt stellt das Online-Lernen dar. Hier ist ein Algorithmus in der Lage, zusätzlich mit der Zeit gewonnene Daten in einem laufenden Lernprozess zu benützen, um Änderungen im Systemverhalten mitzumachen. Die Maschine arbeitet und lernt also simultan. Versuch und Irrtum als wirkliche Lerngrundlage liegen hier aber fern, jeder neue Wert verändert die Wissensbasis sukzessive.

Viele Geschichten handeln vom Missbrauch des menschlichen Fortschritts, von einer Arroganz der Schöpfer widernatürlicher Maschinen. Widernatürlich beschreibt das Streben nach der Kreation des eigenen menschlichen Abbildes, einen göttlichen Akt, der dem Menschen nicht zusteht. *Frankenstein* schuf sein Monster, einen Menschen

⁴⁸ <http://de.wikipedia.org/wiki/Horkheimer> - 31.07.2006

aus den Körpern von Toten. Arnold Schwarzenegger hat in mehreren Episoden eine blutige Spur als überlegenes Abbild des Menschen, als *Terminator*, gezogen. In der *Matrix* ist die Menschheit von intelligenten Maschinen versklavt, die sich gegen ihre Schöpfer erhoben haben. Sie lebt in einer imaginären Welt, die in ihr Nervensystem projiziert wird, während sie als biologische Stromlieferanten ihr gesamtes Leben in Flüssigkeitstanks fristen und mental über ein Netzwerk ein normales Leben führen. Science Fiction wird immer genauer, detailreicher und abartiger. Und genau deshalb schlägt sie alle Kassenrekorde, vermittelt sie doch eine unbestimmte Zukunft, die sich durch etwaige Schattenseiten und den Missbrauch von Technologien eröffnen könnte.

7.2 Ein Weg zum Erfolg?

Die New York Times veröffentlichte am 8. Juli 1958 folgende Meldung:

“The Navy revealed the embryo of an electronic computer today that it expects will be able to walk, talk, write, reproduce itself and be conscious of its existence [...] later perceptrons will be able to recognize people and call out their names and instantly translate speech in one language to speech and writing in another language, it was predicted [Ola93].”

Die Zeitung hatte nahezu wortgenau eine Ankündigung von *Frank Rosenblatt* (1928-1969)⁴⁹ übernommen. Ende der 50er Jahre beschäftigten sich zahlreiche Forschergruppen mit Neuronalen Netzen, eine der namhaftesten von ihnen war eben jene unter *Frank Rosenblatt* an der Cornell University und dem Cornell Aeronautical Laboratory (CAL). Als weitere Gruppen mit hoher Reputation sind noch die von *Bernard Widrow* (geb. 1929)⁵⁰, Stanford University, und die von *Charles Rosen* (1917-2002)⁵¹, Stanford Research Institute (SRI), zu nennen (nach ([Mey04] basierend auf [Ola96]). Rosenblatts Arbeit wurde vom *Office of Naval Research* (ONR) gefördert und 1958 stellte er zusammen mit ONR-Vertretern sein Projekt der Presse vor. Auf einem IBM-Computer simulierte er sein Perceptron und demonstrierte damit, wie das untrainierte Netzwerk durch einen Lernprozess fähig wurde, mit großer Genauigkeit die Lage von Objekten zu erkennen. Das ONR kündigte eine längerfristige Förderung an und *Rosenblatt* stellte Ergebnisse in

⁴⁹ http://de.wikipedia.org/wiki/Frank_Rosenblatt - gelesen am 31.07.2006

⁵⁰ http://en.wikipedia.org/wiki/Bernard_Widrow - gelesen am 31.07.2006

⁵¹ <http://www.sfgate.com/cgi-bin/article.cgi?file=/chronicle/archive/2002/12/20/BA88655.DTL> - gelesen am 31.7.2006

Aussicht, die in dieser Form unhaltbar, weil schlichtweg zu visionär und unbegründbar, waren (nach [Ola93]).

Rosenblatt vermittelte das Bild eines Computers, der sich seiner Existenz bewusst ist, sich sogar reproduziert, vielleicht sogar in naher Zukunft. Reproduktion ist eine biologische Eigenschaft, das Sich-selbst-bewusst-sein auf diesem Planeten vielleicht nur eine menschliche Eigenschaft, weil sie nur von Menschen definiert worden ist.

Warum aber hat Rosenblatt 1958 auf fundierte wissenschaftliche Argumentation verzichtet, wenn es um Auftritte in der Öffentlichkeit ging? Einen Hype zu erzeugen heißt künstlich etwas zu stimulieren, um die Öffentlichkeit auf seiner Seite zu haben. Oftmals ist ein Hype nur eine Seifenblase, die zwar faszinierend wirkt und doch schnell vergeht, nichts Bleibendes übrig lässt.

Hype und wissenschaftliche Argumentation sind Werkzeuge, um ein Phänomen zu beschreiben. *H. M. Collins* (nähere Informationen zur Person im Internet nicht auffindbar) schreibt einer so aufgebauten Beschreibung jeweils einen *Grad der Inferenz* zu, also eine Ausprägungen der Folgerung, ein Maß der Stichfestigkeit eines Schlusses, wenn man so sagen kann (nach [Mey04]). Als Wissenschaftler, der seine Arbeit veröffentlichen will, sieht man sich deshalb auch in einer Zwickmühle zwischen dem populärwissenschaftlichen Stil, der möglichst viele Leser ansprechen soll, dabei jedoch grundlegende Details zur Überprüfbarkeit auslässt, und einem Stil von hohem Niveau, der unter Umständen nur sehr wenige Kollegen der eigenen Disziplin ansprechen wird, gefangen. Die Zielgruppe besteht aus wissenschaftlich interessierten Laien, Geschäftspartnern und Fördergebern auf der einen Seite und der Science Community, die regelnd und vergleichend bzw. verifizierend und falsifizierend wirkt. Verifikation und Falsifikation sind zeitraubende Prozesse und die eingehende Prüfung einer Arbeit ist nur in den seltensten Fällen bzw. in auserlesenen Bewertungsgremien möglich.

Heute stand beispielsweise in der Wissenschaftsrubrik des *Standard*⁵² ein Artikel über den russischen Mathematiker *Grigori Grisha Jakowlewitsch Perelman*⁵³, einem berühmten Mann, seitdem er mit seinem Beweis der Poincaré-Vermutung im Jahr 2002 für Aufsehen gesorgt hat. Besser gesagt, sein Beweis wird seit dem Jahr 2003 von den unterschiedlichsten Mathematikern auf seine Haltbarkeit geprüft.

⁵² <http://derstandard.at/?url=?id=2558121> – gelesen am 21.8.2006

⁵³ http://de.wikipedia.org/wiki/Grigori_Perelman - gelesen am 21.8.2006

Die *Poincaré-Vermutung*⁵⁴ lautet:

Jede geschlossene einfach zusammenhängende 3-dimensionale Mannigfaltigkeit ist homöomorph zur 3-Sphäre.

Darüber hinaus gibt es noch eine Verallgemeinerung der Vermutung, auf n -dimensionale Mannigfaltigkeiten in der folgenden Form:

Jede geschlossene n -Mannigfaltigkeit mit dem Homotopietyp einer n -Sphäre ist zur n -Sphäre homöomorph⁵⁵.

Für den Fall $n = 3$ stimmt diese verallgemeinerte Vermutung mit der ursprünglichen Poincaré-Vermutung überein.

Vereinfacht kann man die Poincaré-Vermutung so beschreiben:

Die Oberfläche einer Kugel ist 2-dimensional, beschränkt, randlos und jede geschlossene Kurve lässt sich auf einen Punkt zusammenziehen, welcher auch auf der Kugel liegt. Sie ist auch das einzige 2-dimensionale Gebilde mit diesen Eigenschaften. Bei der Poincaré-Vermutung geht es um das 3-dimensionale Analogon: hier geht es um eine 3-dimensionale „Oberfläche“ auf einem 4-dimensionalen Körper.

Im Standard geht es um die Frage, wie die Oberfläche von vierdimensionalen Körpern beschaffen ist. Ein vierdimensionaler Würfel beispielsweise, ein Tesseract, ist einer dieser Körper. Auf der beiliegenden CD-Rom befindet sich das File *hypercube-tesseract.avi*⁵⁶. Hier wird eine Abwicklung eines Tesserakts in Zentralprojektion animiert. Mit dem Tesseract als Vorlage, bereits durch *Heinz von Förster* [vFör93] damit vertraut, ist der Schritt in die hochdimensionalen Probleme leichter geworden. Gerade was die Datenvisualisierung betrifft und die damit verbundene Phasenraumrekonstruktion von Attraktoren.

Zu erwähnen bleibt, dass *Grigori Grisha Jakowlewitsch Perelman* sich beim Internationalen Mathematikkongress IMC 2006 in Madrid allem Anschein nach seine Lorbeeren nicht abholen wollte, *weil er an andere Dinge denkt*, so einer seiner Bekannten aus der Arbeitswelt.

⁵⁴ <http://de.wikipedia.org/wiki/Poincar%C3%A9-Vermutung> – gelesen am 21.8.2006

⁵⁵ Anm.: von gleicher Form und Struktur

⁵⁶ Quelle unbekannt

Collins [Col85] verdeutlicht die möglichen Wirkungen einer wissenschaftlichen Meldung anhand der Suche von Neutrinos (Elementarteilchen die nur sehr schwer nachzuweisen sind):

Wissenschaftler können behaupten, einen Ausschlag auf ihren Geräten beobachtet zu haben oder aber durch diesen Ausschlag eine bestimmte Anzahl radioaktiver Argon-Atome nachgewiesen zu haben. Darüber hinaus auch, dass diese Argon-Atome aufgrund des Versuchsaufbaus den Beweis von Neutrinos darstellen. Während die Aussage, ein Zeiger auf einem Gerät habe sich bewegt, sehr wenig Inferenzschritte⁵⁷ benötigt, bedarf es im Gegensatz dazu einer Vielzahl Inferenzschritte, um behaupten zu können, Neutrinos nachgewiesen zu haben. Umgekehrt wird erstere Aussage kein großes Aufsehen erregen, letztere mit großer Wahrscheinlichkeit schon. Wenige Inferenzschritte beinhalten nur ein kleines interpretatives Risiko, wirken glaubwürdig und seriös, haben aber nur eine geringe Reichweite, sowohl in ihrer Aussagekraft als auch in der zu erwartenden Resonanz. Viele Inferenzschritte sind an vielen Stellen angreifbar, beinhalten somit ein großes interpretatives Risiko, können aber wesentlich weit reichendere Folgen haben, wenn sie nicht als ungerechtfertigt oder unwissenschaftlich abgetan werden ([Mey04] basierend auf [Col98]).

7.3 PERCEPTRONS

Rosenblatt war eine Hype-Figur, denn im Gegensatz zu seinen schriftlichen Veröffentlichungen waren seine öffentlichen Auftritte von eindrucksvollen Aussagen begleitet, die von der Presse übernommen und von der Öffentlichkeit mit Interesse verfolgt wurden. Durch diese Präsenz war *Rosenblatt* der bekannteste Vertreter Neuronaler Netze und Ende der 1950er war die Forschungsquote in diesem Bereich stark im steigen. Zu Beginn der 1960er lagen Publikationen in diesem Bereich bei etwa 30% der gesamten KI. Das übertraf die Anzahl der Veröffentlichungen in der Kybernetik und der sich ebenfalls im Entstehungsstadium befindlichen symbolischen KI (nach [Mey04] in Anlehnung an [Bre95]).

⁵⁷ Anmerkung von mir: Ein Inferenzschritt erhöht also den Inferenzgrad, weg vom puren, teilweise unbegründbaren Hype hin zur *vollkommenen* Beschreibung. Diese basiert jedoch auf dem Beobachter selbst, seinem Wissen und seinem Hintergrund und auf allen Schritten, die der Beobachter geht, um zu seiner Erkenntnis zu gelangen. Notwendigerweise inkludiert dies die Definition neuer Begriffe, die von einem Großteil der Fachwelt nicht mehr verstanden werden können, hinsichtlich beschränkter Lernzeit und den Tücken der selbstreferentiellen Sprache, die notwendigerweise benutzt wird.

Mit dem Hype mehrte sich auch die Anzahl der Kritiker, und der schärfste unter ihnen war Rosenblatts früherer Schulfreund *Marvin Minsky*⁵⁸ (geb. 1927). *Minsky* hatte bereits 1951 versucht einen Autopiloten eines Kampfflugzeugs auszuschlachten, aus einigen hundert Elektronenröhren ein neuronales Netz zu konzipieren, das eine Ratte in einem Labyrinth simulieren sollte. Seine Doktorarbeit verfasste er 1954 ebenfalls zu diesem Thema. Nach dem Scheitern seiner Bemühungen aufgrund verschiedener Gründe (die in [Mey04] nicht näher angeführt werden) verwarf er 1955 seinen Ansatz und wechselte in die symbolische KI. Ein Jahr danach war Minsky einer der Teilnehmer an der Dartmouth-Konferenz (*Dartmouth Summer Research Project on AI*), der offiziellen Geburtsstunde zweier Ansätze, die in den folgenden Jahren hart um ihr Überleben in der wissenschaftlichen Welt kämpfen sollten (nach [Mey04] in Anlehnung an [McCor87] und [Edw96]).

Der *high-level approach* (AI – artificial intelligence) beschäftigte sich mit der Kreation von Computer-Programmen, die als *intelligent machine behavior* bezeichnet werden können. Der *low-level approach* (NN) basierte auf modellierten Mechanismen, die, Prozesse des Gehirns als Vorlage nutzend, zu *intelligenten* Anwendungen führen sollten (nach [Top04] in Anlehnung an [NeIII91]).

Die Kontroverse um das Perceptron wird oft als nahezu persönlicher Streit zwischen den Personen *Rosenblatt* und *Minsky* beschrieben. Auch wenn diese Beschreibung mit Sicherheit die Komplexität der Situation nicht adäquat wider gibt, so ist sie doch sicherlich nicht vollständig falsch. Sie waren die Stellvertreter zweier gerade in der Entstehung begriffener Forschungsansätze, die um Ansehen und Akzeptanz kämpften. [...] Fast alle Akteure waren sich gegenseitig bekannt. Aus diesem Grund war es fast unausweichlich, dass sich der Konflikt auch auf einer persönlichen Ebene austrug ([Mey04] nach [Gui98]).

Minsky und *Rosenblatt*, beide rethorisch sehr gewandt, trafen einander des Öfteren auf wissenschaftlichen Tagungen und lieferten sich dabei Wortwechsel, die den Anwesenden eher als sportlicher Wettkampf anstatt einer wissenschaftlichen Diskussion in Erinnerung blieb (nach [Mey04] nach [McCor87]).

⁵⁸ http://de.wikipedia.org/wiki/Marvin_Minsky - gelesen am 22.8.2006

Minsky fand in *Seymour Papert*⁵⁹ (geb. 1928) einen Verbündeten, mit dem er das Perceptron nachbaute und eine mathematisch basierte Kritik verfasste. *Perceptrons*, so hieß das von ihnen verfasste Buch, war ein vernichtendes Werk für den konnektionistischen Ansatz, für künstliche Neuronale Netze. Das Perceptron war das zu dieser Zeit populärste NN, obwohl bereits weitere Topologien in Entstehung bzw. ausgereift waren.

Die beiden Elektrotechniker *Bernard Widrow* und *Marcian Hoff* entwickelten 1959 Modelle für ADALINE, dann MADALINE (Multiple ADaptive LINear Elements). Dies war das erste NN, das zur Lösung eines *real-world-problems* dienen sollte, der Eliminierung von Echos in Telefonleitungen. Ein weiterer Experte in der NN-Forschung seit den 60ern ist *Stephen Grossberg*. Sein 1967 entstandenes Netzwerk, das *Avalanche*, nutzt eine Klasse von Netzwerken, um Aktivitäten wie kontinuierliche Sprachenerkennung und lernende Motor-Befehle für Roboterarme durchführen zu können ([Top04] nach [NeIll91]).

Die Rückwirkung von *Perceptrons* auf das gesamte Forschungsgebiet der NN fand eher indirekt statt. Das Perceptron wurde direkt angegriffen, indem mit mathematischen Mitteln die Grenzen der Möglichkeiten des Rosenberg-Perceptrons bewiesen wurden. Die Kritik an der gesamten NN-Forschung wurde wissenschaftlich jedoch nicht so klar formuliert, und das ist das Paradoxe. *Minsky* und *Papert* verneinten die Möglichkeit, dass effektivere Lernalgorithmen für Mehrschicht-Perceptrons (MLP – Multi Layer Perceptron) gefunden werden könnten. Die mathematischen Beweise, für die die beiden Jahre gebraucht hatten (teilweise dauerte es mehrere Monate, um einen Beweis in der gewünschten Präzision zu formulieren), nahmen fast das ganze Buch ein. Die Aussage, dass es keine besseren Lernverfahren geben könnte, blieb ohne jegliche mathematische Argumentation, sie rechtfertigten sie mit ihrem *intuitive judgement*⁶⁰ (nach [Mey04] nach [MinPap69]).

Das Perceptron diente als Werkzeug zur Objekterkennung. Unter bestimmten, sehr strikten Gegebenheiten konnten Muster als gleich bzw. unterschiedlich erkannt werden. Um geometrische Formen unterscheiden zu können mussten sie immer an der gleichen Stelle der Retina (Anm.: Rosenblatts biologisch orientierter Terminus für die Eingabeschicht des Perceptrons) präsentiert werden. Daraus folgten Probleme, wie die Unfähigkeit der Unterscheidung, ob ein Element eines Bildes zur

⁵⁹ http://de.wikipedia.org/wiki/Seymour_Papert - gelesen am 22.8.2006

⁶⁰ Anm.: intuitive judgement bedeutet Vermutung aufgrund von persönlichem Hintergrund, sie ist unwissenschaftlich.

Form oder zum Hintergrund gehört. Auch war die Aussage, ob eine präsentierte Figur aus mehreren sich nicht berührenden Einzelfiguren besteht, äußerst unzuverlässig (nach [Mey04]).

In diesem Kontext ist eine Arbeit *Heinz von Försters* zu erwähnen, die in [vFör02] dargestellt wird. Diese Apparatur entwickelten er und seine Mitarbeiter am BCL. Das Prinzip war an der biologischen Retina orientiert, genauer gesagt wurde ein Abgrenzungseffekt benachbarter biologischer Sehzellen so umgesetzt, dass das Gerät ausgab, wie viele Objekte auf dem Sichtfenster positioniert waren. Laut *von Förster* war *John von Neumann* ein interessierter und erstaunter Tester bei seinen Besuchen. Er platzierte z.B. kleinere Objekte innerhalb größerer Ringe. Solange sich diese Objekte nicht berührten war die Ausgabe des Geräts stets richtig.

Minsky und *Papert* definierten die Art des Rechnens mit NN als *parallel combination of local memory*. Das in ihrer Arbeit verwendete Rechenmodell bezog daher ein jedes Neuron lediglich auf seine unmittelbare Nachbarschaft – Eingaben dürfen demnach nicht aus unterschiedlichen, über der ganzen Retina verteilten Bereichen kommen. Das ist jedoch keine Bedingung für die Konzeption Neuronaler Netze und auch *Rosenblatt* hatte so eine Einschränkung nie gefordert bzw. verwendet. *Minsky* und *Papert* führten diese Restriktion ein, um die Komplexität des Perceptrons so weit zu verringern, um es überhaupt mathematisch beschreiben zu können (nach [Mey04] nach [MinPap69]).

In der nichtlinearen Dynamik ist man sich dessen bewusst, dass sich höhere Terme kritischer Frequenzen innerhalb einer zusammengesetzten Schwingung auch auf stabile lineare Frequenzen auswirken können. Eine der Öffentlichkeit eher unbekannt, in der Nichtlinearen Dynamik jedoch berühmte Theorie hierzu ist die Zentrumsmannigfaltigkeitstheorie (ZMT), die diesen Effekt berücksichtigt. Es gibt in der Chaostheorie also kleinste Effekte, die global Wirkung zeigen. Jede Art der Reduktion des Ausmaßes eines Problems kann also entscheidende Effekte einfach ausblenden. Um mit den Worten *Heinz von Försters* und damit der Kybernetik zweiter Ordnung zu sprechen: *Unter schlecht definierten Rahmenbedingungen sehen wir nicht, dass wir nicht sehen.*

Zu starke Vereinfachungen können in der Beschreibung komplexer Systeme fatale Missinterpretationen bewirken. Die starke Kausalität gilt auch in komplexen Neuronalen Netzen nicht, selbst geringste Signale weiter entfernter Neuronen können sich auf die errechneten Ausgaben auswirken. Selbst in Neurocomputern können chaotische Zustände auftreten [Katz01]. Diese Aussage rückt aber

keineswegs den Digitalcomputer in ein besseres Licht der Stabilität. Wie lange läuft hier ein System ohne abzustürzen? Um die Zuverlässigkeit erhöhen zu können, müssen Redundanzen eingeplant werden [Pat82]. Mehrere Computer übernehmen dieselbe Aufgabe für den Fall, dass zu einem unbekanntem und unvorhersagbaren Zeitpunkt einer oder mehrere von ihnen ausfallen. Es handelt sich also hierbei um eine parallele Struktur serieller Rechner.



Abbildung 7.1: Das Problem der Verbundenheit (eigene Adaption aus [MinPap69])

Minsky und *Papert* stellten das Problem der Verbundenheit zur Diskussion (Abbildung 7.1). Uns als Menschen mit einem hochkomplexen biologischen Neuronalen Netz fällt es nicht gerade leicht festzustellen, ob das linke oder rechte Gebilde aus einem oder zwei Formen besteht, es ist eine generelle Schwäche des parallelen konnektionistischen Verarbeitens. Die beiden Anhänger der symbolischen KI, *Minsky* und *Papert*, lösten diese Problemstellung auf sehr einfache Weise mit einem seriellen Algorithmus, dessen Pseudocode so lautet (in Anlehnung an [Mey04]):

1. Suche ein schwarzes Feld auf der Retina.
2. Markiere es.
3. Suche alle benachbarten schwarzen Felder des markierten Feldes.
4. Markiere auch diese.
5. Fahre so lange fort, bis keine schwarzen Felder mehr in der Nachbarschaft sind.
6. Lösche alle markierten Felder (Färbe sie weiß ein).
7. Suche auf der Retina nach schwarzen Feldern.
8. Findest du keines, dann war die Form verbunden.

Das Paritätsproblem beschreibt, dass ein Perceptron nicht in der Lage ist die Anzahl der Bildpunkte einer Eingabe bzw. die Anzahl der aktiven Inputs als gerade oder ungerade zu klassifizieren. Ein praktisches Beispiel hierzu ist die Frage, ob z.B. die Anzahl der schwarzen Punkte einer Zeitungseite gerade oder ungerade ist. Eine

seriell algorithmische Lösung des Paritätsproblems ist noch einfacher zu lösen (in Anlehnung an [Mey04]) als das Verbundenheitsproblem:

1. Suche ein schwarzes Feld auf der Retina.
2. Wenn ein schwarzes Feld gefunden wird lösche es (färbe es um) und erhöhe einen Zähler um 1.
3. Wiederhole 1 und 2 bis kein schwarzes Feld mehr übrig ist.
4. Überprüfe den Zähler, ist er gerade oder ungerade?

Minsky und *Papert* zeigten also nicht nur Mängel des Perceptrons auf, sondern boten gleichzeitig funktionierende Lösungsalternativen an, die seriell abgearbeitet wurden.

Perceptrons wurde letztendlich nach zahlreichen Verzögerungen 1969 veröffentlicht, die Kontroverse um Neuronale Netze war zu diesem Zeitpunkt jedoch schon entschieden. Unveröffentlichte Teile des Buches kursierten bereits Anfang der 1960er in entsprechenden Kreisen (nach [DreDre96]). Das könnte also sehr wahrscheinlich bedeuten, dass die wesentlichen Aussagen dieses Buches tröpfchenweise propagiert worden sind und zu einer ablehnenden Stimmung für NN beigetragen haben, obwohl in der entscheidenden Phase keine zusammenhängende Kritik vorlag, sondern nur einzelne Kapitel.

Von Forschern der Neuronalen Netze wurde *Minskys* und *Paperts* Argumentation teilweise massiv kritisiert. Sie fühlten sich in eine Sackgasse gedrängt und bemängelten die stark vereinfachten Definitionen, mit deren Hilfe die Gegner das Perceptron derartig degradierten, sodass man den Eindruck gewinnen konnte, dass es fast zu gar nichts zu gebrauchen sei.

Allgemein wurde die Arbeit von *Minsky* und *Papert* als Beweis dafür interpretiert, dass bereits die theoretischen Grundlagen (Anm.: die auf *intuitive judgement* beruhten!), auf denen das Perceptron basierte, und nicht nur einzelne konkrete Realisierungen bedeutende Schwächen aufwiesen [Mey04].

Bernard Widrow wies auf große Differenzen zwischen dem Perceptron und dem damaligen Stand der Entwicklungen hin, die mathematisch äußerst korrekte Form, in der das Buch verfasst wurde, lobte er ausdrücklich (nach [Mey04]).

“The structures of the networks and the kind of models that we were working on were so much more complicated and sophisticated than what they had discussed in the book. All the difficulties, all the things that they could prove that the Perceptron

couldn't do were pretty much of noninterest, because we were working with things so much more sophisticated than the models that they were studying."

Bernard Widrow [Ola93]

Der Einfluss, den *Minsky* und *Papert* auf die Entwicklung der NN-Forschung ausübten war enorm. Forschung benötigt Finanzierung und die Geldquellen versiegten nach und nach. Symbolische und konnektionistische KI stritten um denselben Kuchen. *Meyer* [Mey04] drückt sich sehr treffend aus, wenn er schreibt, dass der institutionelle Rahmen, in dem die Akteure um Förderungen ihrer Forschung kämpften, stark von der herrschenden globalpolitischen Situation geprägt war.

Mit dem kalten Krieg erstarkte das Interesse der Militärs an künstlicher Intelligenz. Damit taten sich auch neue Geldquellen auf, die zuvor nicht denkbar gewesen wären (nach [Sol01]). Der Start von *Sputnik* durch die UdSSR 1957 war ein Erfolg, die Politik, das Militär und die Wissenschaft der USA rückten unter dem möglichen Szenario einer atomaren Eskalation näher zusammen. Nahezu alle wichtigen Förderinstitutionen zu dieser Zeit waren militärischen Ursprungs, so auch die (D)ARPA⁶¹. Unter DARPA-Förderung wurden u.a. an folgenden Themengebieten geforscht: Vorläufer des Internets, Stealthbomber, Multi-User-Mainframe-Computer und diverse Elemente des PCs (z.B. die Maus als Eingabegerät) (nach [Gui99]).

Kurioserweise muss man im Zusammenhang von Forschung und unabhängiger objektiver Fördermittel im Falle der DARPA und Künstlicher Intelligenz ein wenig ins Schmunzeln kommen. Schätzungen des gesamten Förderanteils der DARPA an der KI in den 1960ern belaufen sich auf 75% bis 95% (nach [Gui98]).

Die Abteilung zur Förderung Information verarbeitender Systeme innerhalb der DARPA war das IPTO (Information Processing Techniques Office) unter der Leitung von *J. C. R. Licklider*. Obwohl nur wenige Jahre in dieser Position gelang es ihm die Förderstrategie und Politik von IPTO dauerhaft zu prägen, denn seine Nachfolger folgten der eingeschlagenen Richtung. Bevor *Licklider* zur DARPA wechselte war er Vizepräsident einer Computerfirma, die in Kooperation mit dem MIT an Modellen für *Timesharing* von Computern arbeitete. Zu den

⁶¹ Die (Defense) Advanced Research Projects Agency - (D)ARPA wurde im Laufe der Jahre einige Male um- und rückbenannt (nach [Mey04]). Ein sehr Medienträchtiges Ereignis, das die DARPA jährlich veranstaltet ist ein Rennen autonomer Fahrzeuge, die die Wüste von Nebraska durchqueren sollen. In weiterer Folge werde ich nur mehr von der DARPA schreiben, um den aktuellen Namen im Spiel zu halten.

Wissenschaftlern des MIT zählten Personen wie *Marvin Minsky* und *John McCarthy*⁶² (geb. 1927). Zu *McCarthy*s Arbeiten zählen z.B. die Konzeption der Programmiersprache *LISP* (Anmerkung: Abkürzung für List Processing) und die Erfindung des *Alpha-Beta-Algorithmus*, der entscheidend zur Stärke von Schachprogrammen beigetragen hat. Mit *Minsky*, der schon bei Licklider studiert hatte, und *McCarthy*, beide Vertreter des symbolischen Ansatzes, wurden Lickliders Vorstellungen zur weiteren Entwicklung der Computertechnologie stark beeinflusst. Wenige umfangreiche Projekte wurden mit sehr großen Summen unterstützt und in den 60er und 70er Jahren gab es keine andere Einrichtung, die die symbolische KI in derart hohem Ausmaß förderte. Das IPTO verfolgte dabei im Gegensatz zu vielen anderen DARPA Projekten eine differenzierte Strategie, praktisch Erfolg versprechende Anwendungen waren gefordert (nach [Mey04]).

“Military people want something that will work, and not something that will advance the theory of how to do AI [Gui99].“

J.C.R.

Licklider

7.4 Die Relativierung - NetTalk

Grundsätzlich scheint es zwar den *herausragenden Einzelerfinder* in der Technikentwicklung immer weniger zu geben, in der Entwicklung der KI spielen einzelne Personen jedoch bis heute eine große Rolle. Selbst wenn man in Rechnung stellt, dass die Bedeutung Einzelner durch nachträgliche Heroisierung und Mythenbildung oft überhöht dargestellt wird, lassen sich in der Geschichte der KI immer wieder herausragende Personen erkennen, die in der Entwicklung massiv beeinflussten und nachhaltig prägten ([Mey04] nach [SchuSchä00]).

Große Persönlichkeiten, die in der KI revolutionäre Grundsteine gelegt und Weiterentwicklungen ersannen und teilweise immer noch ersinnen waren u.a. der Logiker, Mathematiker und Kryptoanalytiker *Alan Turing*⁶³ (1912 – 1954), ein Kybernetiker der ersten Stunde war der Neurophysiologe, Psychologe und Philosoph *Warren McCulloch*⁶⁴ (1899-1969). Der finnische Ingenieur und Erfinder der *Self-Organising-Maps* (SOM), *Tuevo Kohonen*⁶⁵ und der Japaner *Kunihiko*

⁶² http://de.wikipedia.org/wiki/John_McCarthy - gelesen am 27.8.2006

⁶³ http://de.wikipedia.org/wiki/Alan_Turing - gelesen am 05.09.2006

⁶⁴ http://de.wikipedia.org/wiki/Warren_McCulloch - gelesen am 05.09.2006

⁶⁵ <http://de.wikipedia.org/wiki/Kohonen> - gelesen am 05.09.2006

Fukushima mit seiner Erfindung, dem *Neocognitron*, sind in den letzten Jahrzehnten zu zwei bedeutenden Vertretern der Neuronalen Netze geworden.

Man bedenke, dass in den frühen 1970ern der Begriff der *symbolischen* KI verschwand und dass allgemein nur mehr von *der* KI gesprochen wurde, die Forschung mit Neuronalen Netzen stellte keine große Konkurrenz mehr dar. Geschichtliche Darstellungen über die Entwicklung der KI, wie jene von [Hau85] und [Bod77] beinhalten nicht den geringsten Aspekt *Neuronaler Netze*, dem *Perceptron* bzw. der Person *Rosenblatt*.

Die (symbolische) KI geriet jedoch in den verstreichenden Jahren zunehmend unter Druck. *Minsky* und *Papert* hatten ihrerseits Versprechungen über die Macht der von ihnen propagierten Wissenschaft ausgesprochen, die nicht haltbar waren. Sie hatten sich in sehr ähnlicher Weise zu *Rosenblatt* verhalten, wenn es um die Sicherung des Erfolgs und damit der Förderung ihres Ansatzes ging.

1982 keimte das Interesse an NN wieder auf, *John Hopfield* präsentierte sein Werk, in dem abstrakte Theorien forciert wurden, der nationalen Akademie der Wissenschaften. In Japan begann man mit der Entwicklung von *denkenden Computern* für Anwendungen im Robotikbereich. 1989 erfolgte dann das *NN for Defense meeting*, bei dem sich über 160 Vertreter von Verteidigungsagenturen der US-Regierung einfanden und Anwendungsmöglichkeiten Neuronaler Netze präsentiert bekamen. Der multidisziplinäre Hintergrund der NN-Forschung ist bis heute um vieles größer als bei anderen Forschungsgebieten ([Top04] nach [NeIII96]).

Im Jahr 1987 wurde ein Neuronales Netz publik, dessen methodische Grundlage es war geschriebenen Text in noch nie da gewesener Qualität vorzulesen, also symbolische Sprache zu Audiosignalen zu decodieren. Diese Anwendung hieß *NetTalk* [SejRos87] und es handelte sich hierbei um einen enormen Rückschlag für die Vertreter der symbolischen KI, was vor allem in der wirtschaftlichen Komponente spürbar war. Die Summen, die zu dieser Zeit in die Erforschung und Entwicklung von derartigen Sprachsystemen flossen, waren enorm. An der regelbasierten Anwendung *DECtalk* war laut *Frey* und *Schach* [FrSch96] 15 Jahre gearbeitet worden. Jahrelange Bemühungen der symbolischen KI wurden in extrem kurzer Zeit (250 Mannstunden inkl. Simulationszeiten) von *Charles Rosenberg* (nähere Angaben zur Person nicht eindeutig auffindbar) und dem Neurophysiker *Terry Sejnowski*⁶⁶ in ihrer Qualität und den Entwicklungskosten

⁶⁶ http://en.wikipedia.org/wiki/Terry_Sejnowski - gelesen am 26.08.2006

relativiert. Die vorhandenen Quellen im Internet sind leider in ihrem Informationsgehalt sehr spärlich. Oftmals findet man nur eine kurze Zusammenfassung des revolutionären Einschlags dieser Anwendung. Es gibt allerdings eine sehr interessante Zusammenfassung⁶⁷ von *Scott Fahlman*⁶⁸ (geb. 1948), jenem Wissenschaftler, der einen Lernalgorithmus zweiter Ordnung, genannt *Quickprop* [Fah88], konzipierte. Wann diese Zusammenfassung erstellt wurde ist nicht näher angegeben. Je weiter Entwicklungen in der Zeit zurück liegen, desto mehr werden sie vergessen bzw. sind sie einem breiteren Publikum aufgrund mangelnder Dokumentation und spärlicher Informationsflüsse verschlossen. Deshalb werden nun ein paar Eckpunkte von *NetTalk* wider gegeben, die sich mit der konzeptionellen Seite befassen. Abbildung 7.2 zeigt die von mir auf Basis der narrativen Beschreibung Fahlmans erstellte Netzwerktopologie.

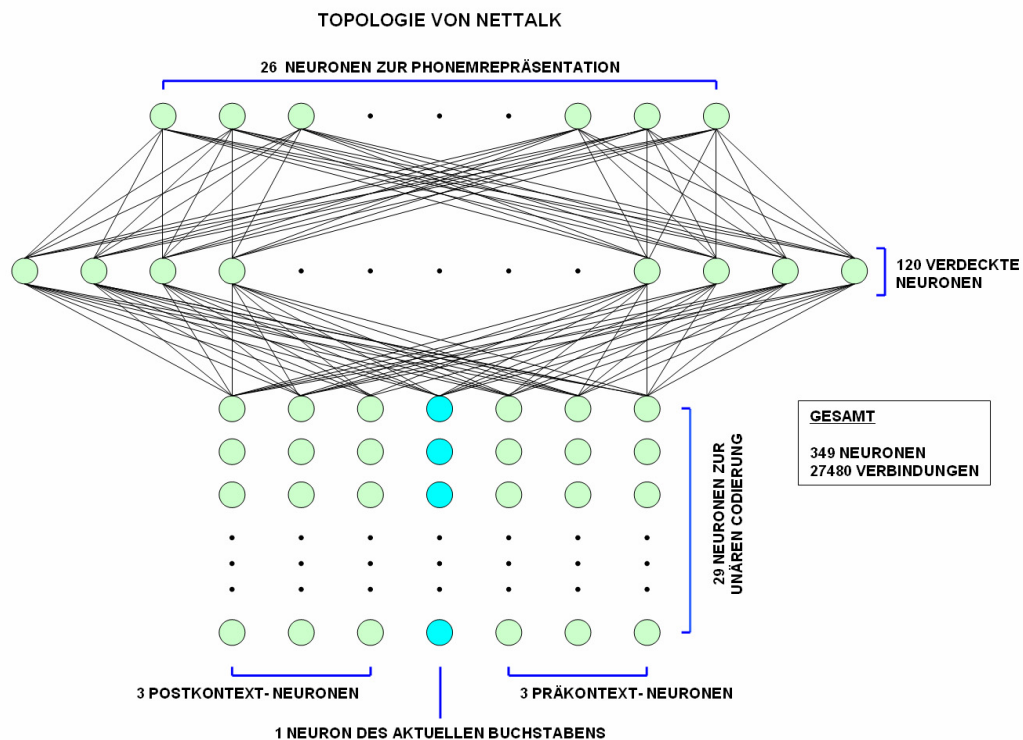


Abbildung 7.2: Netzwerktopologie von NetTalk (eigene Darstellung)

⁶⁷ http://www.ics.edu/~mleran/databases/undocumented/connectionist-bench/nettalk/nettalk_names - gelesen am 26.08.2006

⁶⁸ http://en.wikipedia.org/wiki/Scott_Fahlman - gelesen am 26.08.2006

Das Netzwerk verfügt über 7 Inputneuronen, wobei das mittlere vierte Neuron dieser Kette den größten Einfluss auf das aktuelle Phonem haben sollte. Die Nachbarneuronen 1-3 bzw. 5-7 repräsentierten den Einbettungskontext, also zeitliche Vorgänger- und Nachfolgesilben. Nachdem die Eingabedaten unär (engl. unary) codiert wurden ergeben sich für jedes horizontale Inputneuron 29 vertikale Neuronen, die alle möglichen Eingangszustände abdecken. Der Wertebereich umfasst dabei die 26 Buchstaben (A-Z) und 3 Satzzeichen, die auf die Wortbetonung entscheidenden Einfluss haben. Unäre Codierung bedeutet, dass je Spalte dieser (29x7)- Eingabeneuron-Matrix nur ein Eingangszustand aktiv sein kann.

Sejnowski und *Rosenberg* variierten während des Entwicklungsprozesses die Anzahl der verdeckten Neuronen [0 (keine verdeckte Schicht), 15, 30, 60, 120 (beste Performanceergebnisse)].

Die englische Sprache besteht aus 24 Phonemen, das sind Lautgruppen. Je nach ihrer Position in einer Wortfolge bzw. im Satzbau werden Silben unterschiedlich adaptiert und ausgesprochen. Die Repräsentation eines jeden Phonems erfolgt in der Ausgabeschicht durch 21 Neuronen als binärer Vektor, berücksichtigt werden hierbei u.a. die Betonung und Selbstlaute bzw. Doppelvokale. Anspannung und Silbengrenzen werden in weiteren 5 Outputneuronen berücksichtigt.

Noch während des Lernprozesses wurden die Netzwerkoutputs akustisch umgesetzt. Vernehmbar war in der Anfangsphase ein unzusammenhängendes Brabbeln, ähnlich einem kleinen Kind das zu sprechen lernt. Dies änderte sich mit der Anzahl der Trainingszyklen, die Performance wird im Allgemeinen so beschrieben, als würde ein Schulkind einen Text vorlesen. Verblüffend war dabei sicher dieser Lernaspekt, anhand dessen man eine Lernentwicklung auf diese Art bezeugen und miterleben konnte.

Die Frage nach dem originalen Trainingsdatensatz kann nicht mehr beantwortet werden, da er entweder nicht gespeichert wurde oder durch ein Missgeschick verloren ging. *Fahlman* gibt in seiner Zusammenfassung eine Liste von 1.000 Wörtern wider, die den ursprünglichen Datensatz annähern sollten. Nach 30 Lernzyklen wurden bei dem Modell mit 120 verdeckten Neuronen 98% der Wörter korrekt wider gegeben. Der volle Korpus der zur Verfügung stehenden Wörter umfasste 20.000. Das mit 1.000 Wörtern trainierte Netz erzielte im Test einen Anteil von 77% richtig gelesenen Wörtern. Ein zusätzliches Training für 5 Zyklen über die gesamte Palette erhöhte diesen Wert auf 90%.

Laut *Fahlman* berichtete *Sejnowski* von unpublizierten Experimenten, in denen eine bessere Generalisierung erreicht wurde. Hier wurde ein Fenster von 11 horizontalen Neuronen als Eingabe benützt. Von den 20.000 Wörtern wurden 18.000 für das

Training benutzt, die restlichen 2.000 für das Testen, wo 92% der Phoneme korrekt wider gegeben wurden.

In der Wissenschaft konkurrieren häufig verschiedene Methoden, die Rückkehr eines Ansatzes aus einer Defensivposition ist vielleicht gar nicht so selten wie man glauben möchte. Situationen und Ereignisse als Ausgangspunkt der Verlierer für die Wiedereröffnung ([Mey04] basierend auf [Col00]) einer Wissenschaftskontroverse können sein:

- Ein Versuch und die damit verbundenen Versuchsergebnisse lassen sich entgegen der Erfahrungen während der Kontroverse doch reproduzieren.
- Andere Forschungsgruppen bestätigen Ergebnisse oder schließen sich der Theorie der *undead science* (Anm.: in Vergessenheit geratener Ansatz) an.
- Neue Möglichkeiten der Veröffentlichung oder der Schaffung von Öffentlichkeit ergeben sich.
- Staatliche oder privatwirtschaftliche Einrichtungen entscheiden sich zur Förderung des unterlegenen Ansatzes.
- Neue Erklärungsansätze oder Modelle ermöglichen eine bessere Integration der abgelehnten Forschungsergebnisse in bestehenden Theorien.
- Das Erklärungsmodell der *core-group* (Anm.: Kerngruppe der Gegner eines Ansatzes), der Gewinner der Kontroverse, erweist sich als inkonsistent oder unzureichend für weitere Entwicklung.

7.5 Moderne Anwendungen Neuronaler Netze

In den frühern 1990ern wurde eine weitere Netzwerkarchitektur konzipiert, das zur automatischen Spracherkennung verwendet werden sollte. Es handelt sich hierbei um das Time-Delay-Netz (Time Delay Neural Network – TDNN) [WaiHam89] [Haf89] [Wai89] [LaWaHi90] [HaFrWa91]. TDNN werden z.B. in der Prognose der Sekundärstruktur von Proteinen eingesetzt, auch in der Verkehrsprognose war es bereits Forschungsgegenstand [vLindtHo00]. In jüngeren Publikationen (z.B. [IshAle02]) finden weitere Netzwerkarchitekturen ihren Weg in die Kurzfristprognose von Verkehrskenngrößen. Modulare Neuronale Netze (MNN), Probabilistische Neuronale Netze (PNN) und Multi-Layer Perceptrons (MLPs) sind neben TDNN in Kombination sehr viel versprechend. Im nächsten Kapitel wird auf die eingesetzten Methoden eingegangen. Die Kombination mit Genetischen Algorithmen (GA) eröffnet eine weitere interessante Form des Lernens, das Paradigma der Selbstorganisation spielt eine wichtige Rolle in komplexen Systemen, deren Beschreibung und deren Abbildung. Jedes Verfahren, jeder Algorithmus birgt

seine individuellen Schwächen, hybride Systeme können synergetisch zu besseren Modellen führen.

In der Gesichtserkennung werden Neuronale Netze bereits sehr effektiv eingesetzt [HakHak94], eine simultane Sprachübersetzung wurde meines Wissens noch nicht erzielt. Implantate für Netzhaut und Innenohr, die blinden und tauben Menschen ihre Sinne rekonstruieren sollen stammen aus der Mikrosystemtechnik, einem Markt mit einem geschätzten Volumen von 277 Mrd. Euro⁶⁹. Bei der Echtzeitverarbeitung in solchen komplexen Mikrosystemen sind NN in sparsamer Hardwareausführung im Einsatz. Es handelt sich hierbei um ein Neuronales Netz, welches als Hardware vorliegt und entgegengesetzt zu anderen Anwendungsbereichen nicht auf *von Neumann-Rechnern* seriell simuliert wird. In der Tat gibt es bereits verschiedenste Hardwareausführungen von Neuronalen Netzen, die einfach kalibriert werden können und wirkliche Echtzeitverarbeitung in Aussicht stellen. Pseudoparallele Simulation schlägt ihre Brücke zur Hardwareimplementierung.

Ein Mensch benötigt etwa 100 ms, um ein Gesicht zu erkennen. Das bedeutet, dass etwa 100 Schichten von Neuronen (Feuerfrequenz etwa 100 Hz) durchlaufen werden, bis eine Assoziation errechnet wurde. Wenn man bedenkt, wie weit man in 100 seriellen Schritten einer Programmsequenz kommt, ist die massive Parallelität des Neuronalen Netzes ein enormer Leistungs⁷⁰- und damit auch Zeitvorteil.

Hardwareausführungen von Neuronalen Netzen hatten in den frühen 1990ern eine Feuerfrequenz von 817 MCPS (Millions of Cycles per Second) im Recall und 330 MCPS beim Lernen (nach [Zell00]).

Hochdimensionale Probleme und Echtzeitfähigkeit sind zwei Begriffe, die sich heute leider noch viel zu wenig überschneiden. Die Rechenzeiten im Training von Neuronalen Netzen, sehr wohl aber auch beim Einsatz diverser statistischer Clusterungsverfahren und Fuzzy-Algorithmen sind intensiv. Verteiltes Rechnen auf Server-Clustern bietet Abhilfe. Die Simulationen wurden auf einem Pentium 4 mit 1 GB RAM durchgeführt. Keine dauerte länger als einen Lauf über Nacht und dies bei zusätzlicher genetischer Optimierung, bei der eine gesamte Population an NN über dutzende Generationen simuliert werden. Für die Endanwendung spielen begrenzter Raum, Kostengünstigkeit, Serientauglichkeit, Ressourcenschonung, Nachhaltigkeit, Energieverbrauch und vor allem die Geschwindigkeit der Bereitstellung genauer Information wichtige Rollen. Die Frage, inwieweit hier

⁶⁹ <http://www.research-in-germany.de/...>

...coremedia/generator/dachportal/de/Querschnittsinnovationen/Mikrosysteme.html-20.2.2007

⁷⁰ Leistung = Arbeit/Zeit

Neuronale Netze eine Rolle spielen werden, vielleicht sogar jetzt schon in verschiedenen Einsatzbereichen eine Rolle spielen, wird noch weiter zu verfolgen sein. Technologie ersetzt verloren gegangene Fähigkeiten des Menschen und hilft ihm Einschränkungen zu mildern. Neuronale Netze sind mittlerweile an der Regelung von Bewegungen, auch bei der Imitation des menschlichen Ganges (z.B. von *Russ Tendrake*⁷¹ vom MIT), beteiligt.

Durch die Publikation der Papers *Neural Networks supporting Causal Reasoning in Traffic Telematics* [TopAsaDin07] und *Self Organizing Maps for Traffic Prediction* [AsaDinTop07] bei der 25. Internationalen Multi-Konferenz für angewandte Informatik, Teilkonferenz Artificial Intelligence and Applications (AIA), der International Association of Science and Technology for Development (IASTED) war es mir und meinem Freund und Kollegen Johannes Asamer möglich, Einblick in aktuelle Anwendungen auf dem Gebiet der NN zu gewinnen.

Die Teilnehmerzahl belief sich für die AIA Teilkonferenz auf etwa 90 Personen aus 48 Nationen. Das Hauptaugenmerk richtete sich auf neue Anwendungen, in denen die KI Gebrauch findet. Neben Genetischen Algorithmen, Data Mining und intelligenten Agenten waren auch Neuronale Netze in zwei halbtägigen Sessions ein Kernprogrammepunkt.

Anwendungen waren beispielsweise:

- Medizin: Diagnose von Blutpfropfen [SanRed07]
- Maschinenbau: Vorhersage der Oberflächengüte bei Schleifprozessen [AgCrThDo07]
- Nichtlineare Dynamik/Chaostheorie: Generalisierung bei parallel-evolutionären künstlichen Neuronalen Netzen (Mackey-Glass Funktion) [DavLip07]
- Medizin: HIV-Forschung – Läsionenerkennung und Mammogramm-Klassifikation [ViHaPrDeVePa07]
- Geologie: Aufspüren verwertbarer Ölfelder [AlArKr07]
- Werkstoffwissenschaften: Klassifikation struktureller Fehler in Gaszylindern [NeChDeCl07]
- Elektronik/Qualitätssicherung: Modellierung von Rauscheffekten in Prozessorchips [NawChe07]

Einige der vorgestellten Anwendungen bieten erhebliches Einsparungspotential zu bestehenden Verfahren, andere Stellen überhaupt erst einen ersten Schritt zu noch ungelösten Problemen.

⁷¹ <http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/4275815.stm> - gelesen am 01.08.2006

Eines dürfen wir jedoch nicht vergessen: Wir Kybernetiker, die versuchen Abbilder von sozio-technischen Systemen zu modellieren, auf deren Basis wir und vor allem andere Entscheidungen treffen, müssen unsere Arbeit vertreten. Kontraintuitives Verhalten, Fehlinterpretation und die falsche Annahme, dass es zu keiner Emergenz kritischer Systemzustände kommen könnte sind die Schwächen der eigenen biologischen Existenz, deren Verständnis durch Erfahrung begründet wird und weiter wächst. Dessen müssen wir uns bewusst sein, denn viele andere sind es nicht. Wir beurteilen die beobachtete Welt auf Basis der gesammelten Daten visuell, logisch, mathematisch bzw. numerisch. Wir brauchen viel Ethik, damit unsere Beschreibungen richtiger und vertretbarer sind.

„Eine wissenschaftliche Argumentation gibt einen Großteil der Verweise auf die Relevanz der wissenschaftlichen Arbeit zugunsten von Glaubwürdigkeit auf. Sie erhebt den Anspruch, nicht zielgerichtet etwas Bestimmtes erreichen oder verändern zu wollen, sondern nach Weisheit zu streben. Die Schlüsse, die aus den Ergebnissen zu ziehen sind, muss der Beobachter ziehen, Wissenschaft stellt nur die Fakten dar [Mey04].“

Komplexe Systeme sind nicht deterministisch, es herrscht ein Zusammenspiel zahlreicher Systemelemente, die Freiheitsgrade darstellen, über eine unüberschaubare Struktur. Auch Selbstorganisationsprozesse von Individuen in unzähligen Situationen gehören hierher. Selten herrscht Ordnung, die ständige Systemevolution macht sie deterministisch chaotisch, in vielen Fällen sogar nur mehr chaotisch. Mit dem folgenden Zitat schließt nun dieses Kapitel.

„Ich betone die Tatsache dass ‚Daten‘ nicht Ereignisse oder Objekte sind, sondern stets Berichte, Beschreibungen oder Erinnerungen von Ereignissen oder Objekten. [...] Zudem kommt es immer und unausweichlich zu einer Selektion der Daten, weil nicht das gesamte vergangene und gegenwärtige Universum Untersuchungsgegenstand vom Standpunkt eines beliebigen Beobachters aus ist. Streng genommen sind daher überhaupt keine Daten wirklich ‚nackt‘, und jeder Bericht ist irgendwie durch seine Abfassung und durch Transformation entweder durch einen Menschen oder durch seine Instrumente verändert worden. Dennoch sind aber die Daten die verlässlichste Informationsquelle, und von ihnen muss der Wissenschaftler ausgehen. Sie liefern ihm die erste Inspiration, und zu ihnen muss er später zurück kehren [Bate85].“

Gregory Bateson

Kapitel 8

Fortgeschrittene Feed Forward Architekturen zur Echtzeitprognose

„Die Logik kann oft umgekehrt werden, aber die Wirkung geht nicht der Ursache voraus. [...] Lineares Denken wird immer entweder den teleologischen Trugschluss (dass das Ende den Prozess determiniert) oder den Mythos von irgendeiner übernatürlichen Kontrollinstanz hervorbringen. Wenn aber kausale Systeme zirkulär werden, dann kann eine Veränderung in irgendeiner Variable irgendwo in dem Kreis angesehen werden. Es sieht demnach so aus, als könne ein Temperaturanstieg im Raum als Ursache für die Veränderung im Schalter des Thermostats angesehen werden und, alternativ, als könne man die Aktion des Thermostats als eine Steuerung der Raumtemperatur betrachten [Bate87].“

Gregory Bateson

8.1 Klassischer Nichtlinearer Assoziator: MLP

Das *Multi-Layer Perceptron* (MLP) ist die am häufigsten implementierte Netzwerkarchitektur. Für die statische Mustererkennung ist ein MLP mit zwei verdeckten Schichten universell einsetzbar. Mit anderen Worten ausgedrückt können die diskriminanten Funktionen jede Form annehmen, die durch die Clusterstruktur der Eingangsdaten erforderlich ist (nach [NeuroSol03]).

Das MLP ist die Erweiterung von Rosenblatts Perceptron. Durch die Einführung von verdeckten Schichten werden *logische Entscheidungsebenen*, wie sich Jakubek in seiner Vorlesung ausdrückte, eingeführt, die eine Abbildung nichtlinearer Funktionen erlauben. Jakubek meinte außerdem, dass es kein MLP mit mehr als 2

verdeckten Schichten gibt, dass für eine Anwendung brauchbar ist. Nun, dem muss ich im Namen einiger Teilnehmer der AIA 2007⁷² im Februar 2007 widersprechen. Hier wurden Anwendungen präsentiert, bei denen MLPs beispielsweise 4 verdeckten Schichten zum Einsatz kamen. Eine der ersten Arbeiten in der Kurzzeitprognose von Verkehrsdaten in Österreich, in denen MLPs zum Einsatz kamen, war [Top04]. Hier wurde z.B. ein MLP mit 3 verdeckten Schichten bei der Prognose von Verkehrsstärken eines Autobahnabschnittes bevorzugt. Eine Darstellung der MLP-Architektur findet sich in Abbildung 8.1. Die Neuronen einer jeden Schicht sind mit den Neuronen der jeweils nächst höheren Schicht verbunden.

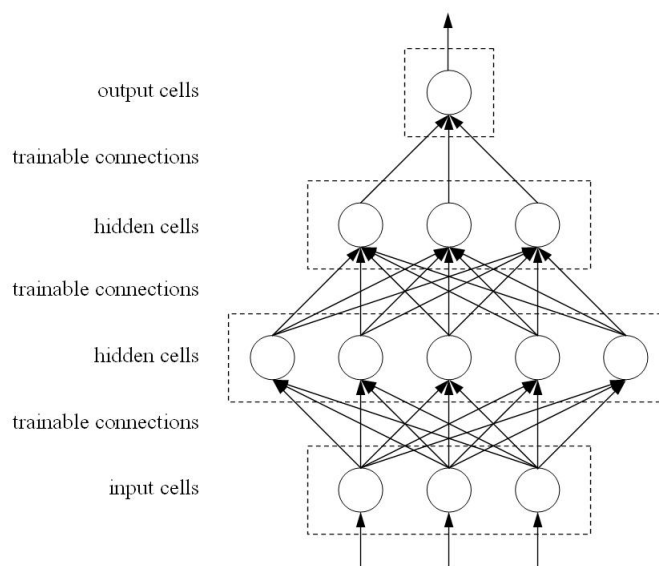


Abbildung 8.1: Multi Layer Perceptron MLP (eigene Darstellung)

8.2 Nichtlinearer Generalisierer 2. Ordnung: GFFN

Ein generalisierendes Feed-Forward Netz (GFFN) ist ein modifiziertes MLP und zwar dahin gehend, dass die Neuronen einer jeden Schicht mit allen Neuronen aller nachfolgenden Schichten verbunden sind. Den Entwicklern von NeuroSolutions zufolge ergeben sich bei dieser Architekturen Vorteile, wie ein geringerer Bedarf an Trainingsdaten und bessere Ergebnisse im Vergleich zu MLPs bei diversen Benchmarkbeispielen, wie dem Zwei-Spiralen-Problem. Obwohl bei [Top04] GFFN für die beiden dort durchgeführten Analysen zum Einsatz kamen, waren sie den

⁷² Artificial Intelligence and Applications (AIA), veranstaltet von der International Association of Science and Technology for Development (IASTED)

MLPs unterlegen. Das soll jedoch kein Hindernis für eine Gegenüberstellung der hier vorgestellten Verfahren in dieser Arbeit sein. Eine Darstellung der GFFN-Architektur liefert Abbildung 8.2.

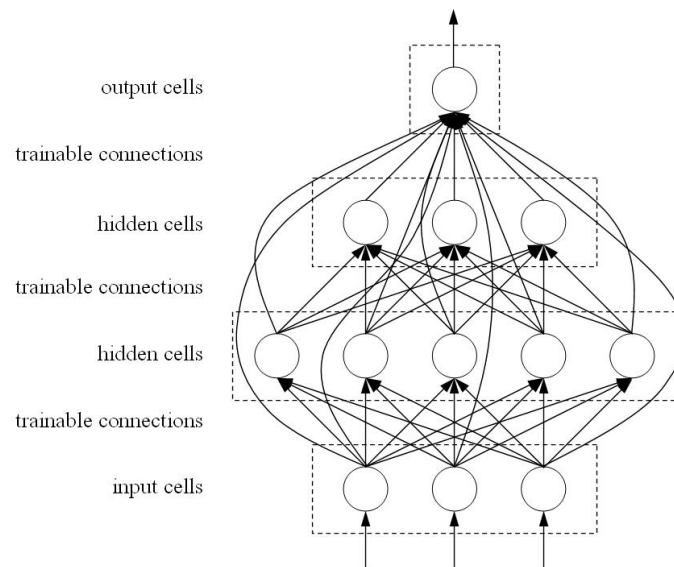


Abbildung 8.2: Generalized Feed Forward Network GFFN (eigene Darstellung)

8.3 Regionale Konzentration: Modular NN

Modulare NN (Abbildung 8.3) sind eine spezielle Klasse multipler paralleler MLPs. Die Eingangsdaten werden in mehreren MLPs verarbeitet und die so entstehenden Ergebnisse kombiniert. Diese Netzwerkart ermöglicht eine höhere Detaillierung in der Abbildung der Eingangsfunktion in jedem Sub-Modul, es ist auch keine vollständige Interkonnektivität zwischen den MLP-Schichten erforderlich. Modulare NN sind daher oft schneller zu trainieren, die geringere Anzahl an Gewichten bei vergleichbarer Netzwerkgröße wirkt hier positiv. Das Grundprinzip dieser Architektur orientiert sich am Konzept des *Divide and Conquer* (teile auf bevor du erobert). Ein komplexes System reflektiert ein großes Problem. Es ist einfacher, viele kleinere und einfache Probleme zu lösen, deren Lösungen sich dann zur Lösung des gesamten Systems vereinigen (nach [NeuroSol03] und [IshAle02]).

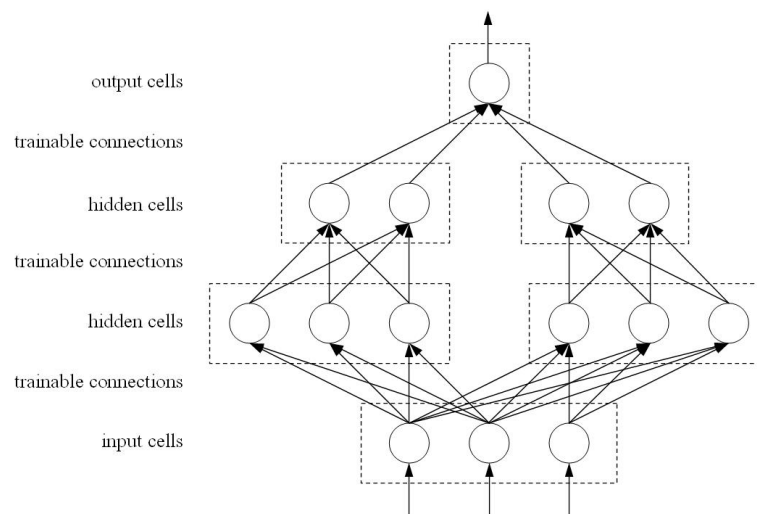


Abbildung 8.3: Modular NN (eigene Darstellung)

8.4 Kurzzeitgedächtnis: Elman-Netzwerk

Elman-Netzwerke gehören der Klasse partiell rekurrenter NN an und sind nach deren Erfinder *Jeffrey L. Elman*⁷³ (Linguist und Professor an der Universität von Kalifornien) benannt. Partiiell rekurrente NN (PRNN) eignen sich zur Abbildung zeitabhängiger Muster und damit auch zur Vorhersage von Zeitreihen. Im mathematischen Sinn ist eine Zeitreihe eine Folge von Vektoren einer beliebigen Messgröße. Aktuelle Zustände basieren auf zeitlich vorhergehenden Zuständen. Aus diesem Grund ist nicht nur das aktuelle Muster an sich, sondern auch dessen Position in der gesamten zeitlichen Sequenz wichtig (nach [HofSchi07]).

Das Merkmal partiell rekurrenter NN ist, dass sie über spezielle verdeckte Neuronen (Kontextneuronen) verfügen, mit deren Präsenz es möglich ist, eine Art Kurzzeitgedächtnis in der Netzwerkstruktur einzubetten. Dies geschieht durch Feedbackverbindungen, die je nach Topologie den Netzwerkoutput oder aber auch den Output einzelner bzw. mehrerer verdeckter Schichten zurück zu den Kontextneuronen leiten. Diese wiederum speichern diese Eingabe und geben sie entweder voll oder abgeschwächt an die verbundene(n) Schicht(en) weiter.

⁷³ <http://crl.ucsd.edu/~elman/> - gelesen am 12.6.2007

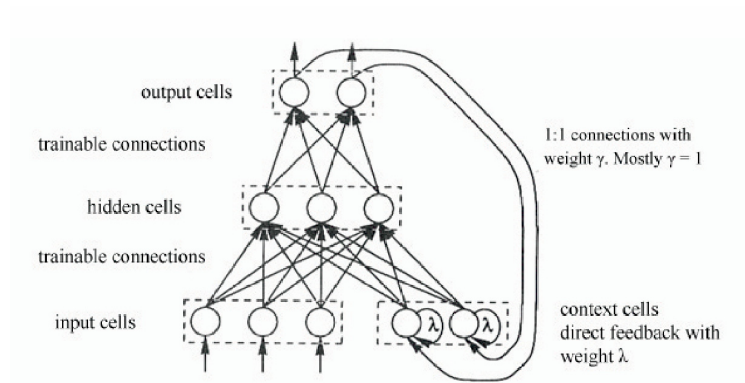
Laut Hoffmann und Schindler [HofSchi07] gibt es für diese Architektur modifizierte Lernverfahren, die effizienter sind als jene für rekurrente NN.

Jordan-Netzwerke (Abbildung 8.4.a) sind PRNN, die den Output des FF-Teils speichern und für den nächsten Durchgang erinnern. Zusammen mit der Inputschicht liefern die Kontextneuronen den Input für die verdeckte Schicht. Die Anzahl der Kontextneuronen entspricht jener der Outputneuronen. Die Gewichte zwischen der Output- und der Kontextschicht werden nicht trainiert und haben üblicherweise den Wert 1 (nach [HofSchi07]).

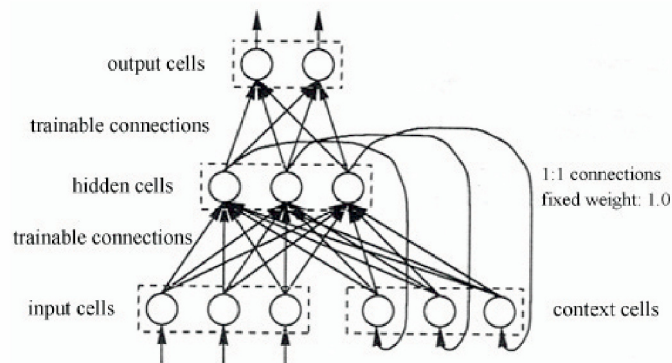
Das Erinnerungsvermögen entsteht durch die Zuweisung eines Feedback-Parameters $\lambda \in (0,1)$, der die Stärke einer Selbstreferenzschleife angibt. Auf diese Weise kann die Sensitivität des Netzes auf eine Einbettungssequenz im Vorfeld eingestellt werden (nach [Zell]). Für $\lambda \approx 0$ vergisst das NN schnell, reagiert jedoch schnell auf kürzliche Veränderungen. Für $\lambda \approx 1$ bleiben länger zurückliegende Outputs eher erhalten und $\lambda = 1$ bedeutet, dass alle zurückliegenden Outputs schlicht aufsummiert werden. Ein Wert $\lambda = 0.5$ kann als Kompromiss aufgefasst werden, bei dem alte und neue Outputs gleichermaßen erinnert werden (nach [HofSchi07]). Laut *Jordan* würde eine solche Wahl die Performance im Gegensatz zu einem FF-NN ohne Kurzzeitgedächtnis nicht signifikant steigern (nach [Jor86]).

Elman-Netzwerke (Abbildung 8.4.b) sind modifizierte *Jordan*-Netzwerke, die deren Nachteil ausgleichen, die netzinternen Zustände nicht erinnern zu können. Sie besitzen Feedbacks zwischen den verdeckten Schichten und den Kontextneuronen. Es gibt jedoch keine Verbindungen zwischen der Outputschicht und den Kontextneuronen. Die Anzahl der Kontextneuronen muss jener der verdeckten Neuronen in der Schicht des vorgelagerten Signalflusses entsprechen. Analog zum *Jordan*-Netzwerk gestalten sich die zugehörigen Gewichte dieser Substruktur (1 für den vorgelagerten Signalfluss und $\lambda \in (0,1)$ für den Recall des Kurzzeitgedächtnisses). Eine Erweiterung der *Elman*-Netze sind *hierarchische Elman-Netze* (Abbildung 8.4.c). Diese können mehrere Verdeckte Schichten haben, die wiederum eine eigene korrespondierende Kontextschicht haben. Für jede Kontextschicht kann ein separater Kontextparameter festgelegt werden. So können

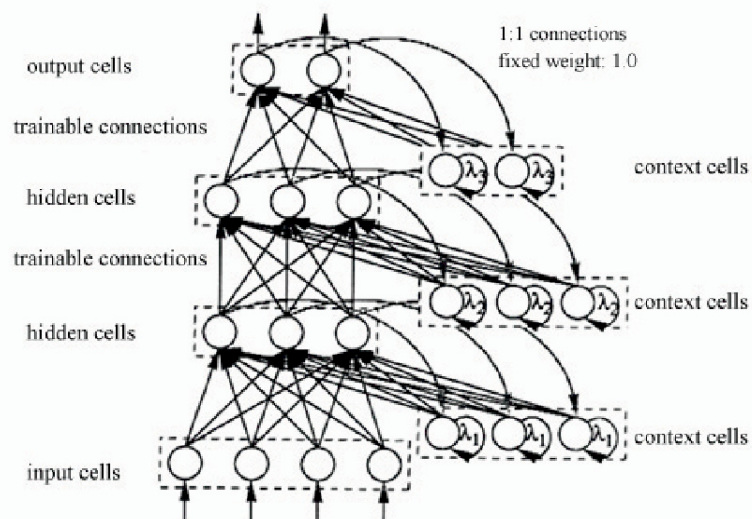
bessere Abbildungen als mit Jordan- od. Elman-Netzen erzielt werden (nach [Zell00]).



a. Jordan-Netzwerk



b. Elman-Netzwerk



c. hierarchisches Elman-Netzwerk

Abbildung 8.4: Jordan- und Elman-Netzwerke (aus [Zell94]).

8.5 Nichtlinear hybrid unüberwacht: Radiale Basisfunktionen Netzwerk (RBF-NN)

Radiale Basisfunktionen (RBF) Netzwerke sind spezielle Feed-Forward NN, die nur eine verdeckte Schicht besitzen. Die dort befindlichen p Neuronen haben radial-symmetrische Aktivierungsfunktionen G , die als Basisfunktionen eines Funktionensystems zur Approximation multidimensionaler Eingangsfunktionen dienen.

$$G(x) = \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{k=1}^p (x_k - \bar{x}_k)^2\right] \quad (8.1)$$

Die Approximation erfolgt durch das Einstellen der spezifischen Werte der Basisfunktionen auf Basis der Trainingsdaten (nach [Zell00]). Am häufigsten wird dabei das k -nearest neighbor Clusterverfahren eingesetzt. Der Eingaberaum wird dabei in k Cluster eingeteilt, wobei die Größe eines jeden von der Struktur der Eingangsdaten abhängt. Die Zentren der Cluster entsprechen den Zentren, die Abstände der Cluster entsprechen den Breiten der Basisfunktionen (lt. NeuroSolutions). Die Einstellung der RBF erfolgt über einen unüberwachten Lernteil zu Beginn der Simulation. Probleme können sich hierbei durch die Wahl der Clusteranzahl bzw. der RBF ergeben.

Die Adaption des Netzes an die Trainingsmuster erfolgt überwacht, wie bei den übrigen FF-Architekturen. Dabei werden die Ausgänge der verdeckten Schicht linear gewichtet und aufsummiert.

$$F(x) = \sum_{i=1}^N w_i(G(x)) \quad (8.2)$$

Im Vergleich zu MLPs verläuft das überwachte Lernen durch das lineare Aufsummieren effektiver, in der Praxis zeigt sich lt. den Entwicklern von NeuroSolutions jedoch häufig, dass MLPs besser abschneiden. Dies liegt lt. NeuroSolutions oft daran, dass zu wenige RBF nichtlinear separierbare Cluster generieren. Zum Abschluss ist in Abbildung 8.5 ein RBF-NN schematisch dargestellt.

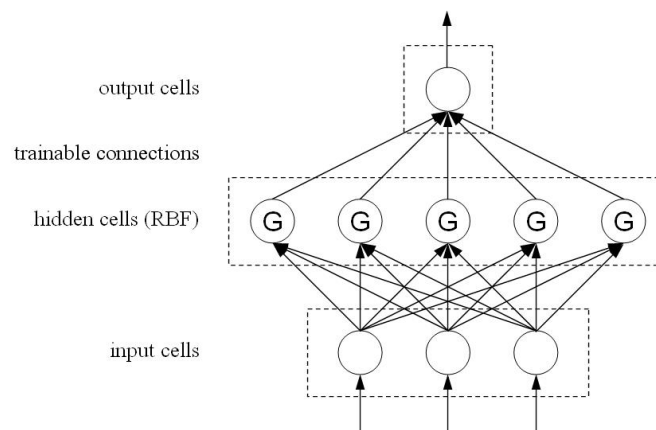


Abbildung 8.5: RBF-Netzwerk (eigene Darstellung)

8.6 Support Vector Machine (SVM)

Die Support Vector Machine (SVM) ist eine neuere Art der Klassifikation, die sich an zwei Konzepten orientiert (vgl. Neurosolutions). Zuerst werden die Daten in einen hochdimensionalen Raum transformiert. Man erwartet sich davon, dass komplexe Probleme (mit komplexen Entscheidungsoberfläche) in einfachere Probleme überführt werden können, die mit linearen diskriminanten Funktionen beschrieben werden können. Des weiteren sollen bei SVMs nur solche Eingänge für das Training verwendet werden, die nahe der Entscheidungsoberfläche liegen, da sie die meiste Information über die Klassifikation enthalten.

Die Transformation in einen hochdimensionalen Raum geschieht bei NeuroSolutions mithilfe einer RBF-Komponente, die für jedes Datensample ein Gauss-Neuron vorsieht. Dadurch wird der Merkmalsraum (Feature Space) so groß wie die Anzahl der Eingangsvektoren. Das RBF wird über Backpropagation-Verfahren trainiert, um die Linearkombinationen der Gauss-Propagierungsfunktionen anzupassen. Dies entkoppelt die Kapazität des Klassifizierers und sorgt gleichzeitig für gute Generalisierung.

Der Adatron-Algorithmus vervollständigt das RBF-Netzwerk durch Substitution des inneren Produkts der Muster im Eingaberaum mithilfe der Kernel-Funktion, was zum folgenden quadratischen Optimierungsproblem führt:

$$J(\alpha) = \sum_{i=1}^N \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_i \alpha_j d_i d_j G(x_i - x_j, 2\sigma^2) \quad (8.3)$$

ist Subjekt für $\sum_{i=1}^N d_i \alpha_i = 0$ mit $\alpha_i \geq 0, \forall i \in (1..N)$.

Wir können

$$g(x_i) = d_i \left(\sum_{j=1}^N d_j \alpha_j G(x_i - x_j, 2\sigma^2) + b \right) \quad (8.4)$$

mit $M = \min_i g(x_i)$ definieren und einen Startmultiplikator von z.B. $\alpha_i = 0$, eine Lernrate η und einen sehr kleinen Schwellwert von z.B. $t = 0,001$ wählen. So lange $M < t$ bleibt wählen wir ein Muster x_i und berechnen ein Update

$$\Delta \alpha_i = -(1 - g(x_i)). \quad (8.5)$$

Die Adaptierung des Multiplikators erfolgt dann mit

$$\begin{cases} \alpha_i(n+1) = \alpha_i(n) + \Delta \alpha_i(n), & b(n+1) = b(n) + d_i \Delta \alpha_i & \text{wenn } \alpha_i(n) + \Delta \alpha_i > 0 \\ \alpha_i(n+1) = \alpha_i(n), & b(n+1) = b(n) & \text{wenn } \alpha_i(n) + \Delta \alpha_i \leq 0 \end{cases} \quad (8.6)$$

Nach der Adaption sind nur wenige α_i von 0 verschieden (Support Vectors). Sie korrespondieren zu den Eingabevektoren, die den Klassengrenzen am nächsten liegen. Dieser Algorithmus wird als Kernel-Adatron bezeichnet und kann ein RBF-Netzwerk so adaptieren, dass es einen optimalen Margin aufweist. Lt. NeuroSolutions kann dieser Algorithmus als Online-Version des quadratischen Optimierungsproblems, welches für SVMs instrumentalisiert wurde, betrachtet werden. Er findet die selben Lösungen wie der ursprünglich von Vapnik konzipierte Algorithmus für SVMs. Der Kernel-Adatron Algorithmus kann leicht implementiert werden, da $g(x_i)$ lokal für jeden Multiplikator berechnet werden kann, vorausgesetzt die erwarteten Modellantworten liegen vor. Der Ausdruck für $g(x_i)$ modelliert die Multiplikation eines Fehlers mit einer Aktivierung, wodurch sich ein neues Paradigma für NN-Lernverfahren eröffnet. Der Adatron-Algorithmus stutzt (prunes) das RBF-Netzwerk, sodass der Output für das Testen durch

$$f(x) = \text{sgn} \left(\sum d_i \alpha_i G(x - x_i, 2\sigma^2) - b \right) \quad (8.7)$$

gegeben ist.

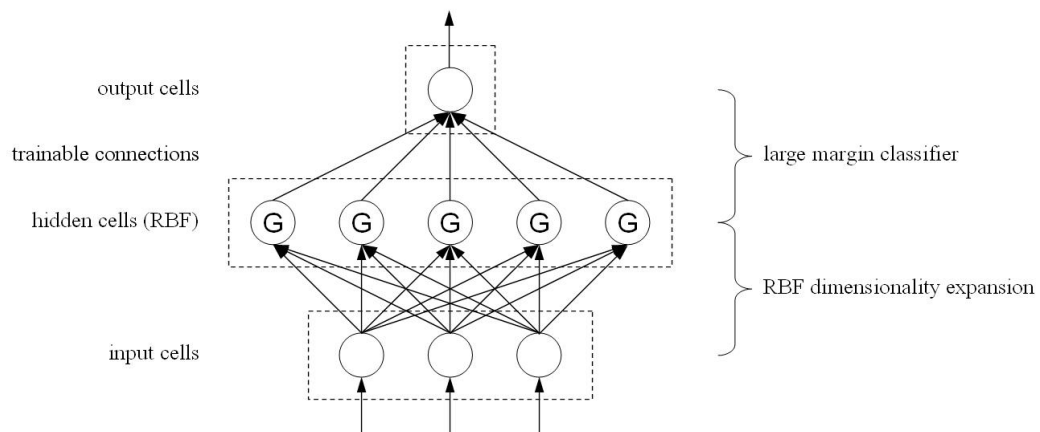


Abbildung 8.6: Support Vector Machine (eigene Darstellung in Anlehnung an NeuroSolutions)

8.7 Populationsgedächtnis: Genetische Algorithmen (GA) zur Netzwerkoptimierung

Die Suche nach einem optimalen NN kann sich mitunter als sehr aufwändig gestalten. Bedingt durch die zufällige Initialisierung der Netzwerkgewichte, die Wahl der Anzahl an verdeckten Neuronen und der variablen Lernparameter ergeben sich viele potentiell mögliche Modelle. In den 1990ern zog das biologisch an der Evolutionstheorie angelehnte Konzept der evolutionären Algorithmen (EA) mit der Unterkategorie der genetischen Algorithmen (GA) in das Forschungsgebiet des Konnektionismus ein. GA gehören den heuristischen Optimierungsverfahren an und unterscheiden sich von ihnen durch folgende Punkte ([Rai04]):

- a. Anstatt einer einzelnen aktuellen Lösung wird mit einer Population von Kandidatenlösungen gearbeitet.
- b. Der Zufall spielt im allgemeinen eine große Rolle bei der Initialisierung, den Variationsoperatoren und der Selektion.
- c. Sehr allgemein einsetzbares Prinzip.
- d. Nicht nur für kombinatorische Probleme, sondern auch kontinuierliche Parameteroptimierung und Optimierung nicht-linearer Strukturen.

- e. Robustheit: EA sind für viele unterschiedliche Problemtypen geeignet. Spezialisierte Methoden können oft für bestimmte Probleme bessere Ergebnisse bringen (vgl. Abbildung 8.7).

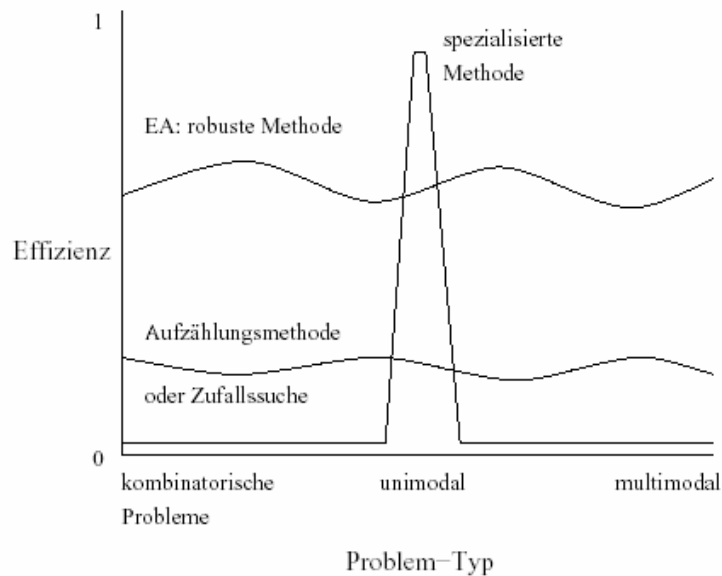


Abbildung 8.7: Effizienz verschiedener Optimierungsmethoden (aus [Rai04])

Die Idee zu GA stammt aus den 1970er Jahren von *J.H. Holland*⁷⁴, einem Pionier auf dem Sektor der komplexen Systeme, der als erster am MIT seinen Doktor für Informatik erlangte. Die wichtigsten Termini wurden aus der Biologie übernommen und sollen nun in Anlehnung an Raidl [Rai04] angesprochen werden:

- a. Chromosom (Individuum): enthält alle Parameter für eine Kandidatenlösung in kodierter Form. Am Beispiel des Menschen sind die 23 Chromosomenpaare in der Doppelhelix der DNA kodiert, was die Bauanleitung für ein Individuum ergibt.
- b. Gen: ein Chromosom ist oft ein Vektor, dessen Elemente als Gene bezeichnet werden; jedes Gen kann einen Wert einer bestimmten Wertemenge annehmen.
- c. Allel: konkreter Wert eines Gens.
- d. Genotyp: kodierte Form einer Lösung (=Chromosom)

⁷⁴ http://en.wikipedia.org/wiki/John_Henry_Holland - gelesen am 28.9.2007

- e. Phenotyp: dekodierte Form einer Lösung; der Genotype kann als Baubeschreibung des Phenotyps aufgefasst werden. Beispielhaft spricht man hier vom Menschen an sich, wie er vor einem steht.
- f. Population: Menge von Individuen im GA. Die Populationsentwicklung soll beim GA zu besseren Chromosomen führen, die ein Problem optimal abbilden.

8.7.1 Initialisierung

Die Initialisierung der Ausgangspopulation erfolgt im allgemeinen durch Zufall oder mit Heuristiken, die möglichst unterschiedliche Lösungen liefern [Rai04].

Im Fall von NN wird zuerst definiert, welche Parameter optimiert werden sollen. In dieser Arbeit waren das die Anzahl verdeckter Neuronen und die Steigung der tanh-Übertragungsfunktion.

Im Simulationsprogramm NeuroSolutions lassen sich die zu optimierenden Parameter im Modell einfach über eine Checkbox anwählen (Abbildung 8.8). Der Wertebereich und die Verteilung bei der Initialisierung kann zusätzlich angegeben werden (Lower und Upper Bound bzw. Mutation Type).

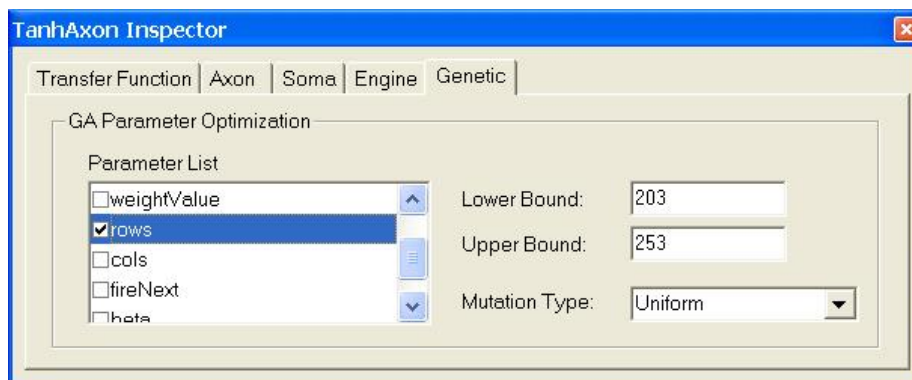


Abbildung 8.8: Parametereinstellung für den GA in NeuroSolutions

8.7.2 Selektion

Durch das Selektionsverfahren soll sich die Fitness in jeder Generation verbessern und damit bessere Lösungen entstehen. Zur Optimierung der NN wurde die Tournament-Selektion verwendet. Dabei wird eine gewisse Anzahl an

Chromosomen aus der Population zufällig ausgewählt. Die jeweils besten zwei sind die Basis für eine neue Lösung.

Weitere Verfahren sind die Fitness-proportional Selection (Roulette) und deren Derivate (nach [Rai04]). Generell hat man bei GAs mit der vorzeitigen Konvergenz zu kämpfen, und diese ist eng mit dem Selektionsdruck verknüpft.

Ein hoher Selektionsdruck bedeutet, dass Individuen mit hoher Fitness überdurchschnittlich oft gewählt werden. Dies hat zur Folge, dass es zu einer sehr raschen Vermehrung dieser kommt und die genetische Vielfalt in der Population abnimmt (Superindividuen). Dadurch konvergiert der GA vorzeitig.

Ein zu niedriger Selektionsdruck bewirkt, dass kaum gute Individuen gewählt werden. Schlechtes Genmaterial bleibt über die Zeit in der Population enthalten und die Durchschnittliche Fitness der Population bleibt gleich. Der GA konvergiert sehr langsam oder gar nicht.

Bei GAs gibt es zwei grundlegende Varianten:

- Je Generation werden alle Individuen durch neue ersetzt, es entstehen genauso viele Kinder wie Eltern vorhanden sind (generational GA).
- Je Generation werden nur zwei Kinder generiert, die restlichen Individuen bleiben erhalten (Steady State GA). Auf diese Weise bleibt ein breiteres Genmaterial in der Population erhalten und die Rechenzeiten sind bedeutend kürzer als beim generationalen GA. Die Rechenzeit für die genetische Optimierung von NN ist nicht zu unterschätzen. Sämtliche Optimierungen in dieser Arbeit erfolgten mit einem Steady State GA.

Eine Fitnessfunktion dient der Bewertung der Chromosomen. Sie bezieht sich in dieser Arbeit auf die CV-Performance der NN. Abbildung 8.9 zeigt die zugehörige Oberfläche von NeuroSolutions.

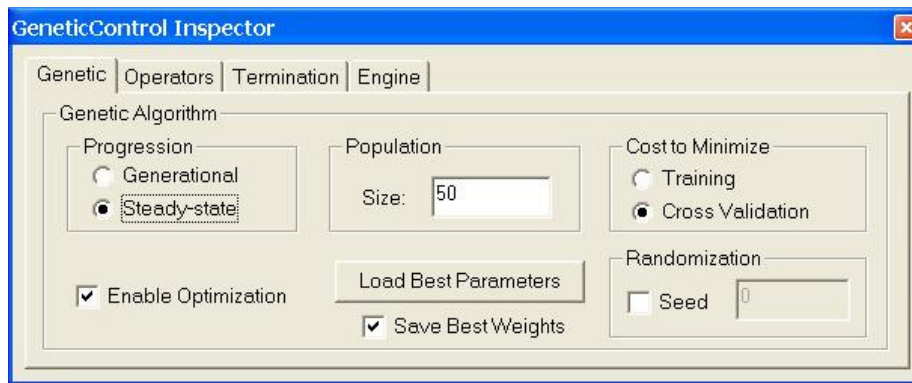


Abbildung 8.9: GA-Initialisierung in NeuroSolutions

8.7.3 Rekombination

Crossover (CO) bedeutet die Vermischung des Genmaterials zweier gewählter Individuen. Biologisch ausgedrückt spricht man von zwei Eltern, deren Erbgut für die Entstehung zweier Kinder verschmolzen wird. Hier gibt es mehrere Varianten:

- One-Point Crossover: Hier wird zufällig ein Punkt in einer Gensequenz gewählt, der zwei Bereiche abgrenzt.
- Two-Point Crossover: Hier werden zwei Punkte in einer Gensequenz gewählt, die zur Bildung dreier Bereiche führt.
- Uniform Crossover: Hier wird durch Zufall bestimmt, welches Gen vom Elternteil 1 und 2 übertragen wird.

Abbildung 8.10 veranschaulicht anhand von Binärstrings diese Varianten. Oben sind jeweils die Gensequenzen der beiden Eltern, unten die Gensequenzen der entstandenen Kinder.

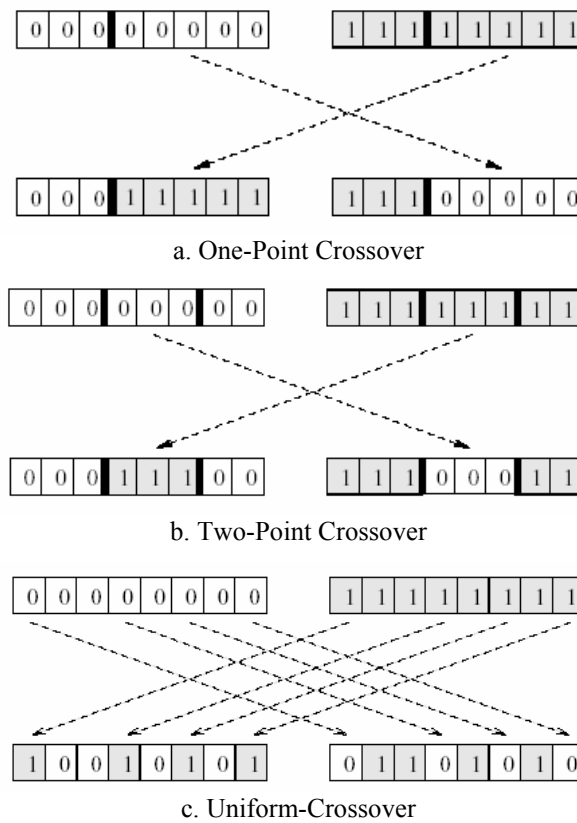


Abbildung 8.10: Funktionsweise der CO-Varianten (eigene Adaption von [Rai04])

8.7.4 Mutation

Wie in natürlichen Evolutionsprozessen spielt die Mutation (Abbildung 8.11) von Genen eine bedeutende Rolle bei der Populationsentwicklung. Tritt eine zu geringe Mutation auf, so können keine neuen Genmuster entstehen und es kommt zu einer Konvergenz in einem Suboptimum. Ist die Rate zu hoch zerfallen relevante Gensequenzen im Evolutionsprozess. Der GA nähert sich dann der normalen Zufallssuche.

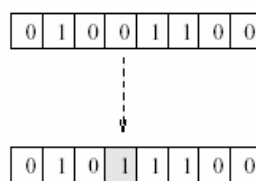


Abbildung 8.11: Mutation eines Gens (aus [Rai04])

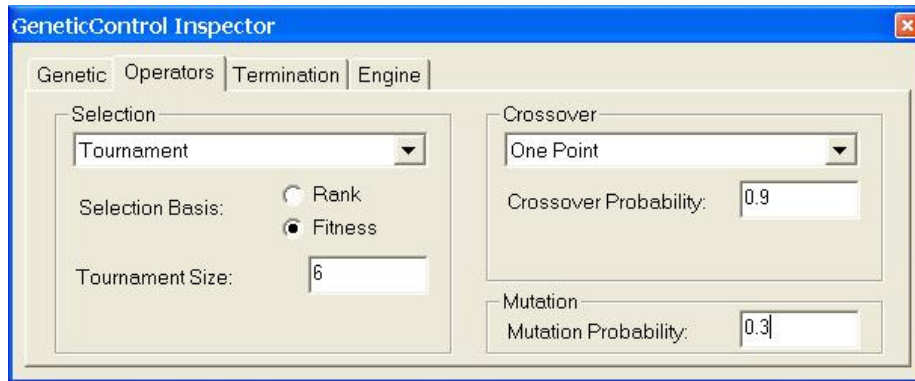


Abbildung 8.12: Selektion, Rekombination und Mutation in NeuroSolutions

8.7.5 Terminierung

Die Terminierung eines GA kann auf verschiedene Arten erfolgen. Entweder konvergiert die Population mit der Zeit zu gleicher Fitness oder die Gene konvergieren. Des weiteren spielt wie zuvor erwähnt die Simulationszeit eine Rolle. Es ist nicht garantiert, dass nach einer vorgegebenen Anzahl an Generationen tatsächlich die beste Lösung vorliegt. Ein gutes Simulationsprogramm speichert daher immer das bisher beste Chromosom des Optimierungsprozesses.

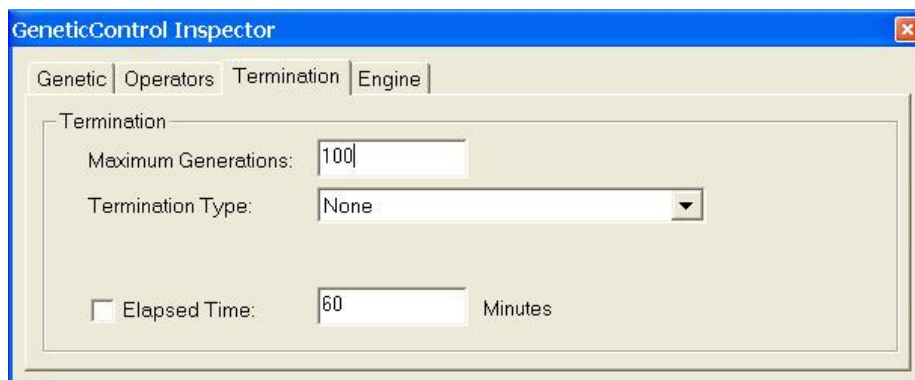


Abbildung 8.13: Terminierung in NeuroSolutions

8.8 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden einige FF-Architekturen vorgestellt. Die genetische Optimierung stellt ein viel versprechendes Werkzeug bei der Optimierung von NN dar. Zweifellos gab und gibt es in diesem Sektor ständig neue Entwicklungen. Inwieweit sich die beschriebenen Architekturen für ein Prognoseproblem von LKW-Geschwindigkeiten eignen, wird im Kapitel 10 auf den Grund gegangen.

Kapitel 9

Langzeitbeobachtungen und Prognosegüte

In diesem Kapitel wird das Optimierungspotential des ALEV-Verfahrens beim Netzwerktraining verdeutlicht. Außerdem zeigt sich, dass die Größe der Datenbasis Einfluss auf die Prognosegüte nimmt.

9.1 Datengrundlage

Anhand der Beobachtungen der Section 0015-0016 wurde die für das Netzwerktraining verfügbare Datenbasis sukzessive ausgeweitet. Dabei ging es um die Klärung der Fragestellung, ob es ausreicht, einen jeweils nur kurz in der Vergangenheit liegenden Zeitraum als Wissensbasis eines Modells zu verwenden. Alternativ dazu bietet sich die in Kapitel 6 vorgestellte Selektionsheuristik an, die Daten eines längeren Zeitraums durchsucht und relevante Muster extrahiert, um die Wissensbasis bzw. die Trainingsdaten schlank zu halten. Drei Datenbasen lagen vor und wurden mit dem ALEV Verfahren durchforstet (Tabelle 9.1):

Datenbasis	Zeitraum in Wochen	Sequenzvektoren
ALEV 1	6	4.308
ALEV 2	14	10.212
ALEV 3	26	18.478

Tabelle 9.1: Datenbasen mit unterschiedlichen Beobachtungszeiträumen

Für ALEV 1 lag der Zeitraum Dezember 2006 bis Mitte Jänner 2007 vor. Für ALEV 2 standen weiters Februar und März 2007 und darüber hinaus für ALEV 3 zusätzlich die Monate April bis Juni 2007 zur Verfügung. Zur Validierung wurde jeweils der gleiche Zeitraum (Mitte bis Ende Jänner 2007 bzw. 1625 Vektoren) verwendet.

Um die jeweilige Modellgüte vergleichen zu können wurde ein Signifikanztest durchgeführt. Da das ALEV-Verfahren einen heuristischen Charakter aufweist wurden je Datenbasis 31 Trainingsdatensätze extrahiert. Das verwendete NN, ein MLP 11/27/9/4 mit der Momentum-Regel, wurde dementsprechend 31-mal zufällig initialisiert und trainiert.

Im Schnitt wurden je Datenbasis durch den Einsatz des ALEV-Verfahrens etwa 78 bis 94% der Trainingsdaten verworfen, da sie im Sinne der verwendeten chaostheoretischen Aspekte keine entscheidenden Informationen über das beobachtete System enthielten (vgl. Tabelle 9.2).

Einsparungspotential	Mittelwert (in %)	Standardabweichung (in %)
ALEV 1	77,86	0,19
ALEV 2	91,60	0,10
ALEV 3	94,16	0,07

Tabelle 9.2: Einsparungspotential durch die Selektion

9.2 Simulationsergebnisse

Im Kapitel 6 wurde von mir bewiesen, dass mit dem ALEV-Verfahren selektierte Trainingsdaten ein System in gleicher Qualität beschreiben können wie die zugehörige größere Datenbasis. Die Generalisierungsqualität bleibt gleich bei gleichzeitiger Reduzierung der Trainingszeit und des Speicherbedarfs.

Hier stehen drei von der Größe her sehr unterschiedliche Datenbasen zur Verfügung für die ihrerseits das ALEV-Verfahren spezifische Selektionen erstellt. In den Tabellen 9.3 und 9.4 finden sich jeweils die Performancemaße für das Netzwerktraining von ALEV 2 und ALEV1 bzw. ALEV2 und ALEV 3. Das MLP wurde bis max. 2000 Zyklen trainiert, Terminierungskriterium war *keine Verbesserung der CV-Performance in den letzten 50 Zyklen*. Die Tabellen 9.5 und 9.6 zeigen die Simulationsergebnisse für die Validierungsdaten.

MLP 11/27/9/4 Mom	ALEV 1 Datengrundlage: 4308 Datensätze											ALEV 2 Datengrundlage: 10212 Datensätze										
	n	MSE	r	RE	AIC	MDL	Cycles to Overfit	Time to Overfit	n	MSE	r	RE	AIC	MDL	Cycles to Overfit	Time to Overfit						
1	866	0.032474	0.658191	14.865196	-1736.06555	-884.788818	949	00:56	956	0.025649	0.61302	3.565985	-2270.06909	-1388.33972	157	00:12						
2	837	0.03036	0.701024	14.01272	-1692.995	-852.20929	1358	01:23	950	0.024699	0.64679	3.402894	-2283.94238	-1404.1521	851	00:56						
3	867	0.029593	0.695643	13.539133	-1820.04126	-968.409241	1891	02:03	954	0.026343	0.627821	3.381053	-2248.16675	-1366.11536	591	00:39						
4	859	0.0318	0.67656	14.437695	-1730.08838	-881.311584	1854	01:56	970	0.024362	0.646021	3.360335	-2371.28003	-1485.07288	1035	01:08						
5	862	0.029989	0.697852	13.761636	-1790.98254	-941.132019	2000	02:07	951	0.023812	0.644793	3.358709	-2322.40723	-1442.29297	941	01:02						
6	859	0.031958	0.672464	14.535021	-1725.82239	-877.045471	446	00:30	951	0.025157	0.619278	3.516275	-2270.16406	-1390.04981	340	00:23						
7	852	0.029902	0.703261	13.863747	-1758.36414	-912.107544	2000	02:05	962	0.025349	0.6913986	3.520657	-2303.36743	-1419.71106	181	00:14						
8	850	0.031841	0.680161	14.708677	-1697.95776	-852.424927	1663	01:43	961	0.025024	0.643108	3.37363	-2312.10156	-1428.7655	456	00:33						
9	862	0.030135	0.698348	14.041698	-1786.77649	-936.92572	1363	01:24	960	0.023734	0.639195	3.29071	-2359.21387	-1476.19836	851	00:52						
10	854	0.029903	0.702145	13.991445	-1765.35718	-918.378296	1877	02:01	959	0.02548	0.6113	3.52431	-2287.4126	-1404.71814	243	00:17						
11	869	0.030019	0.691435	13.658655	-1814.64734	-962.305542	1705	01:51	948	0.02555	0.633979	3.525899	-2236.83789	-1357.69678	248	00:18						
12	857	0.030156	0.698877	14.047372	-1768.68138	-920.602478	1563	01:40	943	0.026494	0.608439	3.583953	-2191.89624	-1314.38379	162	00:14						
13	850	0.031407	0.684211	14.567349	-1709.60474	-864.071899	1387	01:39	954	0.027771	0.602823	3.606149	-2189.00977	-1307.92529	243	00:18						
14	853	0.03027	0.694778	14.01652	-1751.45923	-904.841248	1803	01:07	959	0.025384	0.610066	3.510576	-2291.03369	-1408.33923	171	00:15						
15	862	0.028641	0.704762	13.199967	-1901.67285	-1044.75769	2000	02:06	938	0.02516	0.63703	3.438226	-2222.17383	-1346.29883	735	00:50						
16	849	0.031552	0.684082	14.57113	-1702.25403	-857.083879	834	01:03	960	0.026883	0.610781	3.523811	-2239.80693	-1356.59143	197	00:16						
17	840	0.03067	0.696959	14.211727	-1694.95129	-853.06366	2000	02:09	957	0.026563	0.623816	3.489425	-2240.23023	-1358.17883	219	00:16						
18	862	0.029596	0.698222	13.470716	-1802.32629	-952.475769	2000	02:08	945	0.026824	0.622967	3.504522	-2187.46581	-1309.29089	400	00:32						
19	870	0.033056	0.654811	14.863355	-1734.3197	-881.623657	424	00:30	954	0.028035	0.599516	3.626794	-2177.86792	-1296.78345	169	00:13						
20	860	0.032305	0.688849	14.49133	-1719.98291	-870.847778	1371	01:28	941	0.028004	0.632468	3.419692	-2132.46436	-1255.60596	614	00:44						
21	856	0.034287	0.646351	14.996409	-1655.28919	-807.589844	565	00:30	950	0.023709	0.663274	3.31899	-2322.82031	-1443.03003	1357	01:43						
22	858	0.029654	0.700196	13.815051	-1780.80017	-932.382324	2000	02:03	963	0.026257	0.623646	3.510201	-2273.14697	-1389.17053	403	00:31						
23	868	0.031692	0.671254	14.569734	-1764.0719	-912.084778	977	01:05	958	0.025794	0.631336	3.46386	-2290.29126	-1406.31482	334	00:22						
24	845	0.030685	0.692641	13.918534	-1711.97571	-868.260193	2000	02:02	940	0.025892	0.612304	3.543023	-2202.57544	-1326.04443	122	00:08						
25	866	0.030042	0.697246	13.679428	-1803.4707	-952.194092	2000	02:05	945	0.026349	0.617067	3.524322	-2204.33862	-1326.17371	302	00:20						
26	846	0.030784	0.691555	14.285774	-1712.72063	-868.640686	2000	02:05	951	0.023669	0.673938	3.350826	-2327.33936	-1447.2251	1975	02:14						
27	866	0.030077	0.695891	14.06842	-1802.47144	-951.194824	1375	01:31	961	0.024434	0.629985	3.417579	-2335.03516	-1451.6991	524	00:36						
28	850	0.03053	0.695136	13.902417	-1733.69104	-888.158081	1975	02:09	948	0.027728	0.628179	3.496716	-2166.86304	-1287.72192	364	00:30						
29	869	0.03114	0.67582	14.433727	-1782.7782	-930.436646	608	00:42	962	0.02733	0.646021	3.500007	-2230.97998	-1347.32361	501	00:38						
30	865	0.030726	0.699593	14.040871	-1780.48657	-929.565857	1581	01:44	968	0.025596	0.639389	3.365327	-2316.03833	-1430.4668	666	00:46						
31	852	0.031015	0.68407	14.204459	-1727.25073	-890.994019	1719	01:36	946	0.0255306	0.636346	3.522665	-2246.17554	-1367.68481	523	00:39						
Mittelwert	858.096774	0.03085352	0.68723832	14.1544302	-1752.527	-895.093795	1525.41935	01:36	953.7	0.0255823	0.6303247	3.47017438	-2259.7518	-1378.6892	512.096774	00:36						
Standardabweichung	9.8432882	0.00117505	0.0150891	0.44002672	49.9019577	47.258925	520.834282	00:32	8.2	0.00126509	0.02032843	0.08500551	60.1437515	58.4502529	405.410192	00:27						

Tabelle 9.3: Gegenüberstellung der Trainingsperformance für ALEV 1 und ALEV 2

MLP 11/27/9/4 Mom Simulationslauf	ALEV 2 Datengrundlage: 10212 Datensätze										ALEV 3 Datengrundlage: 18478 Datensätze									
	n	MSE	r	RE	AIC	MDL	Cycles to Overfit	Time to Overfit	n	MSE	r	RE	AIC	MDL	Cycles to Overfit	Time to Overfit				
1	866	0.032474	0.658191	14.865196	-1736.06555	-884.786818	949	00:56	1.070	0.025864	0.690312	12.095951	-2678.73584	-1762.30835	1283	01:24				
2	837	0.03036	0.701024	14.01272	-1692.995	-852.20929	1358	01:23	1.100	0.02606	0.694769	11.638358	-2780.10845	-1855.16223	1696	01:57				
3	867	0.029593	0.695643	13.539133	-1820.04126	-968.409241	1891	02:03	1.082	0.026225	0.697847	11.620002	-2707.60889	-1767.74634	2000	02:21				
4	859	0.0318	0.67866	14.437695	-1730.08838	-881.31584	1854	01:56	1.096	0.024685	0.701098	11.553773	-2824.9148	-1901.09265	2000	02:26				
5	862	0.029989	0.697852	13.761636	-1790.98254	-941.132019	2000	02:07	1.070	0.024874	0.710433	11.762522	-2720.48999	-1804.0625	2000	02:21				
6	859	0.031958	0.672464	14.535021	-1725.82239	-877.045471	446	00:30	1.083	0.025897	0.688614	11.675073	-2724.8938	-1804.74683	2000	02:22				
7	852	0.029902	0.703261	13.853747	-1758.36414	-912.107544	2000	02:05	1.092	0.024642	0.696373	11.516231	-2778.6709	-1858.52393	1968	02:17				
8	850	0.031841	0.680161	14.708677	-1697.95776	-852.424927	1663	01:43	1.093	0.025319	0.699814	11.335622	-2786.06665	-1863.08875	2000	02:19				
9	862	0.030135	0.698348	14.041698	-1786.77649	-936.92572	1363	01:24	1.086	0.026271	0.684338	11.868395	-2720.2522	-1799.2533	980	01:07				
10	854	0.029903	0.702145	13.991445	-1765.35718	-918.376296	1877	02:01	1.073	0.02752	0.675356	12.169237	-2623.1167	-1705.8269	607	00:43				
11	869	0.030019	0.691435	13.658655	-1814.64734	-962.305642	1705	01:51	1.091	0.025149	0.694348	11.584064	-2786.10449	-1863.69067	2000	02:22				
12	857	0.030156	0.698877	14.047372	-1768.66138	-920.602478	1563	01:40	1.075	0.025106	0.706686	11.427382	-2728.98608	-1811.12288	1671	01:55				
13	850	0.031407	0.684211	14.567349	-1709.60474	-864.071899	1387	01:39	1.082	0.026095	0.689801	12.099969	-2712.98023	-1793.11768	1746	02:00				
14	853	0.03027	0.694778	14.01652	-1751.45923	-904.841248	1803	01:07	1.073	0.024504	0.707269	11.326721	-2747.67236	-1830.38257	2000	02:20				
15	882	0.028641	0.704762	13.199967	-1901.67285	-1044.75769	2000	02:06	1.079	0.025911	0.688222	11.901595	-2709.67358	-1790.66626	1612	01:53				
16	849	0.031552	0.684082	14.57713	-1702.25403	-857.083679	834	01:03	1.083	0.026271	0.68137	12.058856	-2709.95327	-1789.2063	1225	01:27				
17	840	0.03067	0.696959	14.211727	-1694.95129	-853.06366	2000	02:09	1.050	0.027976	0.670677	12.710714	-2523.23462	-1612.61865	1035	01:13				
18	862	0.029596	0.698222	13.470716	-1802.32629	-952.475769	2000	02:08	1.093	0.024823	0.700578	11.47137	-2807.73218	-1884.75427	1346	01:33				
19	870	0.03056	0.654811	14.863355	-1734.3197	-881.623657	424	00:30	1.053	0.024831	0.71373	11.36826	-2659.53247	-1748.0376	2000	02:16				
20	860	0.032305	0.668849	14.49133	-1719.98291	-870.847778	1371	01:28	1.085	0.025497	0.698544	12.285459	-2749.05713	-1828.34192	1671	01:56				
21	856	0.034287	0.646351	14.996409	-1655.28919	-807.589844	565	00:30	1.080	0.025255	0.697359	11.695493	-2727.61182	-1809.46204	1568	01:48				
22	858	0.029854	0.700196	13.815051	-1780.80017	-932.382324	2000	02:03	1.076	0.025225	0.697712	11.476275	-2729.99478	-1810.60217	2000	02:18				
23	868	0.031692	0.671254	14.569734	-1764.0719	-912.084778	977	01:05	1.090	0.028017	0.658078	12.220914	-2664.68604	-1742.55457	884	01:01				
24	845	0.030685	0.692641	13.918534	-1711.97571	-868.280193	2000	02:02	1.078	0.028202	0.658842	12.667454	-2614.70728	-1695.96547	525	00:38				
25	866	0.030042	0.697246	13.679428	-1803.4707	-952.194092	2000	02:05	1.064	0.026564	0.687812	11.881268	-2628.39795	-1713.70252	2000	02:17				
26	846	0.030784	0.691555	14.28574	-1712.72083	-868.640686	2000	02:05	1.079	0.025359	0.697074	11.510425	-2732.91333	-1813.90601	1950	02:21				
27	866	0.030077	0.695891	14.006842	-1802.47144	-951.194882	1375	01:31	1.100	0.024933	0.695449	11.544321	-2828.70044	-1903.75623	1849	02:13				
28	850	0.03053	0.695136	13.902417	-1793.69104	-888.158081	1975	02:09	1.084	0.026163	0.688934	11.728811	-2717.47461	-1797.04335	1361	01:39				
29	869	0.031174	0.675882	14.433727	-1782.7762	-930.436646	608	00:42	1.069	0.026827	0.678762	12.47972	-2636.03076	-1719.89136	1315	01:36				
30	865	0.030726	0.689593	14.040871	-1780.48657	-929.565857	1581	01:44	1.065	0.026787	0.680196	11.942719	-2623.11475	-1708.12976	1094	01:14				
31	852	0.031015	0.68407	14.204459	-1727.25073	-880.994019	1719	01:51	1.066	0.024829	0.706423	11.467891	-2707.67358	-1792.39966	1739	02:06				
Mittelwert	858.096774	0.03085352	0.68723832	14.1514302	-1763.527	-905.093798	1525.41935	01:36	1.079-4	0.02586913	0.69128452	11.8092271	-2712.89316	-1793.50656	1584.67742	00:31				
Standardabweichung	9.8432892	0.00117505	0.0150891	0.44400262	49.9013577	47.259525	520.834252	00:32	12.4	0.007103798	0.01356273	0.38277083	68.2310677	65.4918316	448.394052	01:31				

Tabelle 9.4: Gegenüberstellung der Trainingsperformance für ALEV 2 und ALEV 3

Die Trainingszeit bei unterschiedlich großen Datengrundlagen ist bemerkenswert. Die Größen der Trainingsdatensätze für ALEV 1 bis 3 betragen im Mittel 953, 858 und 1079 Sequenzvektoren. Im Vergleich dazu terminiert ALEV 1 am schnellsten, obwohl der Datensatz größer ist als bei ALEV 2. Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass bei ALEV 2 und 3 eine größere Vielfalt an Mustern enthalten ist, deren Abbildung mehr Trainingszyklen benötigt.

MLP 11/27/9/4 Mom Simulationslauf	ALEV 2 1625 Datensätze						ALEV 1 1625 Datensätze					
	MSE	r	RE	AIC	MDL	MDL	MSE	r	RE	AIC	MDL	MDL
1	0.010245	0.626101	4.078055	-6212.13867	-5167.01367	-5167.01367	0.0436559	0.516782	4.768233	-3860.177	-2815.05225	-2815.05225
2	0.009994	0.643946	3.996903	-6252.30957	-5207.18457	-5207.18457	0.042419	0.560809	4.640914	-3903.26123	-2856.13623	-2856.13623
3	0.009867	0.644964	3.949923	-6273.12402	-5227.99802	-5227.99802	0.042792	0.605484	4.539943	-3889.01904	-2843.89404	-2843.89404
4	0.009893	0.645082	4.050186	-6288.83691	-5223.71191	-5223.71191	0.042392	0.576877	4.634815	-3904.27637	-2859.15133	-2859.15133
5	0.010188	0.642826	4.115305	-6221.09229	-5175.96729	-5175.96729	0.043292	0.524114	4.604617	-3871.67456	-2826.54932	-2826.54932
6	0.010173	0.628868	4.188245	-6223.57861	-5178.45361	-5178.45361	0.041774	0.566401	4.721933	-3928.16138	-2883.03662	-2883.03662
7	0.010003	0.647176	3.928067	-6250.95215	-5205.82715	-5205.82715	0.043996	0.541584	4.873447	-3843.94922	-2796.82422	-2796.82422
8	0.010249	0.637775	4.100183	-6211.49072	-5166.36572	-5166.36572	0.042375	0.569611	4.587539	-3904.93262	-2859.80762	-2859.80762
9	0.009907	0.648228	4.107776	-6266.61768	-5221.49268	-5221.49268	0.047609	0.511986	4.949097	-3715.68506	-2670.56006	-2670.56006
10	0.01044	0.641111	3.899088	-6181.41553	-5136.29053	-5136.29053	0.042491	0.554133	4.68543	-3900.49536	-2855.37061	-2855.37061
11	0.010089	0.636019	4.038848	-6236.94141	-5191.81641	-5191.81641	0.042735	0.548784	4.695413	-3891.19238	-2846.06738	-2846.06738
12	0.009656	0.660418	4.073019	-6308.28781	-5263.13281	-5263.13281	0.039603	0.620492	4.587855	-4014.88232	-2968.75732	-2968.75732
13	0.010273	0.630427	4.075163	-6207.67734	-5162.55273	-5162.55273	0.042736	0.563403	4.665556	-3891.16333	-2846.03857	-2846.03857
14	0.010094	0.643956	4.053626	-6236.11963	-5190.99463	-5190.99463	0.040478	0.586074	4.60928	-3979.35034	-2934.2251	-2934.2251
15	0.010013	0.651223	4.010422	-6249.22803	-5204.10303	-5204.10303	0.040792	0.583477	4.507772	-3966.81909	-2921.69434	-2921.69434
16	0.010081	0.638762	4.349547	-6238.21191	-5193.08691	-5193.08691	0.048222	0.498546	4.823066	-3694.90674	-2649.78174	-2649.78174
17	0.009913	0.654367	4.033741	-6265.62598	-5220.50098	-5220.50098	0.043164	0.581574	4.671167	-3874.96094	-2829.83594	-2829.83594
18	0.010343	0.640063	3.932383	-6196.60107	-5151.47607	-5151.47607	0.041816	0.587051	4.561623	-3926.51489	-2881.38965	-2881.38965
19	0.010219	0.628147	4.223522	-6216.16885	-5171.04395	-5171.04395	0.044522	0.569771	4.826431	-3824.62685	-2779.50195	-2779.50195
20	0.010055	0.634239	4.058655	-6242.52783	-5197.40283	-5197.40283	0.048086	0.559007	4.654832	-3699.49316	-2654.36816	-2654.36816
21	0.010481	0.6201	4.198557	-6175.06397	-5129.93897	-5129.93897	0.044168	0.527734	4.757578	-3837.59375	-2792.46875	-2792.46875
22	0.010172	0.643177	3.985275	-6223.66553	-5178.54053	-5178.54053	0.043759	0.550565	4.752914	-3852.72144	-2807.59619	-2807.59619
23	0.009904	0.641469	4.154256	-6267.06397	-5221.93897	-5221.93897	0.044054	0.553413	4.714706	-3841.81055	-2796.68555	-2796.68555
24	0.01	0.642812	3.961268	-6251.46826	-5206.34326	-5206.34326	0.041691	0.580882	4.693091	-3931.396	-2886.271	-2886.271
25	0.010106	0.650652	3.997707	-6234.27979	-5189.15479	-5189.15479	0.026349	0.617067	3.524322	-2204.33862	-1326.17371	-1326.17371
26	0.010027	0.639602	3.980059	-6247.07861	-5201.95561	-5201.95561	0.041655	0.559599	4.61433	-3932.7981	-2887.67334	-2887.67334
27	0.009868	0.647363	3.991026	-6272.92822	-5227.80322	-5227.80322	0.042836	0.533111	4.741602	-3887.34644	-2842.22119	-2842.22119
28	0.010149	0.640732	4.033872	-6227.36623	-5182.26123	-5182.26123	0.046442	0.552621	4.681723	-3756.02808	-2710.90332	-2710.90332
29	0.010035	0.631387	4.056548	-6245.69385	-5200.56885	-5200.56885	0.044818	0.601586	4.7801568	-3813.86133	-2766.73633	-2766.73633
30	0.009767	0.65262	4.02534	-6289.66387	-5244.53857	-5244.53857	0.044864	0.556458	4.663293	-3812.20166	-2767.07666	-2767.07666
31	0.010221	0.629897	4.096612	-6215.83252	-5170.70752	-5170.70752	0.043148	0.538685	4.717431	-38753.5771	-2830.45219	-2830.45219
Mittelwert	0.01007823	0.64088655	4.05623152	-6239.00131	-5193.87632	-5193.87632	0.04285797	0.56115045	4.65387451	-4939.00694	-2774.17099	-2774.17099
Standardabweichung	0.00018688	0.00915994	0.09590544	30.1186106	30.118597	30.118597	0.00368416	0.0295904	0.23119966	6283.26604	279.109999	279.109999

Tabelle 9.5: Gegenüberstellung der Validierungsperformance für ALEV 1 und ALEV 2

MLP 11/27/9/4 Mom Simulationslauf	VALIDIERUNG											
	ALEV 2 1625 Datensätze						ALEV 3 1625 Datensätze					
	MSE	r	RE	AIC	MDL	MDL	MSE	r	RE	AIC	MDL	MDL
1	0.010245	0.626101	4.078055	-6212.13867	-5167.01367	-5167.01367	0.009664	0.65529	3.987568	-6306.86621	-5261.74121	-5261.74121
2	0.009994	0.643946	3.996903	-6252.30957	-5207.18457	-5207.18457	0.010408	0.650787	3.897577	-6186.42188	-5141.29688	-5141.29688
3	0.009867	0.644964	3.949923	-6273.12402	-5227.99902	-5227.99902	0.01042	0.653336	3.849089	-6184.53125	-5139.40625	-5139.40625
4	0.009893	0.643082	4.050186	-6268.83691	-5223.71191	-5223.71191	0.009936	0.651474	3.950864	-6261.85596	-5216.73096	-5216.73096
5	0.010188	0.642826	4.115305	-6221.09229	-5175.96729	-5175.96729	0.009756	0.661302	3.812176	-6291.55273	-5246.42773	-5246.42773
6	0.010173	0.628858	4.188245	-6223.57861	-5178.45361	-5178.45361	0.01038	0.633372	3.917326	-6190.75879	-5145.63379	-5145.63379
7	0.010003	0.647176	3.928067	-6250.95215	-5205.82715	-5205.82715	0.009914	0.648296	3.868205	-6265.50488	-5220.37988	-5220.37988
8	0.010249	0.63775	4.100183	-6211.49072	-5166.36572	-5166.36572	0.01045	0.645105	3.919127	-6179.92627	-5134.80127	-5134.80127
9	0.009907	0.648228	4.107776	-6266.61768	-5221.49268	-5221.49268	0.010259	0.635989	4.158254	-6209.9209	-5164.7959	-5164.7959
10	0.01044	0.64111	3.899088	-6181.41553	-5136.29053	-5136.29053	0.010087	0.63889	4.020211	-6237.28613	-5192.16113	-5192.16113
11	0.010089	0.636019	4.038848	-6236.94141	-5191.81641	-5191.81641	0.010139	0.643119	3.891446	-6228.94482	-5183.81982	-5183.81982
12	0.009656	0.660418	4.073019	-6308.28781	-5263.13281	-5263.13281	0.010063	0.661396	4.292452	-6241.24854	-5196.12354	-5196.12354
13	0.010273	0.630427	4.075163	-6207.67734	-5162.55273	-5162.55273	0.009582	0.656372	3.963728	-6320.70898	-5275.58398	-5275.58398
14	0.010094	0.643956	4.053826	-6236.11963	-5190.99463	-5190.99463	0.010403	0.64071	3.92214	-6187.22559	-5142.10059	-5142.10059
15	0.010013	0.651223	4.010422	-6249.22803	-5204.10303	-5204.10303	0.009925	0.648075	3.986405	-6263.6958	-5217.5708	-5217.5708
16	0.010081	0.638752	4.349547	-6288.21191	-5193.08691	-5193.08691	0.010049	0.64002	3.985041	-6243.48633	-5198.36133	-5198.36133
17	0.009913	0.654367	4.033741	-6265.62598	-5220.50098	-5220.50098	0.010295	0.633808	4.087418	-6204.09326	-5158.96826	-5158.96826
18	0.010343	0.640063	3.932383	-6196.60107	-5151.47607	-5151.47607	0.009993	0.651643	3.892743	-6252.46533	-5207.34033	-5207.34033
19	0.010219	0.628147	4.223522	-6216.16885	-5171.04395	-5171.04395	0.010537	0.645688	3.92863	-6166.40186	-5121.27686	-5121.27686
20	0.010055	0.634239	4.058655	-6242.52783	-5197.40283	-5197.40283	0.010171	0.648225	3.940826	-6233.82129	-5178.69629	-5178.69629
21	0.010481	0.6201	4.198557	-6175.06397	-5129.93897	-5129.93897	0.010258	0.643932	4.344122	-6210.00488	-5164.87988	-5164.87988
22	0.010172	0.643177	3.985275	-6223.66553	-5178.54053	-5178.54053	0.010226	0.637838	3.889909	-6215.15234	-5170.02734	-5170.02734
23	0.009904	0.641469	4.154256	-6267.06397	-5221.93897	-5221.93897	0.010775	0.616003	4.047243	-6130.15772	-5085.03272	-5085.03272
24	0.01	0.642812	3.961268	-6251.46826	-5206.34326	-5206.34326	0.010428	0.623435	4.123415	-6183.28272	-5138.15772	-5138.15772
25	0.010106	0.650652	3.997707	-6234.27979	-5189.15479	-5189.15479	0.010152	0.64414	3.923712	-6226.94629	-5181.82129	-5181.82129
26	0.010027	0.639602	3.980059	-6247.07861	-5201.95361	-5201.95361	0.010122	0.64362	3.919392	-6231.77686	-5186.65186	-5186.65186
27	0.009868	0.647363	3.991026	-6272.92822	-5227.80322	-5227.80322	0.010266	0.634702	3.95955	-6208.68848	-5163.56348	-5163.56348
28	0.010149	0.640732	4.033872	-6227.36623	-5182.26123	-5182.26123	0.010137	0.644068	4.42391	-6229.36719	-5184.24219	-5184.24219
29	0.010035	0.631387	4.056548	-6245.69365	-5200.56885	-5200.56885	0.00972	0.653511	3.916078	-6297.61133	-5252.48633	-5252.48633
30	0.009767	0.65262	4.02334	-6289.66357	-5244.53857	-5244.53857	0.010537	0.628733	4.009799	-6166.42139	-5121.29639	-5121.29639
31	0.010221	0.629897	4.096612	-6215.83252	-5170.70752	-5170.70752	0.010105	0.649244	3.884323	-6234.48975	-5189.36475	-5189.36475
Mittelwert	0.01007623	0.64088655	4.05623152	-6239.00131	-5193.87632	-5193.87632	0.01016635	0.64400526	3.98879545	-6225.50373	-5180.02389	-5180.02389
Standardabweichung	0.00018688	0.00915994	0.09550544	30.1186106	30.118597	30.118597	0.0002751	0.01046403	0.1446749	44.1307481	44.0757112	44.0757112

Tabelle 9.6: Gegenüberstellung der Validierungsperformance für ALEV 2 und ALEV 3

Durch die Berechnung der Mittelwerte und Standardabweichungen für die einzelnen Performanceindikatoren ist ein erster Vergleich der Modelle basierend auf verschiedenen Datenbasen möglich. Die jeweils besseren Ergebnisse sind grün hinterlegt

ALEV 2 liegt hier im Training in allen Punkten vor ALEV 1 (vgl. Tabelle 9.3), der Unterschied ist im Vergleich zu ALEV 3 nicht eindeutig (vgl. Tabelle 9.4).

9.3 Signifikanztest

Signifikanztests in Anlehnung an Raidl [Rai04] geben nun Aufschluss über die Repräsentationsfähigkeit der MLPs (Tabellen 9.7 und 9.8). Die Berechnung der Vergleichswerte erfolgte dabei mit Gleichung (6.11).

t	n	MSE	r	RE	AIC	MDL	Cycles to Overfit	Time to Overfit	$t_c(n=60)$
Training	41.5987538	16.4306637	12.5070814	132.699056	36.0657941	35.0806917	8.54874341	7.79982257	3.46
Validierung		49.4754515	14.3322419	13.2961121	1.15194536	47.9903573			
Signifikanz im Unterschied	n	MSE	r	RE	AIC	MDL	Cycles to Overfit	Time to Overfit	
Training	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
Validierung		Ja	Ja	Ja	Nein	Ja			

Tabelle 9.7: Gegenüberstellung der Signifikanz für ALEV 1 und ALEV 2

t	n	MSE	r	RE	AIC	MDL	Cycles to Overfit	Time to Overfit	$t_c(n=60)$
Training	77.7689725	17.7006383	1.11038788	22.3618931	63.1697753	61.2523774	0.48007334	1.8380965	3.46
Validierung		1.4754357	1.24861097	2.16382054	1.4065655	1.44477334			
Signifikanz im Unterschied	n	MSE	r	RE	AIC	MDL	Cycles to Overfit	Time to Overfit	
Training	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	
Validierung		Nein	Nein	Nein	Nein	Nein			

Tabelle 9.8: Gegenüberstellung der Signifikanz für ALEV 2 und ALEV 3

Noch einmal muss betont werden, dass die Abbildung der Trainingsdaten sekundär ist, primär zählt die Generalisierungsleistung für unbekannte Validierungsdaten. Je nach der Vielfalt an zu lernenden Mustern kann ein Modell sehr geringe Fehlerwerte

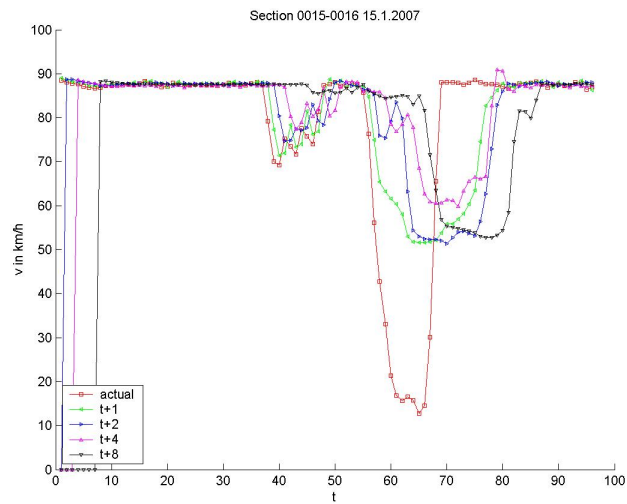
im Training aufweisen, im Test bei unbekanntem Mustern logischerweise weniger gut fähig sein, das Systemverhalten zu repräsentieren.

ALEV 1 liefert durchwegs signifikant bessere Ergebnisse im Training als ALEV 2. Obwohl für ALEV 2 um 137% mehr Datensätze vorliegen werden im Schnitt um 10,23% weniger Muster entnommen als bei ALEV 1. Das ALEV-Verfahren unterteilt in eine fest definierte Anzahl von Klassen für den Ljapunow-Exponenten, die Entropie und die Varianz. Ist das Spektrum dieser Indikatoren in einer Datenbasis breiter so verschiebt sich zwangsläufig auch die Anzahl der Mitglieder je Klasse. Ein Schwellwert für die Klassenmitglieder ist bestimmend für die zufällige Auswahl von Kandidaten für den Selektionsdatensatz. Ist der Wertebereich der Indikatoren breiter, werden weniger Klassen zufällig ausgedünnt sondern direkt übernommen. ALEV 1 terminiert schneller, was auf eine homogenere Präsenz von Mustern in den Trainingsdaten hindeutet. Ebenso können auch die Performanceindikatoren MSE, r , RE, AIC und MDL (vgl. Kapitel 6) diesem Phänomen zugeschrieben werden.

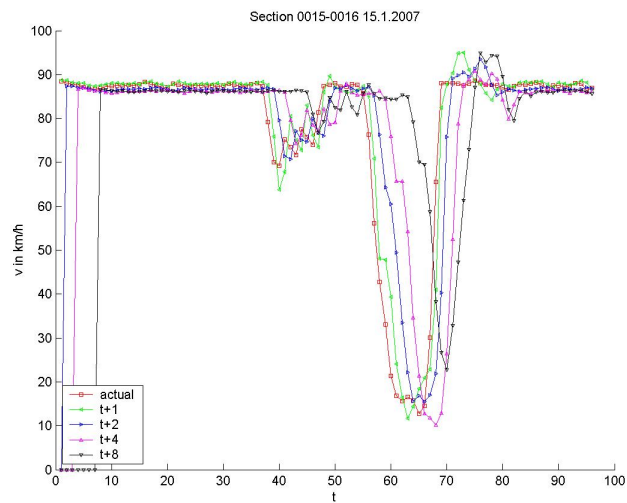
Die Datenbasis für ALEV 3 beinhaltet um 329% mehr Vektoren als jene für ALEV 1. Hier wird eine Selektion extrahiert, die im Mittel um 13,2% größer ist als jene von ALEV 1. Das Trainingsergebnis im Vergleich zu ALEV 2 unterscheidet sich in manchen Bereichen signifikant. Die Generalisierungsleistung unterscheidet sich jedoch nicht signifikant von ALEV 2. Dieses Ergebnis lässt den Rückschluss zu, dass in der Datenbasis für ALEV 3 keine wirklich neuen Muster enthalten sind. So manche Klasse wird durch mehr Muster abgedeckt, was zum Teil geringfügig bessere Fehlerwerte im Training bewirkt. Umgekehrt wirkt sich das jedoch nicht auf die Generalisierungsleistung im Test aus. Hier sind keine signifikanten Unterschiede zu ALEV 2 feststellbar.

In den nun folgenden Abbildungen sind 4 ausgewählte Testtage den drei verschiedenen MLPs gegenüber gestellt. Ihr Erinnerungs- und Generalisierungsvermögen beruht auf Charakteristiken, die auf der Basis von 6, 14, und 26 Wochen mit dem ALEV-Verfahren extrahiert wurden.

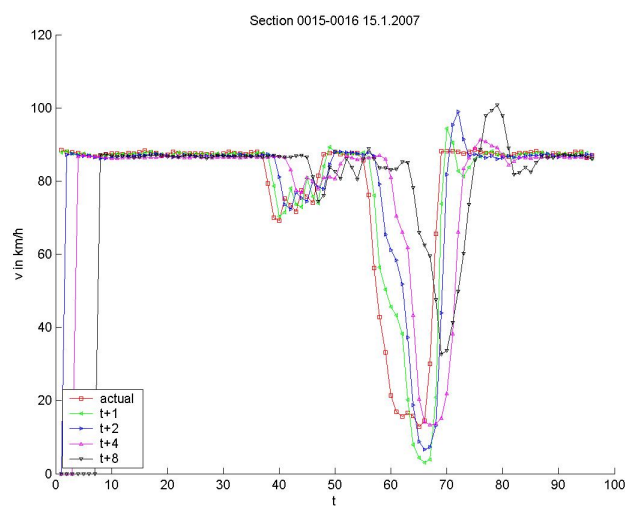
Der 15.01.2007 (Abbildung 9.1) war ein ausgesprochener Stautag, die Geschwindigkeit fiel für 2:15 unter 40 km/h. Die Datenbasis für ALEV 1 beinhaltete keine ähnlichen Muster. Das MLP wäre nie im Stande, diesen Stau zu prognostizieren, genauso wenig jedes andere empirische Prognoseverfahren der Statistik oder KI. Mit zunehmender Beobachtungslänge verbesserte sich das Prognoseergebnis und näherte den Sollwert gut an (ALEV 2 und ALEV 3).



a. ALEV 1

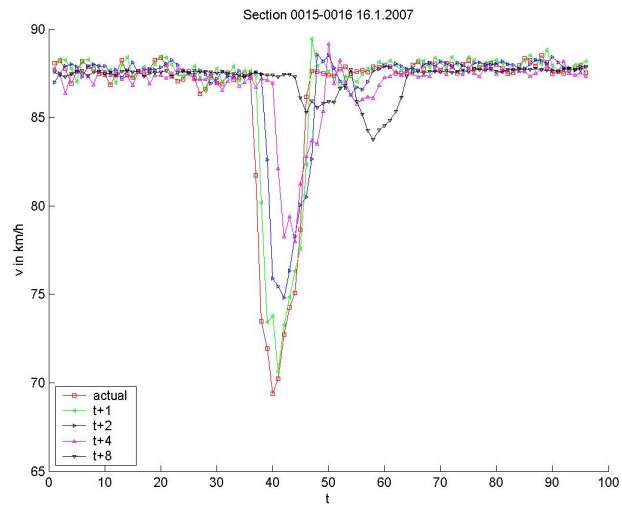


b. ALEV 2

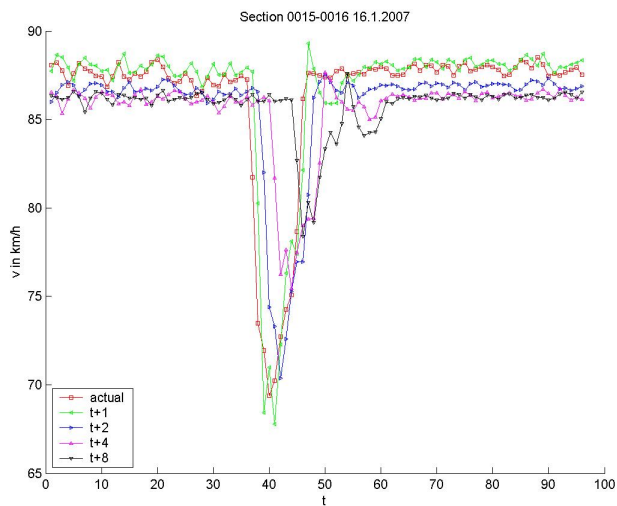


c. ALEV 3

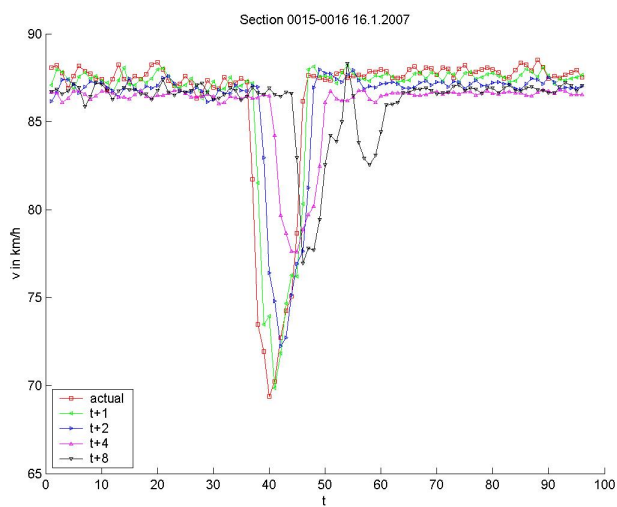
Abbildung 9.1: Prognoseergebnisse für MLPs mit unterschiedlicher Erinnerung – 15.1.2007



a. ALEV 1

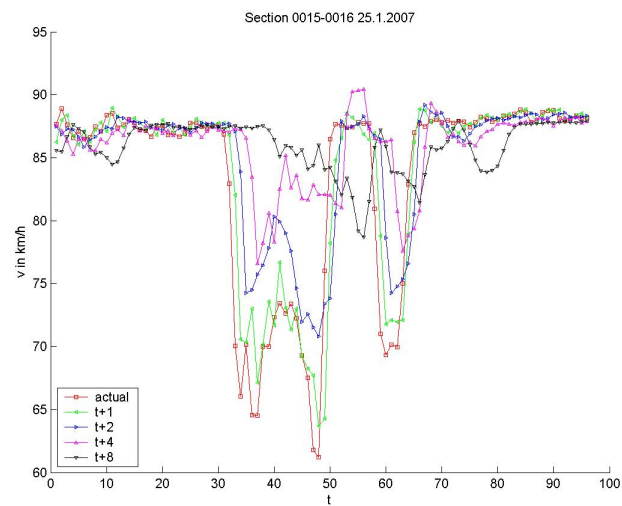


b. ALEV 2

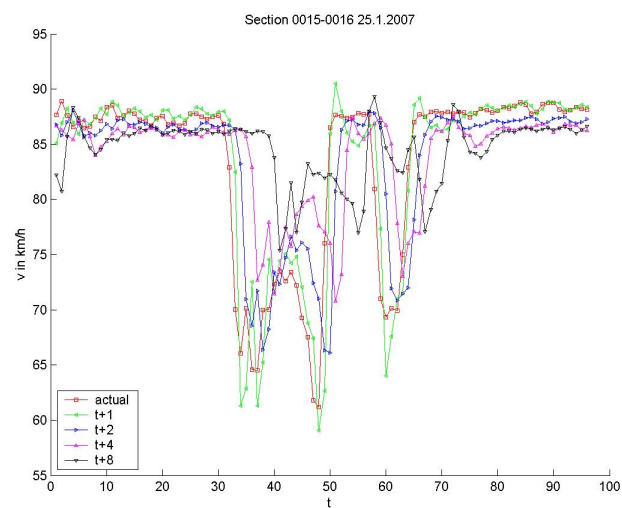


c. ALEV 3

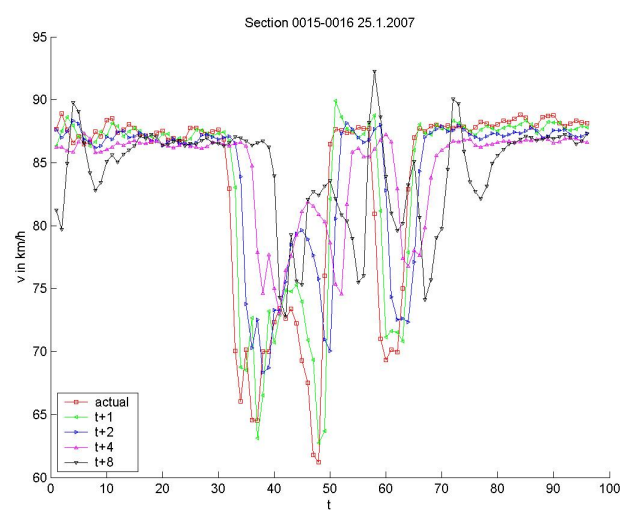
Abbildung 9.2: Prognoseergebnisse für MLPs mit unterschiedlicher Erinnerung – 16.1.2007



a. ALEV 1

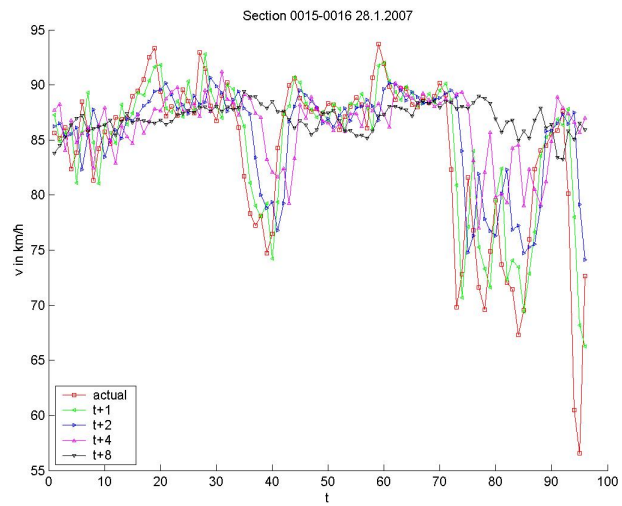


b. ALEV 2

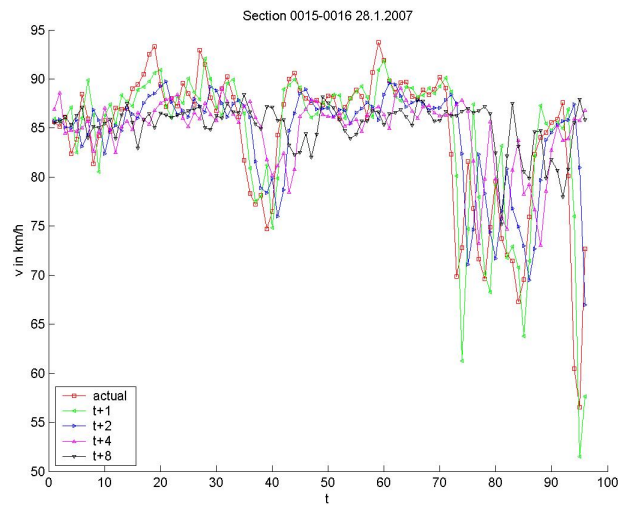


c. ALEV 3

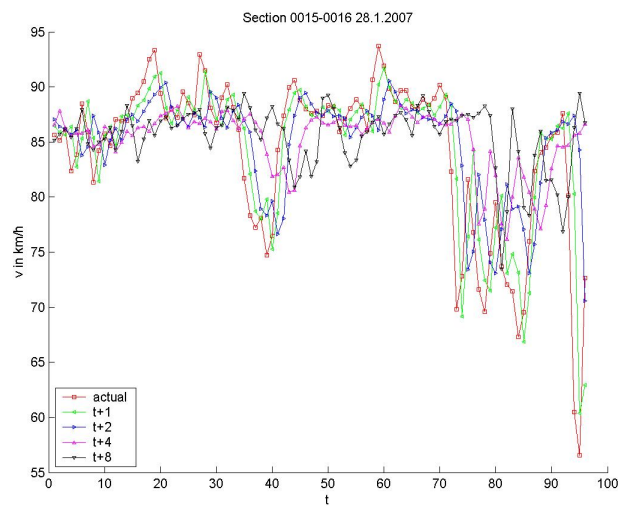
Abbildung 9.3: Prognoseergebnisse für MLPs mit unterschiedlicher Erinnerung – 25.1.2007



a. ALEV 1



b. ALEV 2



c. ALEV 3

Abbildung 9.4: Prognoseergebnisse für MLPs mit unterschiedlicher Erinnerung – 28.1.2007

Die übrigen drei Testtage werden ebenfalls mit zunehmendem Beobachtungszeitraum besser angenähert werden (Abbildung 9.2 bis 9.4).

Die Datenbasis für ALEV 3 beinhaltet um 329% mehr Vektoren als jene für ALEV 1. Hier wird eine Selektion extrahiert, die im Mittel um 13,2% größer ist als jene von ALEV 1. Das Trainingsergebnis im Vergleich zu ALEV 2 unterscheidet sich in manchen Bereichen signifikant. Die Generalisierungsleistung unterscheidet sich jedoch nicht signifikant von ALEV 2. Dieses Ergebnis lässt den Rückschluss zu, dass in der Datenbasis für ALEV 3 keine wirklich neuen Muster enthalten sind. So manche Klasse wird durch mehr Muster abgedeckt, was zum Teil geringfügig bessere Fehlerwerte im Training bewirkt. Umgekehrt wirkt sich das jedoch nicht auf die Generalisierungsleistung im Test aus. Hier sind keine signifikanten Unterschiede zu ALEV 2 feststellbar.

9.4 Zusammenfassung

Die Ergebnisse aus dieser Untersuchung belegen, dass lange Beobachtungszeiträume ein breiteres Spektrum an relevanten Mustern enthalten als kurze. Dies ist eine notwendige logische Konsequenz, die sich für die Beschreibung komplexer evolutionärer technisch-kybernetischer Systeme ergibt. Die Vielfalt der beobachteten Muster steigt stetig und monoton, wird jedoch irgendwann gemäß dem charakteristischen Attraktor konvergieren. Eine intelligente Selektion aller relevanten Muster aus Langzeitbeobachtungen scheint durch das ALEV-Verfahren gegeben. Einerseits kann dies in regelmäßigen Intervallen über eine gesamte Datenbasis erfolgen oder aber auch online implementiert werden, indem man eine Wissensbasis erweitert, sofern ein noch unbekanntes oder nützliches Muster entdeckt wurde.

Kapitel 10

Echtzeitfähige Kurzfristprognosen

Die Wichtigkeit von effektiven Visualisierungstechniken zur Interpretation von Rohdaten aber auch den Ergebnissen aus Data Mining Algorithmen ist unbestritten. Nicht umsonst gewann der Begriff des Visuellen Data Minings (VDM) in den letzten Jahren zunehmend an Bekanntheit [Kei02]. In meiner Definition von Neuronalem Data Mining (NDM) in Kapitel 3 vereinen sich Künstliche Neuronale Netze (KNN) und Biologische Neuronale Netze (BNN). Man darf nicht unterschätzen, welcher enormer Aufwand zur Aufbereitung der Daten betrieben wird. Die Berechnung der Reisezeiten alleine ist der Hauptzweck des Projektes *GoSmart*. Für etwa 900 Beobachtungspunktpunkte laufen diverse Filter ständig im Hintergrund, um Ausreißer unter den Fahrzeugen zu filtern. Aus Gründen der Geheimhaltung werden die grundlegenden Filtertechniken nicht weiter erklärt. Nur der unmittelbare Filter zur Glättung der Sequenzen soll namentlich erwähnt werden: Es handelt sich hierbei um einen Butterworth-Filter, der von DI Bernhard Nowotny und seinen französischen Kollegen Dr. Nour-Eddin El Faouzi und Dr. Olivier De Mouzon vom French National Institute for Transport and Safety Research (INRETS) in seinen Parametern optimiert wurde.

Mit der Filterung von Rohdaten werden diese unzweifelhaft in eine theoretische Richtung gerichtet. Unerwünschte hochfrequente Einflüsse werden gedämpft. Bei der Evaluierung der Prognoseergebnisse werden verschiedene, den Daten immanente, *Realitäten* auf ihre Auswirkungen im Echtzeitbetrieb beleuchtet. Dabei werden die Simulationsergebnisse noch einmal eingehender am Ende des 2. Teils dieser Dissertation verglichen.

10.1 Datenvisualisierung

Zur Datenvisualisierung wurden die für das Training vorgesehenen Messwerte der Sections 0015-0016 (A1) und 0303-0304 (A23) verwendet. Je Section lagen in Summe 5.952 Messwerte vor. Die Größe des Trainingsdatensatzes betrug 4.319 Werte und die Testdaten (Validierungsdaten) bestanden aus je 1.633 Werten.

10.1.1 Punktabbildung

Mit der Punktabbildung sollte die iterative Dynamik der beiden Freiheitsgrade Geschwindigkeit v (value) und Verkehrsstärke q (count). Die Werte sind auf 15 min aggregiert und somit ergeben sich die zugehörigen Einheiten zu $[v]=\text{km/h}$ und $[q]=\text{Fz}/15\text{min}$.

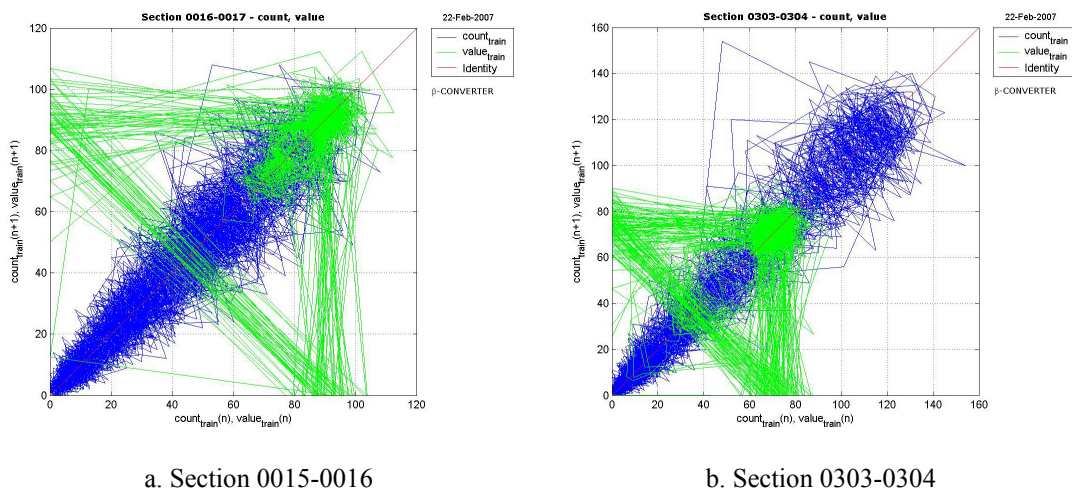


Abbildung 10.1: Trainingsdaten - Polardarstellung der Verkehrsstärke (count) für beide Sections

Aus der Punktabbildung sind unterschiedliche Charakteristiken der Sections 0015-0016 Abbildung 10.1.a) und 0303-0304 (Abbildung 10.1.b) ersichtlich. Bei der Geschwindigkeit (grün) gibt es Fehlwerte, die lt. Norbert Hainitz mit dem Wert 0 in den Daten repräsentiert sind. Die Alternation von Geschwindigkeitswerten von 0 auf hohe Werte rührt von hier her. Section 0015-0016 weist einen Bereich zwischen etwa 70 und 100 km/h auf, in dem sich zwei Zustände einstellen ($\sim 65\text{-}75$ km/h und $\sim 80\text{-}100$ km/h). Starke Einbrüche sind im Gegensatz zu Section 0303-0304 nicht zu erkennen, wo die Geschwindigkeit mehrmals auf etwa 30 km/h abgefallen ist. Die meisten Werte von 0303-0304 liegen zwischen 60 und 80 km/h. Section 0015-0016 hat weniger Verkehrsaufkommen als Section 0303-0304.

10.1.2 Polardarstellung

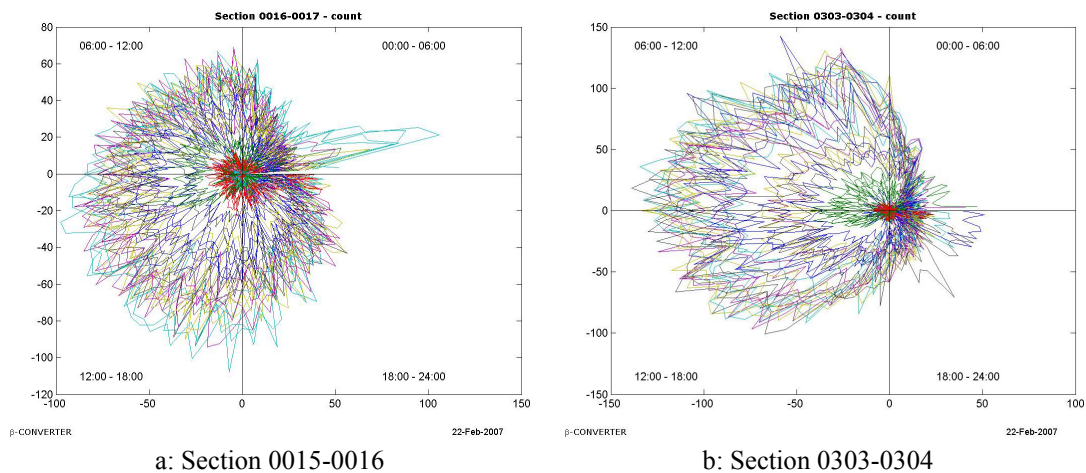


Abbildung 10.2: Trainingsdaten - Polardarstellung der Verkehrsstärke (count)

In Abbildung 10.2 sind nun die Verkehrsstärken beider Sections nach einer Polarttransformation dargestellt. In den Abend- und Nachtstunden ist 0303-0304 weniger frequentiert bzw. kann man feststellen, dass sich die Sections im zeitlichen Verkehrsaufkommen unterscheiden. Tage mit unterschiedlichem Verkehrsaufkommen ziehen sich für beide Sections gleichermaßen quer durch die Bank. Auf der A1 (Section 0015-0016) treten ein paar Spitzenwerte zwischen 0 und 3 Uhr auf, im Fall der A23 (Section 0303-304) gibt es Unregelmäßigkeiten zwischen 21 und 24 Uhr. Im Gegensatz zu der im Kapitel 6 vorgestellten Verkehrszählstelle in Wien (PKW und LKW) stellt sich für den Schwerverkehr auf Österreichs Autobahnen scheinbar kein grenz-zyklisches Verhalten ein.

Die zugehörigen Geschwindigkeiten sind nun ebenfalls auf diese Weise dargestellt. In den Abbildungen 10.3.a und 10.3.b sind die Rohdaten für den definierten Trainingszeitraum (1.12.2006 – 14.1.2007) gegeben und man kann sofort feststellen, dass es eine Menge an Fehlwerten gibt. Staus unterliegen einer Frequenz mit höherer Wellenlänge als fehlende Messwerte, die als Abfallspitzen in der Geschwindigkeitsganglinie auftreten. Wie soll man mit solchen Fehlwerten umgehen? Erste Versuche erfolgten nach einer Bereinigung der zusammengestellten Datenmatrix \mathbf{V} . Je nach der Länge der beinhalteten Sequenzvektoren \mathbf{v}_i der Geschwindigkeit v ergibt sich unweigerlich ein Datenverlust, wenn man Sequenzen mit Fehlwerten ausnimmt. Erste Versuche mit diesem Zugang folgen etwas später unter den Punkten 10.2 und 10.3. Die hier verwendeten Daten entsprechen jenen Werten, die im WebViewer von GoSmart zur Visualisierung und für die

Reisezeitabrechnung der ASFINAG benutzt werden. Die *Realität R1* soll nun die Bezeichnung für jede Systemabbildung eines NN auf Basis dieser Daten sein.

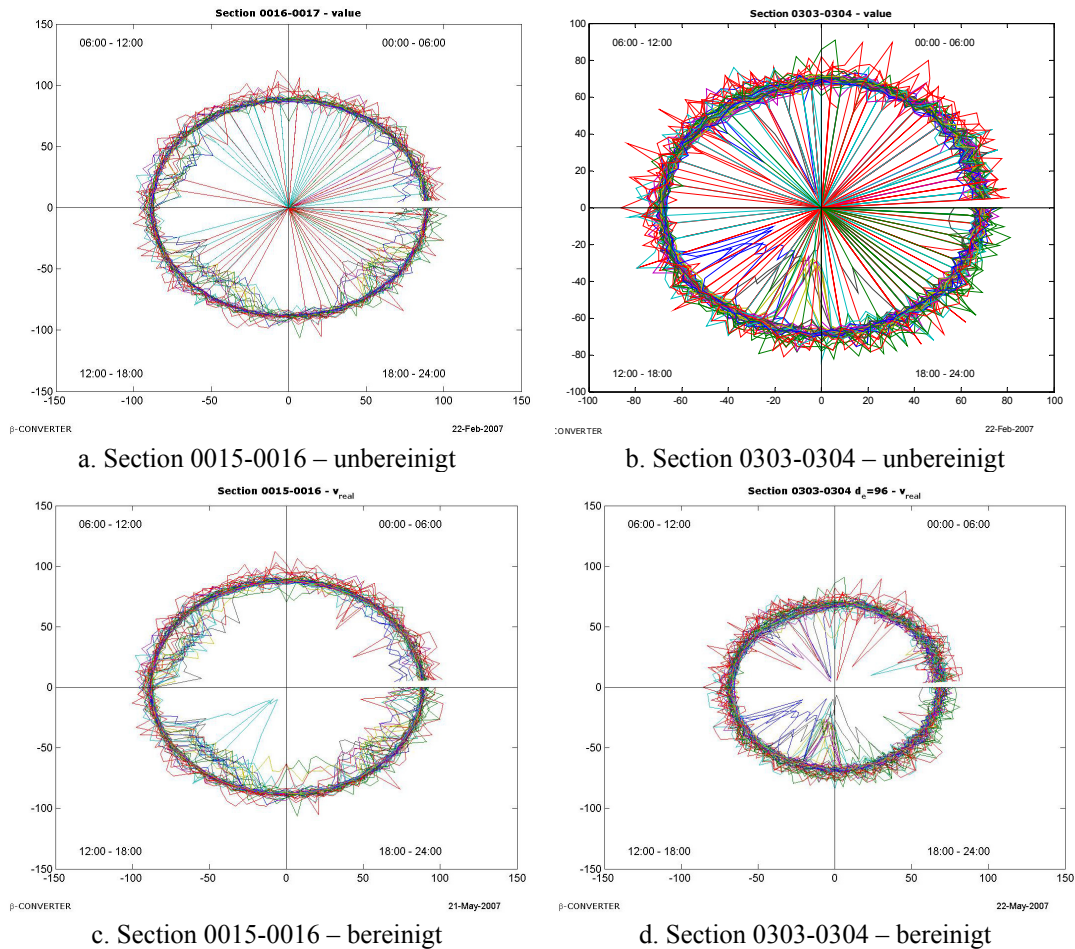


Abbildung 10.3: Trainingsdaten - Polardarstellung der Geschwindigkeit (value)

Mein Kollege DI Bernhard Nowotny und seine engen Partnerwissenschaftler von INRETS schlugen vor, dass man die Fehlwerte nach statistischen Erkenntnissen auch zu einem gewissen Grad interpolieren bzw. den Fehlwert mit seinem Vorgängerwert ersetzen kann. Bei der Programmierung des Ljapunow-Algorithmus ergaben sich zum Beginn Probleme mit dem $\ln(0)$:

1. Zwei exakt gleiche Werte unserer Sequenz v führen zu Superstabilität $\ln(0) = -\infty$, und diese ist numerisch nicht abbildbar.
2. Ein Abgleich erfolgte durch das Einführen einer hypothetischen Messungengenauigkeit, die ein $\delta = 0.1$ aufweisen sollte. Nachdem im Algorithmus normierte Sequenzen $|v_i|$ verarbeitet werden, bedeutet dies eine

Messungenaugigkeit von 10%. Dem fehlenden Kettenglied wird logarithmische Konvergenz von $\ln(0.1) = -2,3025$ zugestanden.

In Abbildung 11.3 (c und d) sind die interpolierten Sequenzen dargestellt. Die Dauer einer Periode wurde generell mit 96 Intervallen angenommen. Die Werte wurden übrigens normiert (a und b) und maßstäblich in (c und d) aufgetragen. Eine Aussage, die man daraus treffen kann ist, dass auf der A1 im betrachteten Abschnitt höhere Geschwindigkeiten (etwa 100 km/h) im Vergleich zur A23 (ca. 75 km/h) beobachtet werden können. Das Staurisiko ist auf der A23 beträchtlich höher.

Die Charakteristik, die bereits in der Punktabbildung aufgefallen ist, ist nun besser beschreibbar. Auf Section 0015-0016 kommt es zu festen Zeiten verstärkt zu geringeren Einbrüchen. Auf Section 0303-0304 treten die Einbrüche stärker und zeitlich verschiedener auf.

Die ersten Arbeiten zeigen Ergebnisse, die zwar in Summe viel versprechend sind, jedoch auch von Nervosität in der Prognosekurve und Tendenz zu starker zeitlicher Verschiebung (Phasenverschiebung) geprägt sind. Die Ansätze beschäftigen sich mit der Verknüpfung von Verkehrsstärke- und Geschwindigkeitswerten bzw. arbeiten lediglich mit Geschwindigkeitswerten.

Bei der Vorhersage der Verkehrsstärke [Top04] wurde die Erfahrung gemacht, dass es einer höheren Vergangenheitstiefe bedarf, um bei der Modellierung der Verkehrsstärke mit einem ARIMA-Modell aus der statistischen Zeitreihenanalyse konkurrieren zu können. Damals zeigten sich in einem entsprechenden Vergleich mit [Sch03] verschiedene Qualitäten für verschiedene Zeitbereiche. In weiteren internationalen Arbeiten ergaben sich Hinweise, dass NN die Dynamik kritischer Verkehrszustände besser abbilden können. Dies rührt nicht von irgendwo her, ein MLP ist ab zwei verdeckten Schichten in der Lage, Nichtlinearitäten abzubilden, während ein ARIMA-Modell durch die Autokorrelation in der Linearität angesiedelt ist.

Einige der in Innsbruck auf der AIA 2007 (siehe Kapitel 9) vorgestellten Ansätze verwenden MLPs mit bis zu 4 verborgenen Ebenen. Jakubek meinte in seiner Vorlesung [JaKeBe04], dass MLPs mit einer Ordnung höher als 2 nicht wirklich zu gebrauchen seien. Diese Frage wurde für das Benchmark mit der chaotischen Mackey-Glass Funktion geklärt, wo MLPs mit 4 verdeckten Schichten sehr gute Ergebnisse für $t+6$ Prognosen erreichten. Ich widerlege hiermit [Top08b] Jakubeks Behauptung.

Weiters wurde ein Vergleich mit einem Modell der Pattern-Recognition vorgenommen. Namentlich handelt es sich bei diesem Verfahren um ein Kernel-Modell, das auf einen Ähnlichkeitsvergleich einer aktuellen Sequenz mit dem Datenbankbestand abzielt. Im Sinne der KI handelt es sich um eine Art Expertensystem XPS, welches auf eine Wissensbasis zugreift. Zu gegebener Zeit werden sich Vergleichswerte über die Recall-Zeit aus dem Probetrieb beider Module auf dem GoSmart-Server ergeben.

10.2 Datenbasis

Im Verlauf der Untersuchungen wurden beide Sections zuerst anhand von Beobachtungsdaten von 6 Wochen (4.032 Zeitintervalle je Section) repräsentiert. Später erfolgte eine Ausweitung der Beobachtungen auf 26 Wochen (17.472 Zeitintervalle je Section). Als Testdaten dienten jeweils konstante Beobachtungszeiträume von 2 Wochen (1.344 Zeitintervalle je Section). Dabei kamen die Geschwindigkeit v und/oder die Verkehrsstärke q als Inputgrößen zum Einsatz.

10.2.1 Filterungen (Smoothing)

Die Geschwindigkeit wurde zudem von meinen Kollegen Bernhard Nowotny und Norbert Hainitz mit einem Butterworth-Filter bzw. gewichteten Mittelwert vorverarbeitet.

Für die beiden statistischen Filter gibt es zwei Varianten: *kausal* oder *nicht kausal*.

Wenn ein Filter *kausal* ist, dann durchläuft er eine Zeitreihensequenz ursachengemäß, d.h. bildet die Dynamik von der Vergangenheit bis in die Zukunft ab (*Forward Pass*). Ist ein Filter *nicht kausal* so wird im Algorithmus auch ein *Backward Pass* durchlaufen, von der Zukunft zurück in die Vergangenheit.

Ein nicht kausaler Filter gleicht Phasenverschiebungen des Filtersignals aus und ist so genauer. Er ist jedoch in einem Prognosesystem zur Datenvorverarbeitung nicht realisierbar, da man ja die Zukunft nicht kennt. Nowotny und Hainitz forschten an verschiedenen kausalen Modifikationen und fanden die optimalen Einstellungen. Der Butterworth-Filter benötigte empfindlich höhere Rechenzeiten als der gewichtete Mittelwert von Hainitz.

Die Verkehrsstärke lag bei den Untersuchungen ungefiltert vor, die Geschwindigkeit in verschiedenen Realitäten (R1 = interpolierte Fehlwerte, R2 = Butterworth Filter, R3 = gewichteter Mittelwert), bedingt durch die Vorverarbeitung.

10.2.2 Sequenzgenerierung (Windowing)

Für die NN-Modelle wurden die Eingangsdaten variiert. Kombinationen von v (value) und q (count) bzw. nur q (count) stellten die Basis für normierte Inputvektoren dar. In den Abbildungen 10.4 und 10.5 sind die zeitlichen Schemata der im oberen Punkt definierten Realitäten dargestellt. Ein zeitliches Schema legt fest, welche Messgröße zu welchen Zeitpunkten in der Vergangenheit in die Prognose mit einfließen soll (Pfeile nach unten). Ebenso sind mehrere Prognosehorizonte ersichtlich, die als Output des Prognosemodells generiert werden sollen (Pfeile nach oben).

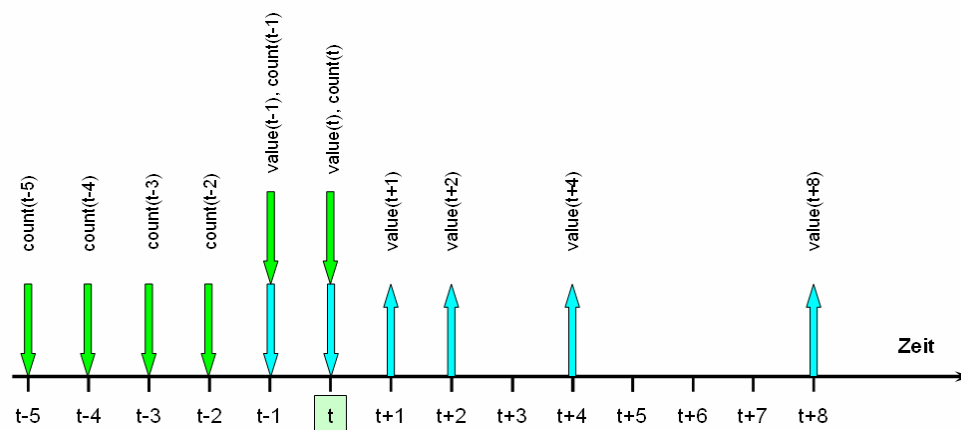


Abbildung 10.4: zeitliches Schema 1 – 8 Inputwerte, 4 Outputwerte

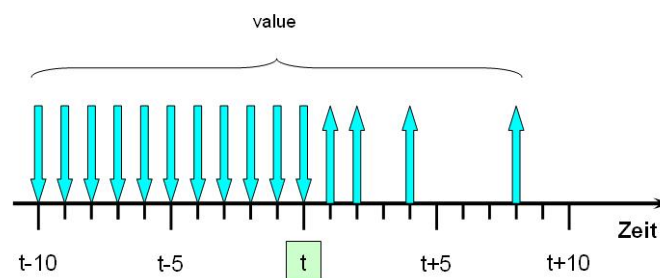


Abbildung 10.5: zeitliches Schema 2 – 11 Inputwerte, 4 Outputwerte

Tabelle 10.1 listet die verwendeten Konfigurationen mit ihrer ID auf. Die ID ist für die späteren Ergebnistabellen von Bedeutung.

Konfiguration	ID
interpolierte Fehlwerte	K1
Butterworth kausal	K2
Butterworth nicht kausal	K3
Moving Average kausal	K4
Moving Average nicht kausal	K5

Tabelle 10.1: IDs der verschiedenen Sequenzkonfigurationen

Für die Simulationsläufe wurden Inputdaten und Outputdaten verschiedener Konfigurationen verwendet bzw. fallweise auch kombiniert. So wurde z.B. versucht kausal gefilterte Muster (Input) an nicht kausal gefilterte Muster (Output) anzugleichen. Des Weiteren wurden Validierungen verschiedener Konfiguration durchgeführt und anhand der Realwerte K1 validiert.

10.3 Prognosen

Für die beiden Beobachtungspunkte (Section 0303-0304 und Section 0015-0016) wurden eine Trivialprognose (vgl. [Top04]) und eine online k-Means Clustering (oKMC) durchgeführt von Johannes Asamer durchgeführt. Zudem beschäftigte sich Norbert Hainitz [Hai06] mit einem Kalman-Filter, ARIMA- und ANFIS-Modellen. Bernhard Nowotny war am Kalmanfilter beteiligt und studierte ein Kernel-Modell. Ich selbst modellierte mit SOMs (Self Organizing Maps) ([Koh82], [Koh84], [Koh89], [Koh90], [RiMaSc90], [SoGoTr00], [UltSie90], [VeHiAlPa00], [Arn05], [Zell00], [DdSG98], [ToAsDi07], [AsDiTo07]) und Feed-Forward NN.

Einige Prognoseverfahren schieden wegen zu hoher Fehlerwerte aus. Dazu zählten SOMs, der Kalman Filter und ARIMA-Modelle. Das ANFIS zeigte in den Simulationen sehr gute Prognoseverläufe für t+1 (15min). Bei der Erweiterung des Modells auf iterative Erweiterung des Prognosehorizontes auf t+2 (30min), t+4 (60min) und t+8 (120min) zeigten sich allerdings Schwächen im Trainingsaufwand. Das Kernel-Modell ist wissensbasiert und greift im laufenden Betrieb auf eine Wissensbasis zu, in der sich Prototypsequenzen befinden. Es lieferte Prognoseergebnisse, die für alle 4 Prognosehorizonte mit NN individuell mehr oder weniger konkurrierten. Die externe Wissensbasis erwies sich aber als Ablehnungsgrund für die Implementierung. Die NN verfügen über implizites, im Lernprozess erworbenes, Wissen. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von einem assoziativen Speicher, der sehr schnelle Zugriffszeiten ermöglicht. In Tabelle 10.2 sind erste Ergebnisse von MLPs, online k-Means Clustering, SOMs und der Trivialprognose angeführt für Section 0303-0304 dargestellt.

Section 0303-0304

Modell	Freiheitsgrade	Trainingszeitraum	Training		Validierung	
			Input	Output	Input	Output
Trivialprognose	v	6 w	K1	K1	K1	K1
oKMC	v	6 w	K1	K1	K1	K1
MLP 8/53/37/4 Mom lin	2v, 6q	6 w	K1	K1	K1	K1
MLP GA 9/41/4/15/4 Mom	9v	6 w	K1	K1	K1	K1
SOM 40x40, hex. Tor., lin., bat.	9v	6 w	K1	K1	K1	K1
SOM 40x40, hex. Tor., lin., bat.	2v, 6q	6 w	K1	K1	K1	K1
MLP 8/53/37/4 DBD lin	2v, 6q	6 w	K1	K1	K1	K1
MLP 8/53/37/4 DBD tanh	2v, 6q	6 w	K1	K1	K1	K1

RMSE gesamt			RMSE <50 km/h			RMSE >=50 km/h		
t+1	t+2	t+4	t+1	t+2	t+4	t+1	t+2	t+4
6.00	7.29	8.97	10.16	18.28	23.78	29.63	29.95	4.62
5.09	6.18	7.41	7.78	15.23	19.74	13.30	19.92	4.67
4.94	6.14	7.13	7.56	15.48	18.93	13.82	37.70	4.26
5.51	7.30	9.16	10.14	18.28	23.30	31.80	29.73	4.62
5.64	6.86	9.11	8.90	22.22	29.00	37.05	37.81	3.93
5.37	6.41	7.94	8.13	14.37	16.59	21.23	18.98	5.00
5.04	6.68	8.46	8.08	12.94	21.15	23.01	18.49	4.73

Tabelle 10.2: Ergebnisse verschiedener Prognoseverfahren auf Basis von Konfiguration 1 – Section 0303-0304

Section 0303-0304

Modell	Freiheitsgrade	Trainingszeitraum	Training		Validierung	
			Input	Output	Input	Output
MLP 8/17/26/4	11v	6 w	K3	K1	K1	K1
MLP 8/17/26/4	11v	6 w	K3	K3	K3	K3
MLP 8/17/26/4	11v	6 w	K3	K3	K2	K2
MLP 11/17/26/4	11v	6 w	K3	K2	K2	K2
MLP 11/16/14/4	11v	6 w	K3	K2	K2	K2
MLP 11/27/9/4	11v	6 w	K4	K5	K5	K5
MLP 11/27/9/4	11v	6 w	K4	K4	K4	K4
MLP 11/27/9/4	11v	6 w	K1	K1	K1	K1
ALEV MLP 11/27/9/4	11v	6 w	K4	K4	K4	K4
MLP 11/27/9/4	11v	6 w	K4	K4	K4	K4
MLP 11/27/9/4	11v	6 w	K4	K4	K4	K4
Trivialprognose	11v	6 w	K3	K2	K2	K2

RMSE gesamt			RMSE <60 km/h			RMSE >=60 km/h			Korrelationskoeffizient gesamt		
t+1	t+2	t+4	t+1	t+2	t+4	t+1	t+2	t+4	t+1	t+2	t+4
6.23	6.81	7.33	7.50	24.18	27.55	30.50	31.72	3.52	3.36	3.20	3.20
3.14	6.12	7.95	8.12	9.34	19.25	28.84	29.17	2.26	4.13	4.01	4.22
6.28	6.75	6.69	6.67	18.55	22.43	27.12	27.17	4.78	4.54	2.67	2.69
7.51	7.72	7.55	7.54	22.63	27.12	31.69	31.77	5.87	5.19	3.34	3.28
3.14	6.12	7.95	8.12	9.34	19.25	28.84	29.17	2.26	4.13	4.01	4.22
7.40	6.74	7.19	7.40	23.22	27.19	30.08	31.33	3.73	3.45	3.24	3.16
6.18	5.73	6.31	6.32	18.36	22.23	25.46	26.71	2.63	2.77	2.58	2.43
3.80	5.32	6.28	6.31	13.15	19.69	25.04	26.93	2.41	2.97	2.76	2.60
3.16	5.19	6.56	6.92	17.97	24.22	26.80	2.20	3.03	3.25	2.79	0.92
5.37	6.28	7.14	7.48	18.43	23.34	28.33	30.24	3.52	3.56	3.36	3.23
3.11	5.15	6.52	6.63	9.75	15.96	22.60	25.63	2.14	3.59	3.81	3.19
5.48	5.70	6.02	6.71	18.15	20.56	23.39	27.41	3.77	3.44	3.04	2.92
5.55	5.58	6.26	6.76	17.77	19.84	23.64	27.17	3.97	3.47	3.43	3.01
6.13	6.23	6.60	7.01	22.43	23.81	26.30	28.50	3.65	3.36	3.11	2.96
6.00	7.29	8.97	10.16	18.28	23.78	29.63	29.95	4.62	5.26	6.30	7.78

Tabelle 10.3: MLPs und Trivialprognose mit verschiedenen Konfigurationen – Section 0303-0304

Performance MLP vs. Trivialprognose	RMSE gesamt			RMSE <60 km/h			RMSE >=60 km/h			Korrelationskoeffizient gesamt						
	t+1	t+2	t+4	t+1	t+2	t+4	t+1	t+2	t+4	t+1	t+2	t+4				
ALEV MLP 11/27/9/4	7.45	23.40	30.17	33.46	2.79	16.57	20.23	9.31	14.14	34.13	45.63	61.32	11.24	34.64	73.45	88.71

Tabelle 10.4: Einsparungen von RMSE und r in % – Section 0303-0304

Neben der Modellbezeichnung sind hier auch die Art und Anzahl der verwendeten Freiheitsgrade Geschwindigkeit v und Verkehrsstärke q angegeben. Des Weiteren gibt die Rubrik den Trainingszeitraum an, an welchen Beobachtungszeitraum die Modelle angepasst wurden. In den Bereichen Training und Validierung findet sich die jeweils verwendete Konfiguration der Zeitreihe (K1=interpolierte Fehlerwerte, K2=Butterworth kausal, K3=Butterworth nicht kausal, K4=Moving Average kausal, K5=Moving Average nicht kausal).

Als Fehlerindikatoren wurden der RMSE und der Korrelationskoeffizient r gewählt. Beim RMSE wurden drei Geschwindigkeitsbereiche definiert, sodass Aussagen für alle Validierungssequenzen und für jene mit Anteilen unter und über 50 km/h getroffen werden konnten. Auf diese Weise sollte abgeschätzt werden, inwieweit die einzelnen Verfahren Vorteile und Nachteile im freien bzw. gestauten Verkehr besitzen. Hierbei zeigte sich, dass MLP 8/53/37/4 Mom lin und MLP GA 9/41/4/15/4 Mom in Summe gesehen die niedrigeren RMSE-Werte aufwiesen (grüne Zellen in Tabelle 10.2). Diese beiden Modelle wurden mit q und v bzw. nur q trainiert. Die Momentumregel (Mom) ist dabei eine der trivialeren Lernmethoden. Eines der NN wurde genetisch optimiert. Bei Staumustern mit $v < 50$ km/h traten die höchsten RMSE um 18 km/h für $t+8$ auf. Die oKMC lieferte die beste Prognose für $t+8$ im freien Verkehr, dem einzigen Prognosehorizont für den sie konzipiert wurde. Generell sind die verwendeten Freiheitsgrade sehr verrauscht. Das liegt zum einen an der Aggregation auf 15 Minuten, zum anderen auch daran, dass LKW nur einen Teil der Verkehrsteilnehmer repräsentieren. Aus dem Mautsystem können nur Bewegungsdaten für den Schwerverkehr erhoben werden die PKW bleiben unberücksichtigt. Dabei bewegen sie sich viel dynamischer und schneller im Verkehrssystem. Erst ab einer gewissen kritischen Verkehrsdichte tritt überhaupt erst eine Korrelation zwischen PKW-Geschwindigkeit und LKW-Geschwindigkeit auf. Um dem starken Rauschen in den Daten zu begegnen folgten Versuche mit Konfigurationen von v , die Norbert Hainitz und Bernhard Nowotny zusammengestellt hatten. Die Ergebnisse der Prognosevalidierungen finden sich in Tabelle 10.3. Hier gab es kein MLP, das über die anderen in allen RMSE und r Kategorien dominieren konnte, obwohl sich die Fehlerwerte im Vergleich zu mit K1 trainierten Modellen verbesserten. Für steigenden Horizont verbesserte sich der RMSE global um bis zu 4 km/h. Tabelle 10.4 zeigt die Einsparungen, die durch Verwendung des besten Modells ALEV MLP 11/27/9/4 anstatt der Trivialprognose erreicht wurden. Beim RMSE sind das 2,79% bis 61,32% und bei r 11,24% bis 88,71%. Diese Ergebnisse waren akzeptabel und es folgten Analysen für den zweiten Beobachtungspunkt, Section 0015-0016.

Section 0015-0016

Modell	Freiheitsgrade	Trainingszeitraum		Validierung	
		Input	Output	Input	Output
		Freiheitsgrade	Trainingszeitraum	Freiheitsgrade	Trainingszeitraum
Trivialprognose					
		6 w			
oKMC	v	6 w			
MLP 8/5/3/7/4 DBD tanh	2v, 6q	6 w	K1	K1	K1
MLP GA 9/4/1/4/15/4 Mom	9v	6 w	K1	K1	K1
SOM 40x40, hex. Tor., lin., bat.	9v	6 w	K1	K1	K1
SOM 40x40, hex. Tor., lin., bat.	2v, 6q	6 w	K1	K1	K1
MLP 8/5/3/7/4 Mom lin	2v, 6q	6 w	K1	K1	K1
MLP 8/8/3/2/1/3/1/4 DBD tanh	2v, 6q	6 w	K1	K1	K1

RMSE gesamt		RMSE <60 km/h		RMSE >=50 km/h	
t+1	t+2	t+1	t+2	t+1	t+2
3.94	5.39	10.12	16.61	29.06	43.27
6.32	6.32	6.32	38.95	38.95	38.95
4.54	5.87	7.18	7.95	35.01	45.49
5.46	6.36	7.25	7.98	49.42	55.62
6.13	7.40	7.97	9.23	51.85	55.99
5.86	6.86	8.00	8.74	48.30	50.72
4.91	6.26	7.22	8.23	41.11	51.22
6.00	6.11	8.00	8.29	50.01	44.65

RMSE <76 km/h		RMSE >=76 km/h		Korrelationskoeffizient gesamt	
t+1	t+2	t+1	t+2	t+1	t+2
4.24	7.29	9.01	11.42	19.52	24.10
5.37	6.71	7.70	9.95	12.28	17.90
5.02	6.01	6.93	7.58	13.28	16.00
4.05	5.74	6.57	8.02	9.30	13.70
3.94	5.18	6.33	7.68	9.90	13.55
2.89	4.36	6.22	7.70	5.60	14.27
4.64	5.46	6.71	7.39	12.59	14.56

Tabelle 10.5: Ergebnisse verschiedener Prognoseverfahren auf Basis von Konfiguration 1 – Section 0015-0016

Section 0015-0016

Nr.	Modell	Freiheitsgrade	Trainingszeitraum		Validierung	
			Input	Output	Input	Output
			Freiheitsgrade	Trainingszeitraum	Freiheitsgrade	Trainingszeitraum
1	MLP 8/17/26/4	3v, 5q	K3	K3	K3	
2	MLP 8/17/26/4	3v, 5q	K3	K3	K2	
3	MLP 11/27/9/4 GA	11v	K3	K2	K2	
4	MLP 11/27/9/4	11v	K4	K4	K4	
5	MLP 11/27/9/4 ALEV	11v	K4	K4	K4	
6	MLP 11/27/9/4 ALEV	14w	K4	K4	K4	
7	MLP 11/27/9/4 ALEV	26w	K4	K4	K4	
8	MLP 11/27/9/4	11v	K4	K5	K5	

RMSE gesamt		RMSE <76 km/h		RMSE >=76 km/h		Korrelationskoeffizient gesamt	
t+1	t+2	t+1	t+2	t+1	t+2	t+1	t+2
4.24	7.29	9.01	11.42	19.52	24.10	2.00	3.50
5.37	6.71	7.70	9.95	12.28	17.90	21.55	21.01
5.02	6.01	6.93	7.58	13.28	16.00	19.15	20.73
4.05	5.74	6.57	8.02	9.30	13.70	20.47	2.67
3.94	5.18	6.33	7.68	9.90	13.55	16.87	2.16
2.89	4.36	6.22	7.70	5.60	14.27	16.90	1.79
4.64	5.46	6.71	7.39	12.59	14.56	18.68	20.57

Tabelle 10.6: MLPs und Trivialprognose mit verschiedenen Konfigurationen – Section 0015-0016

Section 0015-0016

Modell	Freiheitsgrade	Trainingszeitraum		Validierung	
		Input	Output	Input	Output
		Freiheitsgrade	Trainingszeitraum	Freiheitsgrade	Trainingszeitraum
MLP 11/27/9/4 ALEV best	11v	K4	K4	K1	K1
MLP 11/27/9/4 ALEV worst	11v	K4	K4	K1	K1
GFNN 11/25/11/7 GA ALEV	11v	K4	K4	K1	K1
ModNN 11-20/7-3/1-3-4 GA ALEV	11v	K4	K4	K1	K1
RBf 11/27/14/4 ALEV	11v	K4	K4	K1	K1
Erman	26w	K4	K4	K1	K1
SVM ALEV	26w	K4	K4	K1	K1
MLP 11/27/9/4 ALEV CG	11v	K4	K4	K1	K1
MLP 11/27/9/4 ALEV Quickprop	11v	K4	K4	K1	K1
MLP 11/27/9/4 ALEV DBD	26w	K4	K4	K1	K1
Trivialprognose					

RMSE gesamt		RMSE <76 km/h		RMSE >=76 km/h		Korrelationskoeffizient gesamt	
t+1	t+2	t+1	t+2	t+1	t+2	t+1	t+2
4.14	5.26	7.02	8.16	8.17	11.13	15.01	19.12
4.39	5.31	6.76	8.23	9.19	11.79	15.72	20.22
4.08	5.32	6.99	8.42	11.13	15.26	19.94	3.10
4.18	5.33	6.62	7.83	8.58	12.55	15.72	20.01
4.64	5.48	6.94	7.90	9.88	12.17	16.15	20.02
4.43	5.62	7.18	8.12	9.33	13.07	17.32	20.20
16.34	17.10	17.17	18.45	42.16	43.76	42.97	31.04
4.18	5.57	6.83	7.88	9.09	13.44	16.14	20.46
4.01	5.42	6.91	7.97	8.79	12.05	15.95	20.09
4.18	5.25	6.83	8.14	8.69	11.04	14.67	19.78
3.94	5.38	7.28	9.91	7.91	10.31	14.04	19.45

Tabelle 10.7: MLPs und Trivialprognose Konfigurationen K4 und K1 – Section 0015-0016

Tabelle 10.5 zeigt einen Vergleich der Validierungsergebnisse verschiedener Prognoseverfahren. Die Trivialprognose zeigte sich hier als stark gegenüber fortgeschrittenen Prognoseverfahren, gerade für den gestauten Bereich. Das war verblüffend, hatten doch alle bisherigen Forschungen anderes gezeigt (vgl. [Sch03], [Top04], [Hain06]). Es stellte sich heraus, dass die ASFINAG in geographischer Nähe zu diesem Beobachtungspunkt, der Section 0015-0016, einen Kontrollpunkt betreibt. LKW müssen zwischendurch anhalten. Es kommt zu Verzögerungen in größerem Ausmaß, die nicht von der Verkehrsdynamik auf der Fahrbahn herrühren. Im Sinne von Patzak kann man hier von einer Störgröße sprechen, deren Auftreten und Intensität nicht vorhersagbar sind. Analog zur Untersuchung von Section 0303-0304 wurden verschiedene weitere Konfigurationen hinsichtlich deren Verbesserungspotenzials überprüft (Tabelle 10.6 und 10.7). Die Trivialprognose blieb stark konkurrenzfähig, besonders im gestauten⁷⁵ Bereich.

Es wurden nun alle der im Kapitel näher vorgestellten fortgeschrittenen NN-Architekturen auf Basis der K4 Konfiguration trainiert und mit der K1 Konfiguration validiert. Die jeweiligen Modellparameter sind in Tabelle 10.8 dargestellt. Die Trainingsdaten wurden dabei nach Möglichkeit mit dem ALEV Verfahren reduziert, was das Konvergenzverhalten, wie in den Kapiteln 7 und 9 positiv beeinflusste. Es wurden für MLPs auch kompliziertere Lernverfahren wie Conjugate Gradient (CG), Quickprop und Delta Bar Delta (DBD) erprobt. Diese Lernverfahren sind wie das Momentum Verfahren in [Top04] ausführlich behandelt worden. Gerade bei der Trainingszeit zeigte sich, dass DBD zu schnellerer Konvergenz führt. Das RBF (Trainingszeit 5,5min) bzw. die SVM (Trainingszeit 4min) bestehen aus einem Teil, der unüberwacht lernt und eine Datenreduktion durchführt. Die hier verwendeten Clusterverfahren k-Nearest Neighbors (KNN) bzw. der Kernel-Adatron Algorithmus kosteten hier viel Zeit, obwohl die Anzahl der verfügbaren Cluster sehr reduziert wurde. Die Modelle 1 und 2 sind das jeweils beste bzw. schlechteste Modell aus den Performancetests in Kapitel 9. Für sie ist statistisch gesichert, dass die Trainingszeit innerhalb der Grenze von 1-2min liegt. Das GFFN trainierte bereits eine Minute länger und alle weiteren NN dieser Topologie werden mit hoher Wahrscheinlichkeit auch länger brauchen als Modell 2. Das modulare NN konvergierte nach 1,25 min vergleichsweise schnell.

⁷⁵ Hier repräsentiert mit dem 80%-Perzentil der freien Reisegeschwindigkeit.

Modell - Datenbasis: 26 Wochen		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lernverfahren		MLP best Run	MLP worst Run	GFFN	ModNN	RBF NN	SVM	EIman	MLP	MLP	MLP
Unsupervised	Zyklen					100	kernel Adatron				
	Methode	2,000	2,000	2,000	2,000	KNN		2,000	2,000	2,000	2,000
	Zyklen	Momentum	Momentum	Momentum	Momentum	2,000		Momentum	CG	Quickprop	DBD
Supervised	Methode	1,746	884	2,000	1,189	743	100	2,000	2,000	2,000	393
	CV Terminierung	00:02:00	00:01:01	00:02:56	00:01:15	00:05:27	00:03:56	00:16:25	00:03:22	00:02:20	00:00:39
Trainingsvektoren		1,070	1,070	1,070	1,070	1,070	1,070	18,478	1,070	1,070	1,070
Genetischer Algorithmus											
Population		50	40	40	40	40					
Generationen		30	200	200	200	157					
Progression		Steady-State	Steady-State	Steady-State	Steady-State	Steady-State					
Optimierungsziel		Cross Validation	Cross Validation	Cross Validation	Cross Validation	Cross Validation					
Selektion		Tournament	Roulette	Roulette	Roulette	Roulette					
Typ		5	40	40	40	40					
Crossover		One Point	Two Point	Two Point	Two Point	One Point					
Mutationswahrscheinlichkeit		0.9	0.8	0.8	0.8	0.8					
Optimierungszeit		ca. 03:00:00		ca. 11:00:00	ca. 7:30:00	ca. 11:15:00					
Neuronen											
Eingabeschicht		11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
verdeckte Schicht 1		Transferfunktion	tanh	tanh	tanh	Gauss	Gauss	tanh	tanh	tanh	tanh
verdeckte Schicht 2		Anzahl	27	25	20/1	277	1070	13	27	27	27
Ausgabeschicht		Transferfunktion	tanh	tanh	tanh	tanh		tanh	tanh	tanh	tanh
		Anzahl	9	11	3/13	14		7	9	9	9
		Transferfunktion	tanh	tanh	tanh	tanh	Identität	tanh	tanh	tanh	tanh
		Anzahl	4	4	4	4	4	4	4	4	4
						Feedbackparameter		0.8			
Training											
MSE		0.026095	0.028017	0.024747	0.030005	0.029339	0.680297	0.006365	0.029502	0.027712	0.024833
f		0.683801	0.658078	0.708880	0.624381	0.645837	-0.273385	0.548657	0.842059	0.664256	0.707375
RE		12.099969	12.220914	11.294931	13.452520	13.618692	54.334860	3.250996	12.985050	12.453477	11.479665
AIC		-2.712.980225	-2.664.686035	-2.159.983643	-2.933.842041	10.797.805664	33.827.808594	-92.506.963125	-2.537.933838	-2604.913574	-2722.26123
MDL		-1.793.117676	-1.742.554565	-822.535156	-2.325.369873	21.622.361328	59.297.351563	-91.144.054688	-1.621.506348	-1688.486084	-1805.83374
Validierung											
MSE		0.009582	0.010775	0.010065	0.009974	0.011742	0.290367	0.009682	0.010838	0.010098	0.010066
f		0.658372	0.616003	0.656862	0.631171	0.599427	-0.332554	0.586215	0.816784	0.632447	0.653419
RE		3.963728	4.047243	3.944787	4.217503	5.199102	29.510822	4.768252	4.391107	4.066375	3.898142
AIC		-6.320.708984	-6.130.157715	-5.674.823242	-6.669.568379	7.329.484375	32.230.509766	-6.599.938965	-6.120.670898	-6235.616211	-6242.381348
MDL		-5.275.583984	-5.085.032715	-4.149.551758	-5.975.666016	19.674.173828	61.276.839844	-5.805.915627	-5.075.546898	-5190.491211	-5197.256348

Tabelle 10.8: Trainingsergebnisse fortgeschrittener FF-Architekturen

Das Elmannetz arbeitet wegen seiner Strukturen für Kurzzeitgedächtnis zeitkontinuierlich, d.h. dass mit ALEV reduzierte Daten nicht verwendet werden können. Es hatte mit über 16min die längste Trainingszeit, das ist das 8-16 Fache der MLPs. CG und Quickprop führten zu erhöhten Trainingszeiten bei MLPs.

In Summe gesehen würde man sich hier im Sinne der Viabilität für das NN entscheiden, dass die kürzeste Trainingszeit aufweist. Das wäre das Modell MLP 11/27/9/4 DBD. Der nahe Verwandte, das MLP 11/27/9/4 Mom, wurde genetisch optimiert. Die Trainingsperformance dieser unterschiedlich trainierten Topologien ist ebenso durchaus qualitativ und quantitativ vergleichbar. Auch die genetisch optimierten NN GFFN und modulares NN waren sowohl in der Trainings- als auch in der Validierungsperformance konkurrenzfähig.

Tabelle 10.9 zeigt eine detaillierte Gegenüberstellung der Validierungsergebnisse für verschiedene RMSE Bereiche und den Korrelationskoeffizienten r . Die Zellen mit den besten beiden Werten wurden grün hinterlegt. Modell 1 ist hier sehr stark, aber auch seine worst case Version Modell 2 kann punkten. Die Modelle 8 und 10, MLPs trainiert mit CG und DBD, liegen hier phasenweise unter den Gewinnern.

Die Störgröße bei der Beschreibung der Charakteristik dieser Section erwies sich als unüberwindbar, um bessere Prognoseergebnisse für $v < 76$ km/h erzielen zu können. Das Einsparungspotential von MLPs im Vergleich zur Trivialprognose ist ausgeglichen (vgl. Tabelle 10.9), aber im Vergleich zu den Ergebnissen bei Section 0303-0304 eher bescheiden. Für höhere Prognosehorizonte sind MLPs im unbestrittenen Vorteil mit RMSE Einsparungen von bis zu 33%. Für Sequenzen mit Werten mit $v < 76$ km/h dominiert die Trivialprognose unbestritten. Hier lagen fast nur RMSE Verluste mit bis zu -10% vor. Auch im Gesamtvergleich für $t+1$ liegen Verluste bei den MLPs von -5% bis -6% vor. Bei den Horizonten $t+2$, $t+4$ und $t+8$ führten diese aber wieder mit Einsparungen von bis zu 18%.

10.4 Zusammenfassung

Die beiden untersuchten Beobachtungspunkte Section 0303-0304 und Section 0015-0016 weisen unterschiedliche Charakteristiken auf, wie ein Einführendes Visuelles Data Mining vermittelte. Bei den Prognosemethoden zeigten sich Unterschiede. Fortgeschrittene NN Architekturen divergierten bei der Trainingszeit und bei den Validierungsergebnissen. Mit einfachen und im Vergleich sehr simplen NN Architekturen, den MLPs wurden in Summe gesehen viablere und damit schnell und wirtschaftlich einsatzfähigere Zugänge für die Umsetzung bei GoSmart gelegt.

Section 0015-0016

Modell	Freiheitsgrade	Trainingszeitraum	Training				Validierung													
			Input		Output		Output		Output											
			t+1	t+2	t+4	t+8	t+1	t+2	t+4	t+8										
MLP 11/27/9/4 ALEV best	11v	26w	K4	K4	K4	K4	8.16	8.17	11.13	15.01	19.12	3.27	3.90	5.15	5.28	0.91	0.84	0.69	0.55	
MLP 11/27/9/4 ALEV worst	11v	26w	K4	K4	K4	K4	8.23	9.18	11.79	15.72	20.22	3.29	3.73	4.43	4.85	0.89	0.83	0.71	0.54	
GFNN 11/25/11/7 GA ALEV	11v	26w	K4	K4	K4	K4	8.03	8.42	11.13	15.26	19.54	3.10	4.00	5.00	4.79	0.91	0.83	0.70	0.56	
ModNN 11_20/1-3/13-4 GA ALEV	11v	26w	K4	K4	K4	K4	7.83	8.58	12.35	15.72	20.01	3.20	3.42	4.17	4.17	0.90	0.83	0.72	0.58	
RBF 11/27/14/4 ALEV	11v	26w	K4	K4	K4	K4	7.90	8.88	12.17	16.15	20.02	3.42	3.64	4.51	4.51	0.88	0.82	0.70	0.57	
EImer	11v	26w	K4	K4	K4	K4	5.45	6.94	9.33	13.07	17.32	3.31	3.68	4.39	4.65	0.89	0.81	0.66	0.54	
SVN ALEV	11v	26w	K4	K4	K4	K4	7.18	8.12	9.33	13.07	17.32	3.31	3.68	4.39	4.65	0.89	0.81	0.66	0.54	
MLP 11/27/9/4 ALEV CG	11v	26w	K4	K4	K4	K4	17.10	17.17	18.45	42.16	43.76	42.97	31.04	8.45	9.07	9.69	16.12	-0.04	0.00	0.21
MLP 11/27/9/4 ALEV Quickprop	11v	26w	K4	K4	K4	K4	5.57	6.83	7.88	9.09	13.44	16.14	20.48	3.00	3.42	4.35	4.00	0.90	0.81	0.70
MLP 11/27/9/4 ALEV DBD	11v	26w	K4	K4	K4	K4	5.42	6.91	7.97	8.79	12.05	15.95	20.09	2.86	3.79	4.58	4.41	0.91	0.82	0.70
MLP 11/27/9/4 ALEV DBD	11v	26w	K4	K4	K4	K4	5.25	6.83	8.14	8.69	11.04	14.67	19.78	3.16	3.91	4.88	4.41	0.82	0.71	0.55
Trivialprognose							3.94	5.38	7.28	9.91	7.91	10.31	14.04	19.45	3.10	4.38	5.88	7.85	0.66	0.43

Tabelle 10.9: MLPs und Trivialprognose mit Konfiguration K4 – Section 0015-0016

Performance MLP vs. Trivialprognose	RMSE <76 km/h				RMSE >=76 km/h				Korrelationskoeffizient gesamt							
	t+1	t+2	t+4	t+8	t+1	t+2	t+4	t+8	t+1	t+2	t+4	t+8				
	MLP 11/27/9/4 ALEV best	-5.05	2.22	3.53	17.72	-3.40	-7.93	-6.87	1.73	-5.38	10.89	12.38	32.78	3.17	5.89	4.97
MLP 11/27/9/4 ALEV best	-0.42	-0.91	7.48	17.69	-4.79	-6.50	-5.08	0.11	4.43	3.99	18.36	34.62	3.48	4.62	8.59	13.22

Tabelle 10.10: Einsparungen von RMSE und r in % – Section 0015-0016

Kapitel 11

Sensitivitätsanalyse und nichtlineare mathematische Abbildung

„Diejenigen, die überhaupt keine Vorstellung davon haben, dass es möglich ist zu irren, können nichts lernen außer Know-how [Bate79].“ Gregory Bateson

11.1 Perturbationen und deren Darstellung

NeuroSolutions beinhaltet bereits ein Feature, um fertig trainierte NN hinsichtlich deren Sensitivität zu untersuchen (vgl. Abbildung 11.1). Man trägt den Grad der Schwankung ein und führt auf Knopfdruck einen Lauf mit allen so veränderten Trainingsdaten durch.

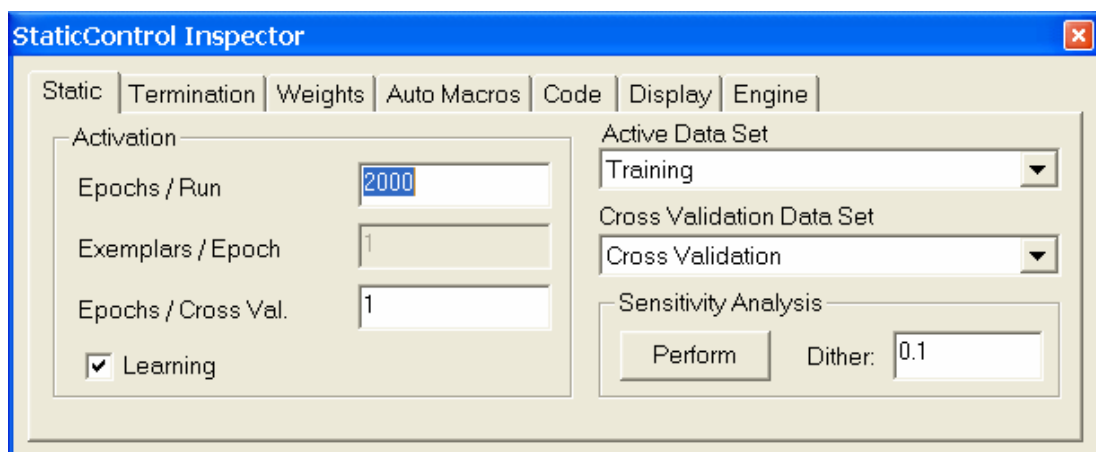


Abbildung 11.1: Feature zur Sensitivitätsanalyse in NeuroSolutions

Es wurde ein MLP mit einer Vergangenheitstiefe von 21 Intervallen der Geschwindigkeit trainiert. In Abbildung 11.2 ist das zugehörige zeitliche Schema dargestellt. Mit diesem großen Wert sollte ergründet werden, inwieweit sich Ereignisse in der Vergangenheit isolieren lassen, die einen großen Einfluss auf die jeweiligen Prognosehorizonte $t+1$, $t+2$, $t+4$ und $t+8$ haben. Die Trainingsdaten wurden mit zunehmender Stärke perturbiert und die Outputänderungen wurden als Textfiles zur weiteren Verarbeitung exportiert. Die Perturbationen betragen für alle Prognosehorizonte 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 170 und 200 Prozent vom jeweiligen Originalwert.

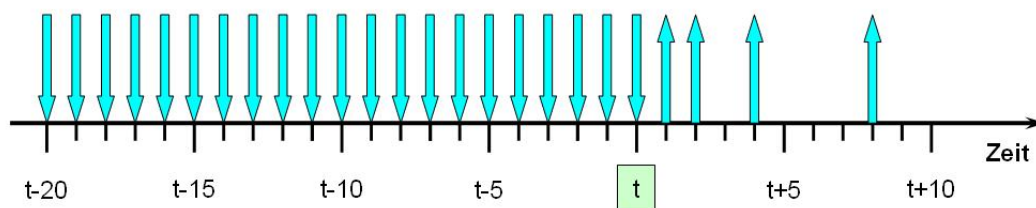


Abbildung 11.2: zeitliches Schema 3 – 21 Inputwerte, 4 Outputwerte

Wie ich bereits im Kapitel 2 ausgeführt habe, gibt es in der Literatur zwar Verweise auf die Möglichkeit zur Durchführung einer solchen Analyse, jedoch habe ich bei meiner Recherche keine konkreten Ergebnisse darüber gefunden. Adams [Ada05] beschäftigte sich in seiner Dissertation mit dem Thema der Sensitivität, allerdings in philosophischer Perspektive. Auf Basis seiner Recherchen ([Wet89], [Sah03], [Dem03]) gibt Adams insgesamt 6 Zugänge zur Sensitivitätsanalyse:

1. Perturbationsanalyse (Perturbation Analysis),
2. Toleranzanalyse (Tolerance Analysis),
3. individuell symmetrische Toleranzanalyse (Individual Symmetric Tolerance Analysis),
4. symmetrische Toleranzanalyse (Symmetric Tolerance Analysis),
5. parametrische Sensitivitätsanalyse (Parametric Sensitivity Analysis) und
6. gewöhnliche Sensitivitätsanalyse (Ordinary Sensitivity Analysis)

Van Beers und Kleijnen [vBeKl89] sprechen davon eine Antwortoberfläche (Response Surface) eines Simulationsmodells zu bilden. Verschiedenste so genannte

Metamodel Types (Polynomregression, Kringing, Splines, rationale Funktionen, etc.) können untereinander noch schwer verglichen werden. Außerdem besteht scheinbar noch erheblicher Forschungsbedarf, was multivariate Outputs betrifft (nach [vBeK189]).

So gesehen begeben mich hier auf persönlich unbekanntes Territorium und führe meine eigenen Terminologien bei der Perturbationsanalyse ein, wobei ich mich auf Adams [Ada05] berufe. In weiterer Zukunft hoffe ich auf Wissenschaftler zu treffen, mit denen ich diese Ergebnisse diskutieren kann, und mit denen eine gemeinsame Sprache werden wird. Dabei ist Patzaks Definition der Sensitivitätsanalyse [Pat82] ein übergeordneter Begriff für Zweck und Zielsetzung:

Die Sensitivitätsanalyse liefert Einblick in das Systemverhalten, macht das Risiko sichtbar: Ausgehend von einem deterministischen Modell kann man unter anderem

- *analysieren, welche Systemparameter kritisch und welche weniger kritisch sind; welcher Randbedingungen relevant sind sowie welchen Einfluss die Randbedingungen besitzen;*
- *den Bereich angeben, in dem die Lösung optimal bleibt, wenn die Parameter (unter ceteris paribus Bedingung) Änderungen unterliegen;*
- *feststellen, ob die Lösung sehr empfindlich auf Änderungen bestimmter Parameter reagiert (geht schon in die Stabilitätsanalyse über). Dies dient auch zur Bestimmung der erforderlichen Genauigkeit von Daten.*

Die Textfiles wurden in MatLab importiert und als *Perturbationsdiagramm* dargestellt. Eine Perturbation bedeutet so viel wie Störung bzw. Verwirrung und ich orientiere mich bei diesem Ausdruck an Günter Raidl [Rai04], der ihn im Zusammenhang mit genetischen Algorithmen gebraucht hat. Auf der Abszisse wird sie in Form einer Inputänderung (in % vom originalen Beobachtungswert) aufgetragen. Die Ordinate bildet den zugehörigen Einfluss auf den Output (in % vom originalen Beobachtungswert) ab. Im Unterkapitel 11.2 sind vier Perturbationsdiagramme dargestellt. Für die zugehörigen mehr oder weniger nichtlinearen Verläufe der Einflüsse werden die numerischen Ergebnisse der Koeffizientenschätzung angegeben.

Damit ist die Frage, welcher Wert in der Vergangenheit global gesehen welchen Einfluss hat, noch nicht beantwortet. Ihr wird durch eine weitere Darstellung intuitiv auf den Grund gegangen. Im *Kausaldiagramm* wird dies ersichtlich. Hierfür wurden

auf der Abszisse die einzelnen Intervalle chronologisch aufsteigend aufgetragen. Die Ordinate stellt nun die allgemeine Outputänderung (in %) dar. Sie ist nichts anderes als der Mittelwert über den zugehörigen Einfluss eines Intervalls auf den Output, welcher durch ein Polynom mathematisch dargestellt werden kann. Entsprechende Darstellungen werden unter Punkt 11.3 präsentiert und diskutiert.

11.2 Mathematische Abbildung

Eine mathematische Abbildung des Modellverhaltens kann z.B. durch die Koeffizientenschätzung eines Polynoms $p(x)$ des Grades n erfolgen. Dies erfolgt mit einer Least Squares Minimierung für die Zielfunktion

$$p(x) = p_1x^n + p_2x^{n-1} + \dots + p_nx + p_{n+1} \quad (11.1).$$

In MatLab wird diese Koeffizientenschätzung mit der Funktion $p = \text{polyfit}(x, y, n)$ realisiert. Dabei beinhaltet der Vektor \mathbf{p} die numerisch geschätzten Koeffizienten.

11.2.1 Prognosehorizont $t+1$

In Abbildung 11.2 erkennt man eindeutig die unterschiedlichen Ausprägungen der Stärken vergangener Einflüsse. Der unmittelbare Vorgängerwert v nimmt mit zunehmender Perturbationsstärke degressiv ab, d.h. je stärker sich der Messwert verändert, desto geringer der Einfluss auf das Prognoseergebnis für den Wert $v+1$. Es gibt zwei weitere stark nichtlineare Einflusszeitpunkte, nämlich $v-2$ und $v-3$. Nimmt die Perturbation bis etwa 100 %, zu so steigt ihr Einfluss progressiv, danach nimmt er wieder ab. Die weiteren Zeitpunkte verhalten sich nicht so stark, manche nehmen zu, manche ab. Die Nichtlinearitäten sind weniger stark ausgeprägt. Ins Blickfeld fallen vor allem die Messwerte $v-4$ und $v-12$ (steigen an) und $v-1$ bzw. $v-7$ (nehmen ab). Die restlichen Zeitpunkte bewegen sich beim mittleren Einfluss auf den Output unter 6 %. Die Koeffizienten für die mathematische Abbildung durch ein Polynom 6. Grades sind in Tabelle 11.1 angegeben. Man erkennt, dass der Einfluss mit zunehmender Ordnung abnimmt, d.h. von quantitativer Seite werden 4., 5. und 6. Ordnung keinen maßgeblichen Einfluss mehr auf den Polynomverlauf nehmen.

Ähnliche Aussagen lassen sich auch für die höheren Prognosehorizonte (vgl. Abbildung 11.3 bis 11.5 und Tabellen 11.2 bis 11.4) treffen. Mit steigendem

Horizont nehmen lineare Terme leicht zu bzw. gewinnen immer mehrere Zeitpunkte in der Vergangenheit an Einfluss.

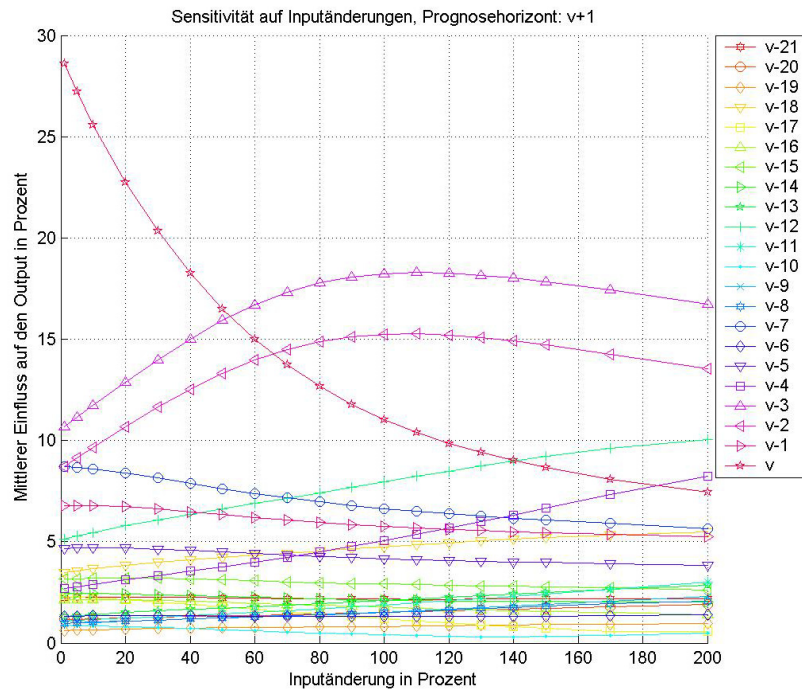


Abbildung 11.3: Perturbationsdiagramm für t+1

Horizont (t+1)	p ₁	p ₂	p ₃	p ₄	p ₅	p ₆	p ₇
v	6.90E-13	-4.35E-10	1.17E-07	-2.09E-05	0.0031545	-0.36698	28.968
v-1	-1.66E-13	1.41E-10	-4.76E-08	7.90E-06	-0.00061505	0.0074531	6.7645
v-2	-3.29E-14	-9.96E-11	6.53E-08	-1.26E-05	0.00037749	0.09901	8.6254
v-3	-4.10E-14	-1.26E-10	8.13E-08	-1.56E-05	0.0005517	0.10904	10.588
v-4	6.20E-14	-2.39E-11	-1.37E-09	1.40E-06	-0.00011829	0.024948	2.6508
v-5	-1.29E-13	1.05E-10	-3.41E-08	5.53E-06	-0.00043345	0.0079994	4.6624
v-6	-1.97E-14	2.00E-11	-7.84E-09	1.48E-06	-0.00012803	0.0038252	1.3198
v-7	-2.39E-13	1.94E-10	-6.21E-08	9.64E-06	-0.00065434	-0.00671	8.7241
v-8	2.27E-14	-8.62E-12	-5.13E-10	5.11E-07	-5.83E-05	0.007367	0.95578
v-9	5.22E-14	-2.65E-11	3.80E-09	4.89E-08	-3.64E-05	0.0073358	0.94787
v-10	-1.08E-13	5.20E-11	-9.63E-09	1.16E-06	-8.91E-05	-0.0019981	0.87663
v-11	2.72E-15	3.43E-12	-3.15E-09	7.79E-07	-5.65E-05	0.0087429	1.065
v-12	6.45E-14	-9.38E-12	-9.07E-09	2.78E-06	-0.00029692	0.040059	5.079
v-13	3.23E-14	-1.27E-11	-1.44E-10	6.03E-07	-8.22E-05	0.011262	1.2993
v-14	-4.75E-14	4.30E-11	-1.51E-08	2.55E-06	-0.00019412	0.0018504	2.4491
v-15	-4.50E-14	4.58E-11	-1.77E-08	3.26E-06	-0.00029226	0.0077797	3.149
v-16	-5.06E-14	4.29E-11	-1.44E-08	2.42E-06	-0.00020357	0.0030119	2.1494
v-17	-7.55E-14	7.07E-11	-2.29E-08	3.56E-06	-0.00026979	-0.002854	2.274
v-18	1.39E-14	1.09E-11	-9.91E-09	2.38E-06	-0.00025504	0.023257	3.4622
v-19	3.72E-14	-1.85E-11	2.52E-09	7.45E-08	-3.92E-05	0.0042067	0.61712
v-20	1.23E-14	-1.12E-12	-2.37E-09	7.55E-07	-7.90E-05	0.0062753	1.1501
v-21	-3.62E-14	3.33E-11	-1.22E-08	2.17E-06	-0.00018211	0.0051249	2.2217

Tabelle 11.1: Koeffizienten für Prognosehorizont t+1

11.2.2 Prognosehorizont t+2

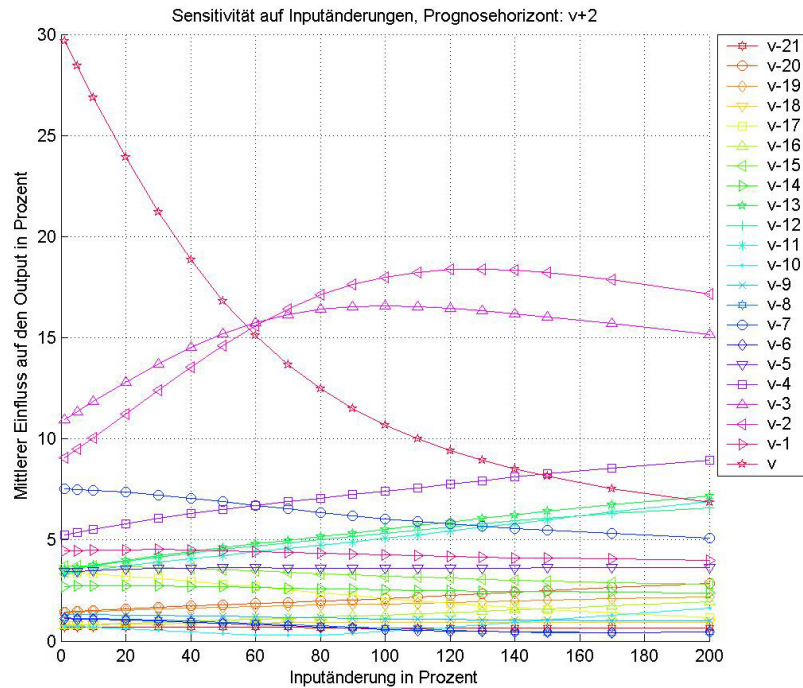


Abbildung 11.4: Perturbationsdiagramm für t+2

Horizont (t+2)	p ₁	p ₂	p ₃	p ₄	p ₅	p ₆	p ₇
v	-1.70E-12	1.15E-09	-2.90E-07	2.96E-05	0.00021886	-0.31946	30.015
v-1	1.29E-13	-6.91E-11	1.10E-08	4.37E-10	-0.00013912	0.0065448	4.4438
v-2	-3.98E-13	1.05E-10	3.10E-08	-1.26E-05	0.00077582	0.10157	8.9624
v-3	5.83E-13	-4.82E-10	1.50E-07	-1.99E-05	0.00055605	0.093204	10.859
v-4	2.44E-13	-1.42E-10	2.83E-08	-1.88E-06	-7.48E-05	0.031642	5.2177
v-5	9.14E-14	-5.01E-11	8.36E-09	-6.93E-08	-0.00010243	0.0085174	3.4193
v-6	5.83E-14	-3.70E-11	7.99E-09	-4.93E-07	-1.70E-05	-0.0035521	1.1163
v-7	1.48E-13	-7.08E-11	7.25E-09	1.26E-06	-0.00025297	-0.0037921	7.531
v-8	4.62E-14	-2.18E-11	3.41E-09	2.14E-09	-4.04E-05	-0.0027559	1.1515
v-9	8.15E-14	-4.54E-11	8.46E-09	-4.60E-07	-2.06E-05	-0.00016277	1.3046
v-10	-1.08E-13	1.27E-10	-4.84E-08	7.74E-06	-4.31E-04	-0.00025013	0.733
v-11	1.35E-13	-8.06E-11	1.63E-08	-1.11E-06	-1.27E-05	0.020298	3.3189
v-12	1.65E-13	-9.54E-11	1.89E-08	-1.37E-06	-2.26E-05	0.023461	3.4911
v-13	1.47E-13	-8.73E-11	1.77E-08	-1.32E-06	-1.10E-05	0.023705	3.5342
v-14	5.57E-14	-3.06E-11	4.87E-09	5.87E-08	-7.06E-05	0.0023181	2.7099
v-15	9.98E-14	-5.13E-11	7.38E-09	1.83E-07	-0.00010546	0.00025273	3.7281
v-16	3.48E-14	-2.06E-11	4.11E-09	-2.69E-07	-8.44E-07	0.005752	0.75267
v-17	3.31E-14	-9.55E-12	-2.40E-09	1.32E-06	-0.00017024	-0.0058902	3.3938
v-18	9.02E-15	-3.54E-12	-4.52E-11	1.97E-07	-3.70E-05	0.0033518	0.79084
v-19	5.77E-14	-3.44E-11	7.01E-09	-4.59E-07	-2.02E-05	0.0069513	1.3961
v-20	6.53E-14	-3.83E-11	7.60E-09	-4.97E-07	-6.37E-06	0.0078679	1.4434
v-21	1.80E-14	-8.57E-12	1.08E-09	4.62E-08	-1.55E-05	0.0004326	0.68788

Tabelle 11.2: Koeffizienten für Prognosehorizont t+2

11.2.3 Prognosehorizont t+4

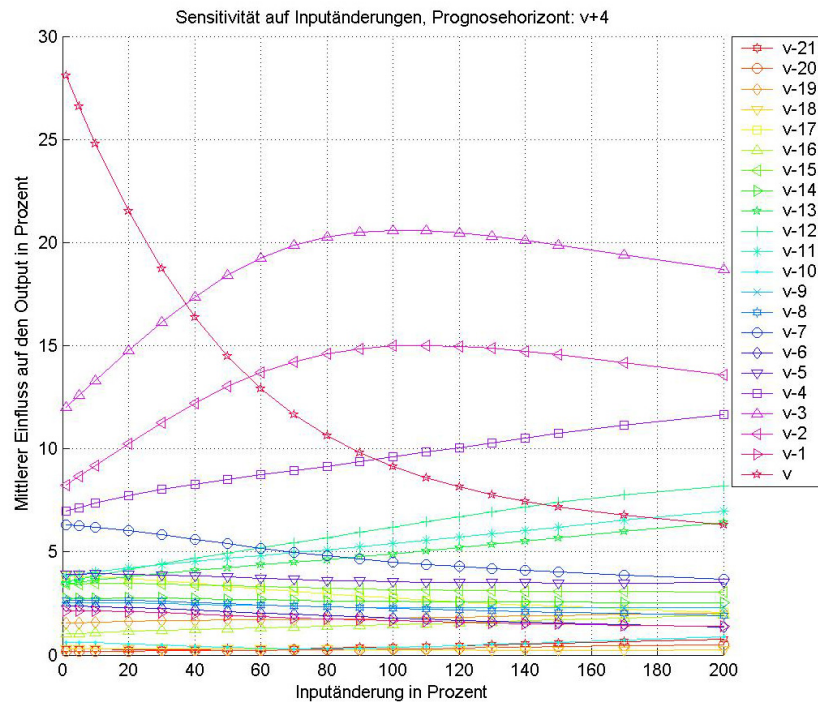


Abbildung 11.5: Perturbationsdiagramm für t+4

Horizont (t+4)	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7
v	-1.28E-12	7.95E-10	-1.69E-07	8.18E-06	0.0022166	-0.39496	28.486
v-1	-2.65E-14	3.00E-11	-1.24E-08	2.37E-06	-0.00020357	0.0014618	2.1297
v-2	2.51E-13	-2.86E-10	1.11E-07	-1.75E-05	0.00058542	0.10008	8.1475
v-3	7.86E-13	-6.76E-10	2.18E-07	-3.01E-05	0.00094955	0.13468	11.897
v-4	1.84E-13	-7.89E-11	3.84E-09	2.45E-06	-4.22E-04	0.046597	6.9331
v-5	-1.79E-14	3.22E-11	-1.58E-08	3.30E-06	-0.0002933	0.0055336	3.9105
v-6	-6.63E-14	5.26E-11	-1.69E-08	2.73E-06	-2.15E-04	0.0007413	2.3668
v-7	-1.13E-13	1.03E-10	-3.64E-08	6.14E-06	-0.00043952	-0.0083749	6.335
v-8	6.12E-16	1.56E-11	-9.65E-09	2.16E-06	-2.05E-04	0.0029894	2.6407
v-9	6.02E-16	1.40E-11	-8.87E-09	2.01E-06	-1.84E-04	0.0036493	2.5143
v-10	4.59E-14	4.38E-12	-1.18E-08	2.81E-06	-1.82E-04	-0.0015567	0.62574
v-11	9.94E-14	-4.29E-11	2.12E-09	1.32E-06	-2.09E-04	0.024779	3.803
v-12	1.25E-13	-5.53E-11	4.87E-09	6.75E-07	-1.35E-04	0.032977	3.5286
v-13	8.81E-14	-3.73E-11	1.70E-09	1.20E-06	-1.89E-04	0.023044	3.412
v-14	-7.88E-15	1.93E-11	-1.01E-08	2.16E-06	-2.02E-04	0.0057942	2.7126
v-15	-2.02E-15	2.02E-11	-1.22E-08	2.80E-06	-0.0002729	0.0070396	3.4205
v-16	4.54E-14	-2.37E-11	3.47E-09	8.19E-08	-5.10E-05	0.0072209	1.0211
v-17	-7.13E-14	6.44E-11	-2.30E-08	4.05E-06	-0.00033256	-0.00057473	3.8203
v-18	2.50E-14	-4.46E-12	-1.09E-09	3.48E-07	-3.71E-05	0.0011718	0.29905
v-19	-1.01E-14	1.61E-11	-7.42E-09	1.49E-06	-1.38E-04	0.0073729	1.53
v-20	-5.22E-15	4.73E-12	-1.61E-09	2.16E-07	-1.57E-06	0.00020297	0.18768
v-21	-4.86E-14	3.39E-11	-9.10E-09	1.10E-06	-3.93E-05	0.00012777	0.27914

Tabelle 11.3: Koeffizienten für Prognosehorizont t+4

11.2.4 Prognosehorizont t+8

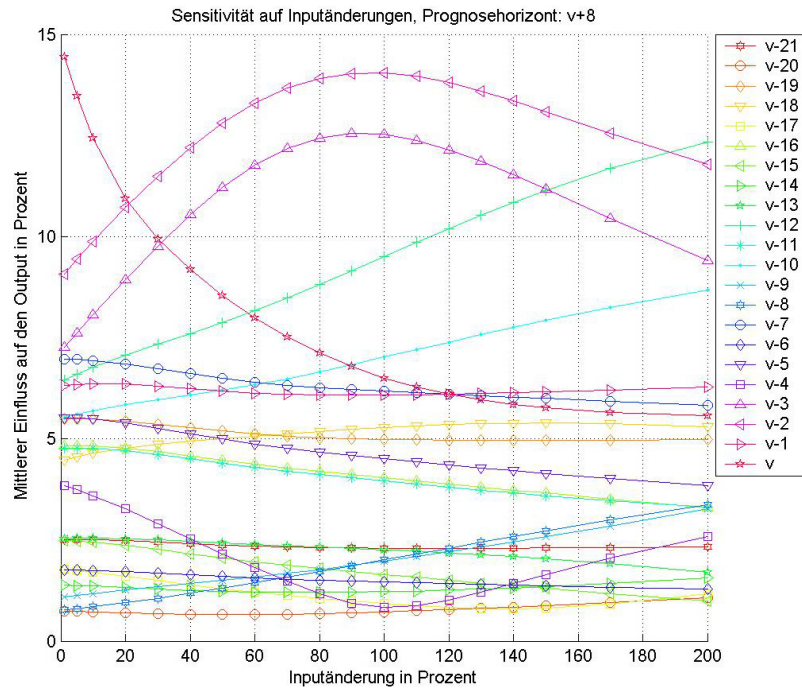


Abbildung 11.6: Perturbationsdiagramm für t+8

Horizont (t+8)	p ₁	p ₂	p ₃	p ₄	p ₅	p ₆	p ₇
v	3.06E-12	-2.05E-09	5.39E-07	-7.18E-05	0.0054114	-0.26953	14.684
v-1	-3.42E-13	2.47E-10	-7.03E-08	9.68E-06	-0.00061531	0.011517	6.301
v-2	-4.83E-13	1.92E-10	-7.31E-09	-3.90E-06	-6.57E-05	0.089088	8.9958
v-3	-4.93E-13	1.50E-10	1.99E-08	-9.74E-06	0.00038199	0.082444	7.1988
v-4	2.25E-12	-1.31E-09	2.64E-07	-2.07E-05	5.80E-04	-0.037511	3.9018
v-5	-3.92E-13	2.71E-10	-7.28E-08	9.47E-06	-0.00057155	0.0019652	5.5192
v-6	-1.28E-13	9.16E-11	-2.51E-08	3.26E-06	-1.89E-04	0.00068098	1.7536
v-7	-4.41E-13	3.06E-10	-8.20E-08	1.04E-05	-0.00059089	0.0025334	6.964
v-8	5.81E-14	-3.75E-11	9.50E-09	-1.33E-06	1.21E-04	0.0072562	0.76247
v-9	-4.22E-14	3.38E-11	-1.06E-08	1.60E-06	-9.61E-05	0.010191	1.0831
v-10	-3.09E-13	2.28E-10	-6.56E-08	8.89E-06	-5.34E-04	0.025572	5.494
v-11	-3.50E-13	2.36E-10	-6.23E-08	8.08E-06	-5.13E-04	0.0045403	4.7664
v-12	-3.26E-13	2.50E-10	-7.39E-08	1.00E-05	-5.87E-04	0.041487	6.4027
v-13	-1.89E-13	1.31E-10	-3.47E-08	4.40E-06	-2.74E-04	0.0043154	2.5238
v-14	-1.05E-13	7.15E-11	-1.89E-08	2.34E-06	-1.05E-04	-0.0017902	1.3825
v-15	-1.73E-13	1.21E-10	-3.27E-08	4.30E-06	-0.00026156	-0.002941	2.4939
v-16	-2.91E-13	2.06E-10	-5.70E-08	7.73E-06	-5.09E-04	0.0050459	4.8226
v-17	-4.98E-13	2.83E-10	-6.02E-08	6.14E-06	-0.00028188	-0.0048683	1.7739
v-18	-1.96E-13	1.50E-10	-4.41E-08	6.23E-06	-4.61E-04	0.023267	4.4516
v-19	-3.37E-13	2.38E-10	-6.57E-08	8.74E-06	-5.23E-04	0.0052011	5.489
v-20	-8.99E-14	5.95E-11	-1.50E-08	1.72E-06	-6.15E-05	-0.0012801	0.7384
v-21	-1.89E-13	1.29E-10	-3.43E-08	4.41E-06	-2.55E-04	0.002819	2.4978

Tabelle 11.4: Koeffizienten für Prognosehorizont t+8

11.3 Allgemeiner Einfluss der Modellinputs

Wie einleitend angeführt sollen nun die Einflüsse vergangener Zeitpunkte auf das Prognoseproblem dargestellt werden. Hierfür wurde das Perturbationsdiagramm konzipiert zu dem Zweck, auf einen einfachen Blick jene Zeitpunkte isolieren zu können, die einen bedeutenden Einfluss auf das Prognoseergebnis haben. Hierfür werden alle mittleren Einflüsse eines Zeitpunktes auf den Output gemittelt. Auf diese Weise lassen sich auf der Abszisse die Zeitpunkte und auf der Ordinate die zugehörigen allgemeinen Outputänderungen in Prozent darstellen (vgl. Abbildung 11.7).

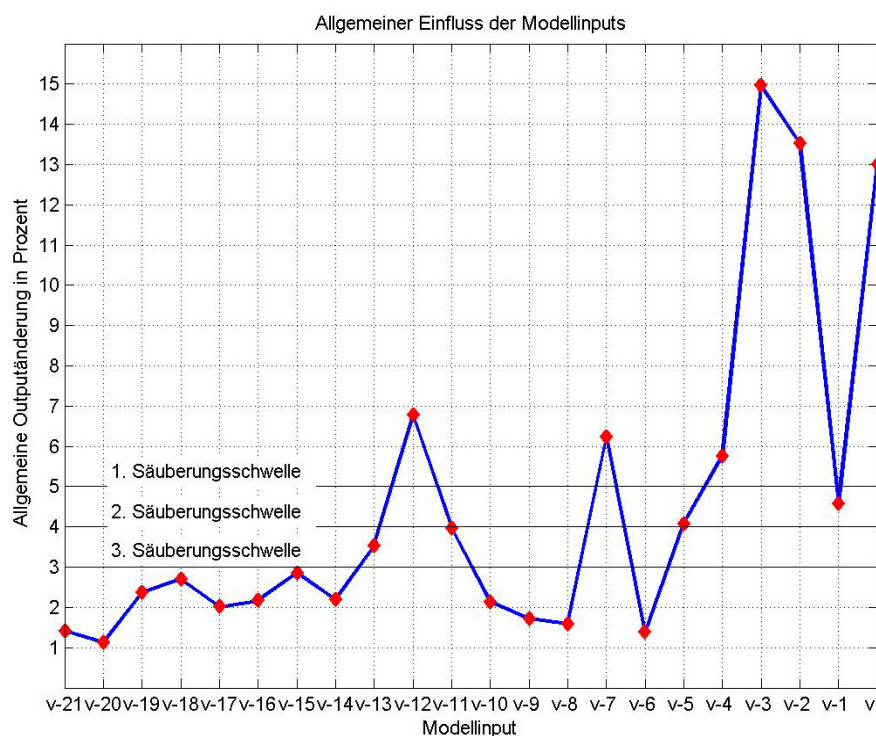


Abbildung 11.7: Kausaldiagramm eines MLP

Eine Möglichkeit zur Netzwerkoptimierung wäre eine Säuberungsschwelle einzuführen, anhand derer man jene Zeitpunkte ausblenden könnte, die nur geringen Einfluss auf das Ergebnis haben. Es können jedoch aufgrund dieser Darstellung keinerlei Rückschlüsse auf das nichtlineare Verhalten einzelner Zeitpunkte gezogen werden. Hierfür ist das Perturbationsdiagramm zur Stelle.

Feed-Forward NN wie das MLP werden zufällig initialisiert, deshalb ergeben sich Unterschiede im Lernerfolg bzw. der Systemabbildung. Für die Beweise der Vorteile

von ALEV (vgl. Kapitel 6 und 9) wurden deshalb immer 30+ NN trainiert und die Ergebnisse im Anschluss mit einem Student-t Test auf Signifikanz überprüft.

Welche Auswirkungen haben verschiedene Topologien bzw. gleiche Topologien mit unterschiedlicher Initialisierung? In Abbildung 11.8 sind neben dem ursprünglichen MLP 22/97/76/4 (blau) zwei MLPs mit gleicher Topologie 22/16/8/4 (hellgrün und dunkelgrün) im Kausaldiagramm dargestellt. Die Outputänderungen unterscheiden sich je nach Topologie in verschiedenen Zeitpunkten. Würde man eine Reduktion aufgrund von Säuberungsschwellen durchführen und manche Zeitpunkte ausblenden, ergäben sich Modelle mit verschiedenen kausalen Grundlagen. Es würde sich in jedem Fall empfehlen, die Ergebnisse mehrerer NN für die Ableitung kausaler Zusammenhänge heran zu ziehen und auf dieser Basis Aussagen zu treffen. In der realen Welt begnügt man sich für gravierende Problemstellungen schließlich auch nicht mit einer einzigen Expertenmeinung, sondern bewertet mehrere Meinungen. Beide MLPs der Architektur MLP 22/16/8/4 (hellgrün und dunkelgrün) liegen nahe beieinander.

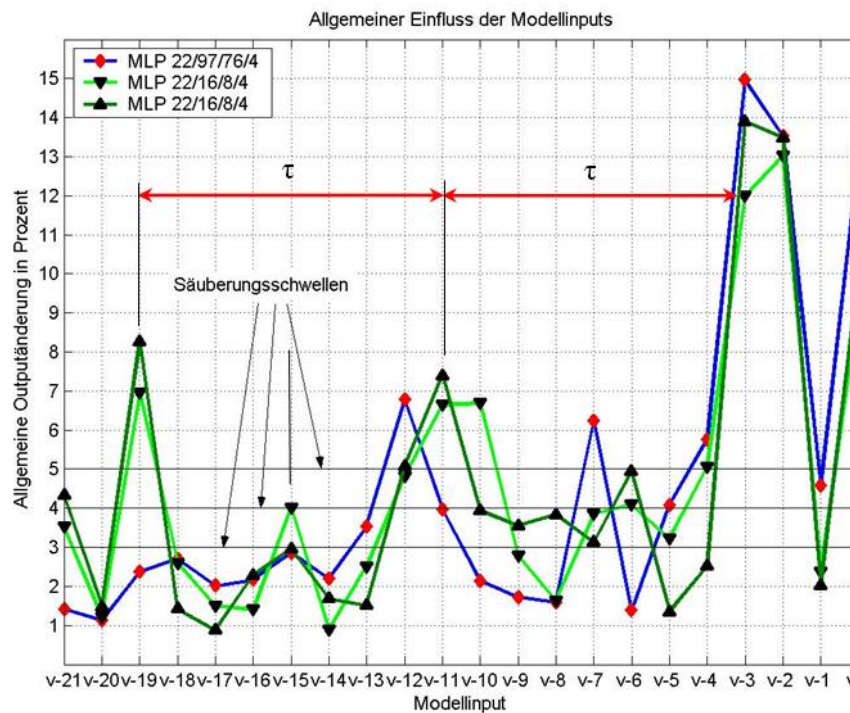


Abbildung 11.8: Kausaldiagramme verschiedener MLPs

Man erkennt drei Peaks, die sich mit abnehmender Vergangenheit aufschaukeln. Zeitlich sind sie durch 8 Intervalle getrennt. Gemäß der Zentrumsmannigfaltigkeitstheorie (ZMT), die Prof. Troger [TroSte03] vermittelt⁷⁶, können Frequenzterme höherer Ordnung im zeitlichen Verlauf aufschwingen und als kleiner, im Galerkin-Verfahren z.B. vernachlässigter, Teil nichtlinear beeinflussen.

11.4 Bestimmung von Verzögerung und Einbettungsdimension

Die 8 Intervalle (vgl. τ in Abbildung 11.8) stellen eine zeitliche Verzögerung, ein Delay τ , dar. Eine Zeitspanne, die Periodizität abbildet. Im Kapitel 4 – Chaostheoretische Konzepte – wurden die theoretischen Grundbegriffe der Einbettungsdimension d_e und dem Delay τ vorgestellt.

Anhand dieser Konzepte wurde überprüft, inwieweit ein Neuronales Netz Zeitverzögerungen implizit speichert. Aus diesem Grund wurden die Trainingsdaten einer FNN Analyse unterzogen, um dann die Ergebnisse zu vergleichen.

11.4.1 Delay

Zur Prognose von Verkehrskenngrößen wurde bisher eine normale Fensterung mit $\tau=1$ vorgenommen. Des Weiteren wurden Delays von $\tau=3$ bzw. $\tau=5$ manuell festgelegt. Zudem wurden Delays mittels der Autokorrelation und der Mutual Average Information berechnet. Abbildung 11.9 zeigt die Bestimmung von τ beim 1. lokalen Minimum der MAI.

11.4.2 Einbettungsdimension

Die Einbettungsdimension wurde mittels FNN auf Basis der verschiedenen Delays berechnet. Abbildung 11.10 zeigt dabei, ab welcher Einbettungsdimension d_e der Anteil falscher Nachbarn in verzögerten Sequenzen gleich 0 wird.

⁷⁶ Bei einer Diskussion im Sommer 2007 kamen wir auf die Karhunen-Loeve Methode zu sprechen. Es stellte sich heraus, dass diese Methode bei arsenal research unter dem Namen Support Vector Machine (SVM) angewandt wird. Im Kapitel 10 zeigte eine SVM im Vergleich zu Feed-Forward NN deutliche Defizite bei der Trainingszeit in NeuroSolutions, einem Simulationsprogramm, das auf C++ beruht.

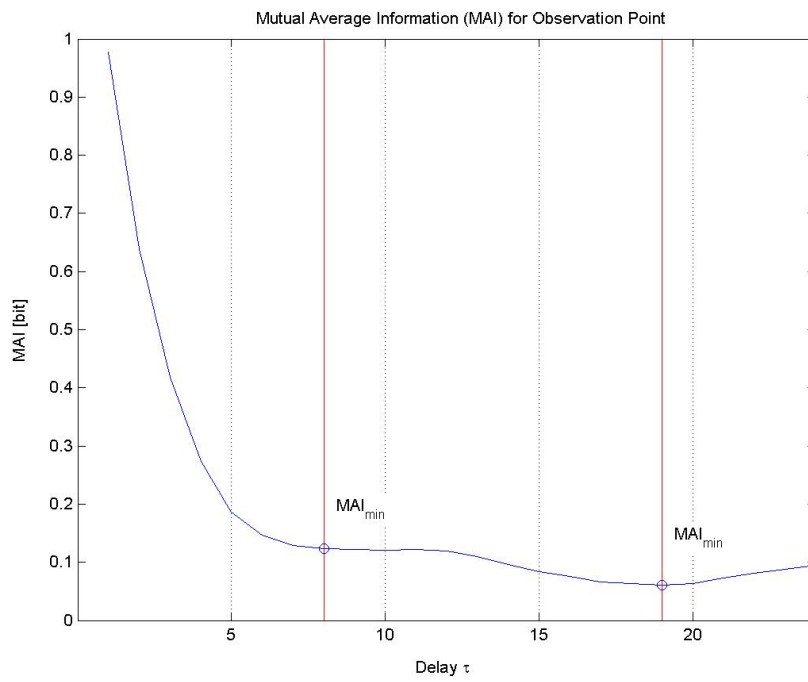


Abbildung 11.9: Ableitung von τ aus der MAI

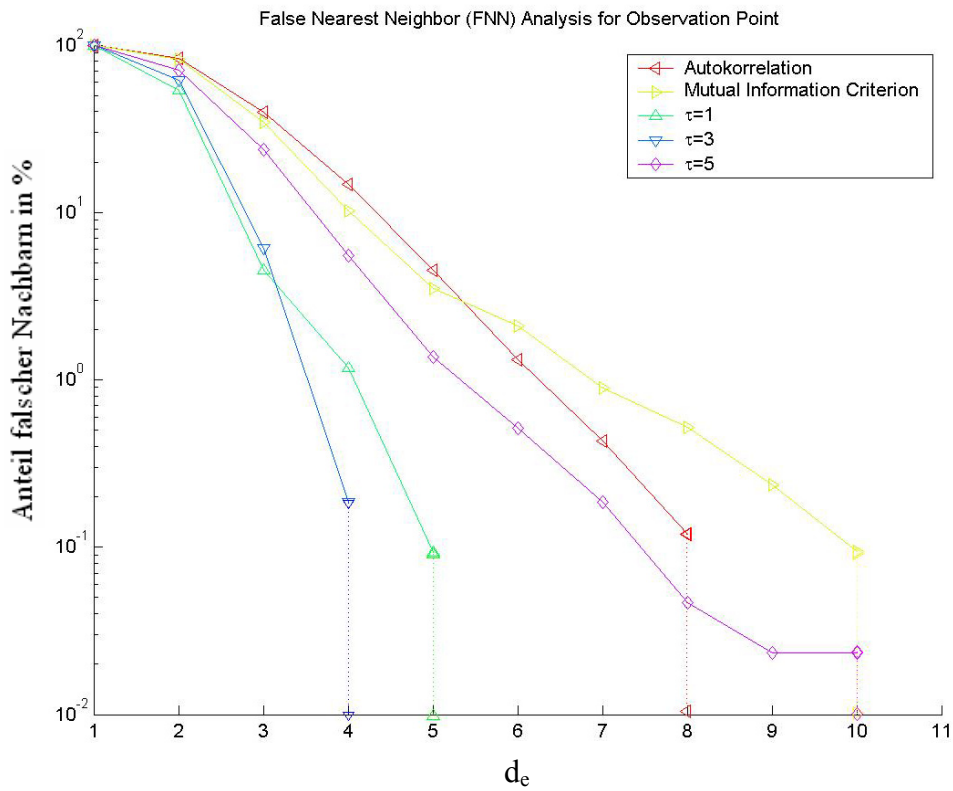


Abbildung 11.10: Einbettungsdimensionen

11.5 Vergleichssimulation

Um zu überprüfen, wie man die Prognose für $t+8$ verbessern könnte, wurden verzögerte Sequenzen aus den Trainingsdaten generiert. Die Einbettungsdimension von $d_e=10$ legte die Anzahl der Inputs fest, das Delay von $\tau=8$ (MAI) bestimmte dabei das zeitliche Sampling. Die Sequenzen setzten sich aus den Zeitpunkten

$$[(t-72), (t-64), (t-56), (t-48), (t-40), (t-36), (t-32), (t-24), (t-16), (t-8), t, (t+8)]$$

zusammen, wobei $t+8$ der Outputwert war. So ergaben sich 4.246 Trainingsmuster, die mit dem ALEV Verfahren auf 1.169 (um ca. 72%) reduziert wurden. Die Parameter der genetischen Optimierung wurden gemäß den Abbildungen 11.11 und 11.22 eingestellt.

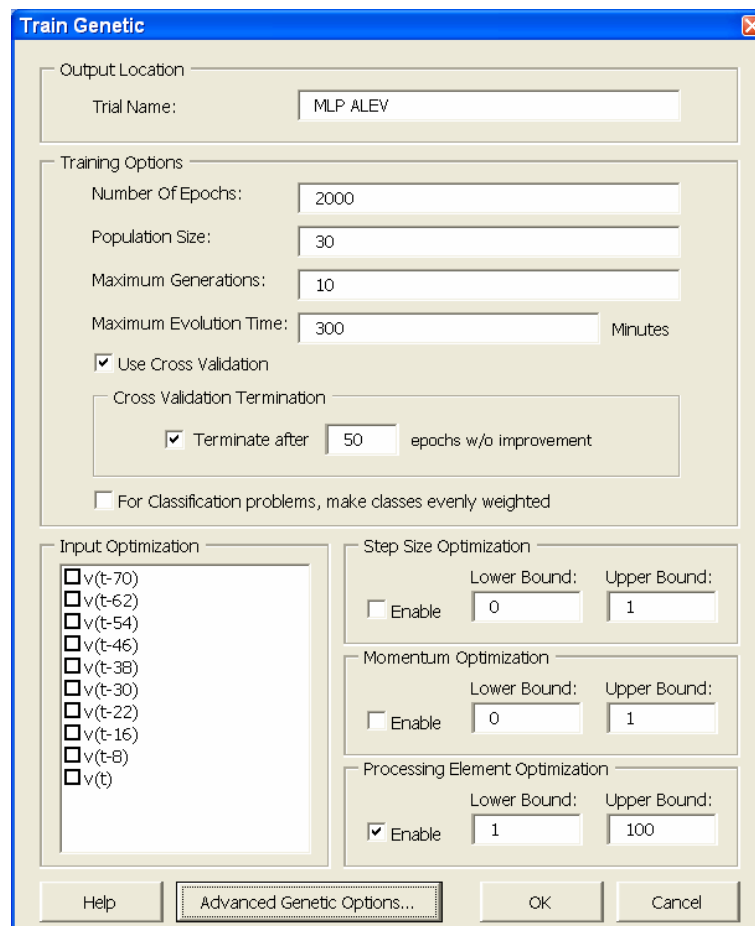


Abbildung 11.11 : Parametereinstellung der genetischen Optimierung

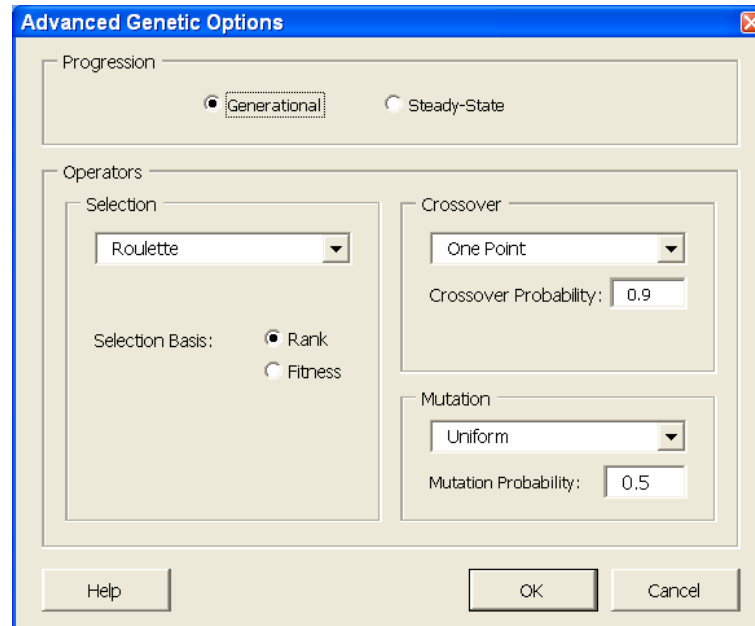


Abbildung 11.12 : Erweiterte Parametereinstellung der genetischen Optimierung

Die optimale Topologie nach 10 Generationen war mit einem MLP 10/49/32/1 gefunden. Abbildung 11.13 zeigt den Fitnessverlauf des jeweils pro Generation besten Individuums. Abbildung 11.14 zeigt die durchschnittliche Fitness aller Individuen je Generation, die bedingt durch die Mutation etwa konstant geblieben ist. Es kam zu keiner Bildung eines Superindividuums, da die beste Fitness kontinuierlich abnahm.

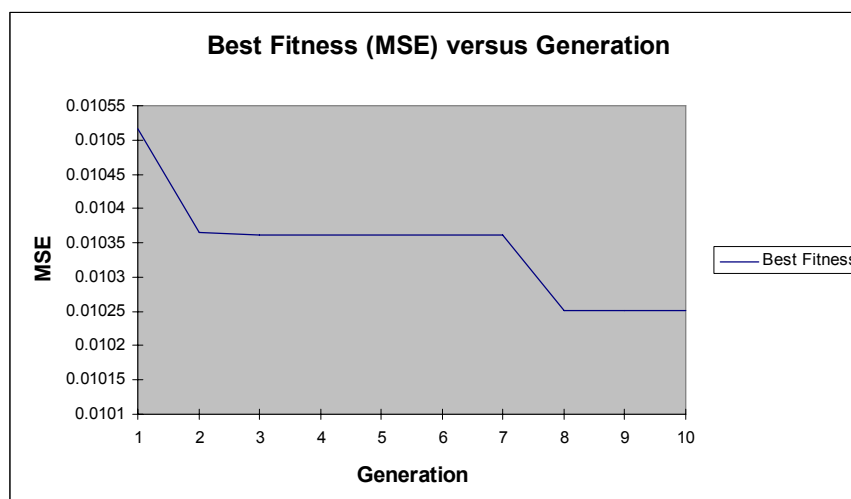


Abbildung 11.13 : Beste Fitness während der Optimierung

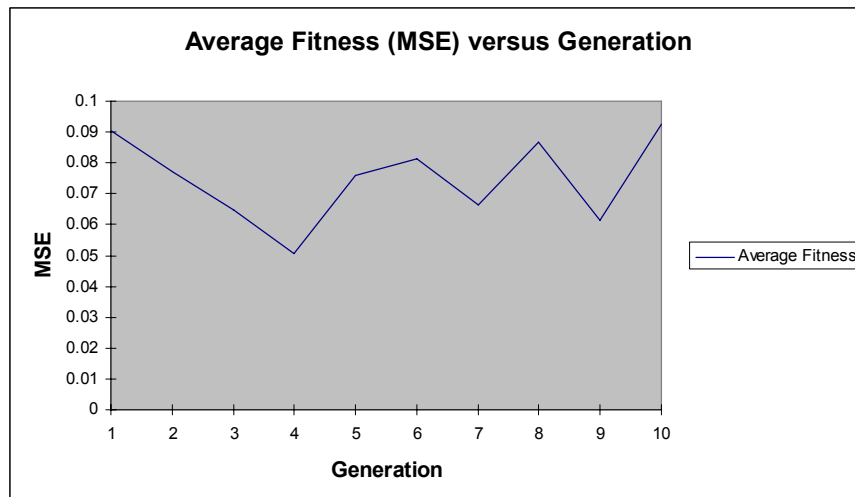


Abbildung 11.14 : Durchschnittliche Fitness während der Optimierung

Tabelle 11.5 zeigt den RMSE und den Korrelationskoeffizienten im Vergleich zum besten NN aus Kapitel 10.

	RMSE gesamt	RMSE <60 km/h	RMSE >=60 km/h	Korrelationskoeffizient gesamt
Performance MLP vs. Trivialprognose	t+8	t+8	t+8	t+8
ALEV MLP 11/27/9/4	33.46	9.31	61.32	88.71
MLP 10/49/32/1 de=10+1, tau=8 GA	37.17	15.78	59.27	-18.73

Tabelle 11.5: Verbesserungen in % für Section 0303-0304

Durch die Bildung verzögerter Sequenzen auf Basis von MAI und FNN konnten Verbesserungen für t+8 von 4% (RMSE gesamt) und 6.5 % (RMSE < 60km/h) erzielt werden. Die Verbesserungen betreffen das globale Prognosevermögen bzw. kritische Verkehrszustände. Für den freien Verkehr liefert das in Kapitel 11 beschriebene MLP ein um 2% besseres Ergebnis. Auch beim Korrelationskoeffizienten unterliegt das MLP mit Delay.

11.6 Zusammenfassung

Ein MLP bildet die nichtlinearen Zusammenhänge der Inputparameter und damit die komplexen Zusammenhänge eines Prognoseproblems ab. Es wurde offensichtlich,

dass es in einer Kette kausaler Ereignisse Elemente gibt, die weiter in der Zeit zurückliegen können und dennoch stärkeren Einfluss haben. Der jeweils letzte vorliegende Messwert einer Sequenz hat den größten Einfluss, begleitet von der stärksten Nichtlinearität. Dessen Vorgänger besitzt einen im Vergleich hierzu bemerkenswert geringen Einfluss, wohingegen in der weiteren Vergangenheit immer wieder Effekte auftreten, die ein Prognoseergebnis verstärkt beeinflussen. Je größer der Prognosehorizont, desto nervöser wird das Modell, immer mehr Zeitpunkte gewinnen an Einfluss auf das Ergebnis und die Nichtlinearitäten nehmen unübersehbar zu. Nachdem Feed Forward NN wie das MLP zufällig initialisiert werden ist der Lernerfolg immer etwas unterschiedlich. Ein exemplarischer Vergleich dreier MLPs (zwei waren von gleicher Topologie) zeigte im Kausaldiagramm, dass die allgemeinen Outputänderungen größtenteils harmonisieren, jedoch gerade für weiter in der Zeit zurückliegende Ereignisse Unterschiede vorherrschen können. Wie soll man das verstehen? Denken wir an das biologische Vorbild in seiner komplexesten Form, den Menschen. Im Kapitel 3 – Realität und Neuronales Data Mining - ist die Rede von individuellen Filtern, die für die Beschreibung eines Systems einfließen, sodass individuelle Realitäten entstehen können. Dies beschränkt sich aber keineswegs auf neuronale Zellverbände, seien sie jetzt künstlich oder biologisch. Ein jedes mathematische bzw. statistische Verfahren wird in seiner Güte durch diverse Parameter bestimmt, so wie ein Polynom höherer Ordnung, wie es zur Abbildung der dem NN immanenten Systemdynamik herangezogen wurde. Das Polynom ist nur für den definierten Wertebereich, in unserem Fall für Perturbationen von 0-200% gültig. Es ist eine menschliche Erfindung zur Beschreibung von Sachverhalten, ein mentales Konstrukt. Die Bildung von Verzögerungen und Einbettungsdimensionen lieferte keine direkt vorteilhaften Verbesserungen für schwächere Prognosen höheren Horizontes ($t+8$). Der Vorteil einer normalen Fensterung mit $\tau=1$ ist die freie Wahl mehrerer Prognosehorizonte, wie im Kapitel 11 durchgeführt wurde. Abbildung 11.10 zeigt, dass verschiedene Delays unterschiedliche Einbettungsdimensionen besitzen. Im Kausaldiagramm (Abbildung 11.8) konnte z.B. eine Komponente identifiziert werden, die mit dem MAI Delay $\tau=8$ assoziiert werden konnte. Es zeigen sich aber auch andere Zeitpunkte, die in der Vergangenheit Einfluss auf die Prognosemuster nehmen. Es treten bei diesem speziellen Prognoseproblem Kausalitäten zum Vorschein, die mit unterschiedlichen Delays und Einbettungsdimensionen abgebildet werden müssten. Dies steht jedoch vom Aufwand her in keiner Konkurrenz mit einer normalen Fensterung und einer anschließenden ALEV Reduktion (vgl. Kapitel 10).

Kapitel 12

Zusammenfassung und Ausblick

Der Konstruktivismus behauptet hingegen, dass kognitive Tätigkeit im Errichten kohärenter Netzwerke besteht, indem kompatible begriffliche Strukturen und Modelle gebildet werden. In diesem Sinn ist es stets eine Ermutigung, wenn empirische Ergebnisse zu den konstruierten Modellen passen [vGla97].

In diesem Kapitel werden die wesentlichen Eckpunkte dieser Dissertation zusammengefasst und ein Ausblick zu weiteren Entwicklungen gegeben.

12.1 Impact aus der Chaostheorie

Im Zuge dieser Dissertation wurde ein Prototyp zur Visualisierung von Zeitreihen entwickelt. Es handelt sich hierbei um den β -Converter (Basic Estimation of Timeseries by means of chaotic Aspects) für MatLab. Grundlegende Visualisierungen aus der nichtlinearen Dynamik (Punktabbildung, Polardarstellung, Phasenraumrekonstruktion und Poincaré-Schnitt) wurden herangezogen, um Verkehrsdaten darzustellen.

Im erfundenen ALEV-Verfahren (Aspects of Lyapunov, Entropy and Variance) wurden drei Indikatoren vereint, um relevante Sequenzvektoren aus großen Datenmengen im kybernetischen Sinne formerhaltend zu extrahieren.

Die Verwertungsmöglichkeit über ein entsprechendes Patent für die Integration in Prognosemodule von Verkehrsmanagement-Informationssysteme (VMIS) wurde formuliert und befindet sich derzeit in Prüfung.

Die Ableitung zusätzlicher Inputs, wie den chaotischen Indikatoren, muss meinem Verständnis nach nicht unbedingt in einer Verbesserung resultieren. Es ist durchaus

denkbar, dass man ungewollt die Effektivität der Trainingsalgorithmen eines NN herunter schraubt, wenn man die Auflösung eines Problems zu gering wählt. *Wenn ich nach impliziten Informationen suche und in weiterer Folge einige Parameter hieraus ableite, muss ich mir bewusst machen, dass diese global gesehen argumentierbar sind. Ich muss aber auch damit rechnen, dass solche Parameter sehr unscharf sind, ja sogar ein durch ein KNN gebildetes implizites Wissensmuster negativ verzerren können.* Das zu überprüfen war eine Intention dieser Arbeit.

Der β -Converter und das ALEV-Verfahren sind keineswegs auf die Analyse von Verkehrsdaten beschränkt. Vielmehr wäre es ein logischer Schritt, das ALEV-Verfahren in den β -Converter zu integrieren. Für MatLab existiert meines Wissens noch kein derartiges Tool, das man durchaus in Kooperation mit dem Software-Hersteller MathWorks (www.mathworks.com) fertig stellen und für ein breiteres Spektrum von Anwendern zugänglich machen könnte. Roger Jang, der Erfinder der ANFIS-Architektur (Adaptive Neuro-Fuzzy Interference System) ([Jan93], [TrAbJa06]), konnte auf diese Weise sein neues Verfahren einer Gemeinschaft von Wissenschaftlern zugänglich machen. Die ANFIS-Toolbox für MatLab ist das Produkt aus dieser Kooperation. Für das Forschungsunternehmen arsenal research würde das internationale Ansehen steigen und der eine oder andere junge Forscher könnte den β -Converter in verschiedenen Disziplinen anwenden und auf Brauchbarkeit testen. Im Appendix D ist ein detaillierter Business Case für die Weiterentwicklung zu einem marktfähigen Produkt zu finden.

Es besteht aber erheblicher Forschungsbedarf im Grundlagenbereich. Die fraktale Dimension ist ein weiterer Indikator für Datenreduktionsverfahren und sollte studiert werden. Generell haben sich mit den chaotischen Indikatoren potentiell noch unbekannte Ähnlichkeitsmaße für diverse Clusterverfahren ergeben.

Das ALEV-Verfahren ist außerdem online-fähig und kann somit kognitive Algorithmen immer mit aktuellen Attraktoren versorgen. Entsprechende Adaptionen des Algorithmus stehen hierfür zwar noch aus, können aber im Zuge weiterführender Forschungen realisiert werden. Eine Fördermöglichkeit für Grundlagenforschung würde sich z.B. mit dem IMPULSPROGRAMM der FFG (Forschungsförderungsgesellschaft) anbieten. Für hohe Prognosehorizonte ($t+8$) wurden am konkreten Beispiel einer Geschwindigkeitszeitreihe mithilfe der Konzepte Mutual Average Information (MAI) und False Nearest Neighbors (FNN) Verzögerungszeiten und Einbettungsdimensionen ermittelt. In einer Vergleichssimulation mit einem genetisch optimierten MLP zeigten geringe Verbesserungen beim Prognosefehler.

12.2 KI in der Kurzfristprognose

Es gibt eine Vielzahl an Modellen so genannter Künstlicher Intelligenz, eine jede Methode mit ihren Vor- und Nachteilen. Im Zuge des GoSmart Projekts bei arsenal research wurden verschiedene Methoden untersucht, darunter waren der Kalman-Filter, Neuro-Fuzzy Interferenz Systeme (ANFIS), Multi-Layer Perceptrons (MLPs), Support Vector Machines (SVM), Generalisierte Feed-Forward Netzwerke (GFFN), Modulare Neuronale Netzwerke (ModNN), Radiale Basisfunktionen Netzwerke (RBF), Selbstorganisierende Karten (SOMs), Elman-Netzwerke, Online k-means Clusterung (oKMC), Hauptkomponentenanalyse (PCA) und die KERNEL-Methode aus der statistischen Mustererkennung.

Im Besonderen sind bei diesen Verfahren unterschiedliche zeitliche Einsatzbereiche identifiziert worden. Manche Modell können nicht für Mehrschrittprognosen eingesetzt werden, mit Feed-Forward NN ist es möglich, gleichzeitig mehrere Prognosehorizonte abzubilden, was sich in der Auslegungs- und Berechnungszeit positiv auswirkt.

Es ergeben sich aber mitunter auch gravierende Unterschiede in der Rechenzeit und im Fehlervergleich. Es gibt außerdem keine gemeinsame Datenbank-Plattform, auf der all die angesprochenen Verfahren derzeit in der Verkehrstelematik lauffähig sind. Ich möchte eine individuelle Einschätzung hinsichtlich der Viabilität in einem mikroskopischen Informationssystem abgeben. Der Trend geht zweifellos in Richtung komplexerer Beschreibungen. Die Datenbestände wachsen und die zukünftige Modellbildung wird dahin gehen, dass eigener Sourcecode in Applets gegossen direkt auf ein Datenbanksystem aufsetzt. Für diesen Fall sind FF-NN derzeit am besten gerüstet. Ein Prototyp ist seit Monaten in Betrieb und es gibt Optimierungspotenzial. Dies erfordert einen massiven Ausbau von Visualisierungstechniken in der Anwendung und die Entwicklung von Monitoringstrategien, um die Schwachstellen im mikroskopischen Prognosemodul intuitiv erkennen zu können. Es ist vergleichsweise einfach, ein einziges Modell für einen Beobachtungspunkt als Mensch zu verfolgen. Bei über 950 Modellen ergeben sich hier Probleme. Es bedarf einer geeigneten Gestaltung der Mensch-Maschine Schnittstelle bei der Konzeption von komplexen Informationssystemen. Meines Erachtens nach ist die Fähigkeit zur Bildung solcher Systeme aber nur ein erster grundlegender Schritt. Die weiteren Schritte liegen in der Überwachung des Modellverhaltens, um das System auf Kurs im evolutionären Kontinuum des Flusses zu halten.

Die Erforschung der Sensitivität von MLPs war eine Herausforderung und hat letztendlich zur Bildung einer Brücke zur mathematischen Modellierung bzw. Mikrosimulation beigetragen. Mit den Visualisierungen des Perturbations- und des Kausaldiagramms wurden interne, im MLP stattfindende, Rechenprozesse abgebildet und deren Bedeutung verständlicher. Es können die Koeffizienten eines Polynoms n -ter Ordnung kalibriert werden. Kennlinien für verschiedene bisher schwer zu modellierende Prozessgrößen können abgebildet und bestehende Systeme optimiert werden.

Die genetische Optimierung von NN wurde eingesetzt, fortgeschrittene Netzwerkarchitekturen wurden hinsichtlich deren Einsatzmöglichkeiten hin getestet. Auch auf dem Sektor der NN gibt es hier mitunter Abweichungen primär in der Trainingszeit und sekundär beim RMSE bzw. dem Korrelationskoeffizienten.

Während der letzten 1,5 Jahre wurden Publikationen mit Verbindung zu meiner wissenschaftlichen Arbeit verfasst ([Top06], [ToHaAs06], [ToHaDi07], [AsDiTo07], [ScAsMrTo07]). Für das Jahr 2008 stehen weitere drei Publikationen ([Top08a], [Top08b], [Top08c]) im Reviewprozess der Konferenzen AIA 2008 (Artificial Intelligence and Applications - Innsbruck), EMCSR 2008 (European Meetings on Cybernetics and Systems Research – Wien) und IEEE CCECE 2008 (IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering - Canada).

12.3 Weiterentwicklungen

In der Forschung werden bestehende und auch neue Verfahren auf ihre Brauchbarkeit für spezifische Anwendungen getestet. In einem solchen Entwicklungsprozess entsteht eine Vielzahl an Sourcecode für diverse Analysezwecke. Prozeduren und Funktionen, die oftmals für einen kleinen Ausschnitt an Problemmöglichkeiten einsetzbar sind, da eine neutralere Programmierung zeit- und damit kostenintensiver wäre. Die Schaffung von neuen universellen Werkzeugen orientiert sich am Bedarf und der kann sowohl intern (Ablaufzeiten für Analyse und Dokumentation) als auch extern (andere Disziplinen suchen nach innovativen Ansätzen) gegeben sein.

Die Methoden, die für die Bildung eines Modells eingesetzt werden, sind mathematischer, statistischer und biologischer bzw. morphologischer Natur. Je komplexer ein System, das heißt, je mehr Elemente und Flüsse zwischen ihnen beobachtet werden, desto schwieriger wird es sie zu beschreiben. Deshalb haben sich in den letzten Jahrzehnten viele Methoden der KI in der Forschung, Entwicklung und Anwendung etabliert. Beobachtungen und Daten finden sich in nahezu jedem wichtigen Bereich der Wirtschaft, der Technik und der Kommunikation.

Sei es ein Aktienkurs, Verkaufszahlen tausender Artikel eines Supermarktes oder einer Drogerie, Treibstoffabsatz von Tankstellen, Geschwindigkeit und Verkehrsstärke von PKW oder LKW, Schwingungen von Maschinen und Werkzeugen oder Parameter in einem Schweißprozess. In vielen Bereichen einer Volkswirtschaft werden Daten aufgezeichnet. Bei der Analyse all dieser Systeme spielen intelligente Verfahren eine maßgebliche Rolle, und die Möglichkeiten zur Identifikation neuer Systeme oder zur Erweiterung bestehender Systemgrenzen steigen. Die maschinelle Rechenleistung steigt kontinuierlich und ermöglicht komplexere Modelle.

Ich selbst sehe mich durch meine bisherigen Tätigkeiten, Ausbildungen und Studien als Kybernetiker. Dementsprechend liegt meine Passion nicht in der Spezialisierung in Anwendungsnischen wie der Verkehrstelematik sondern in der allgemeinen Spezialisierung auf die Definition von Beobachtungsgrößen, deren Analyse und der Modellbildung. Im besonderen geht es um die Generalisierung und den Transfer von Wissen, das mit jeder neuen Aufgabe gebildet wird. Prof. Troger gab mir ein sehr positives Feedback zu den von mir implementierten Verfahren aus der nichtlinearen Dynamik. Gleichzeitig meinte er, dass sich diese Dissertation sehr stark am Stil eines Skriptums orientiert, was im Bereich der Mechatronik bzw. angewandten Mechanik eher unüblich ist. Für mich ist diese Art des Schreibens eine Notwendigkeit, denn nicht zuletzt wird meine Arbeit als Informationsgrundlage im Unternehmen bleiben, derer sich verschiedene Forscher mit unterschiedlichem Background bedienen sollen. Die Theorie aufzuarbeiten, neue Quellen zu erschließen und die Meinungen unterschiedlicher Autoren zu vereinen, eigener Kritik auszusetzen und weiter zu entwickeln sind die Kerngeschäfte eines Wissenschafters. Probleme von verschiedenen Seiten auszuleuchten bildet die Grundlage für neue innovative Ansätze. Die Systemtheorie ist das Fundament, gerade in interdisziplinären Teams mit unterschiedlichen Terminologien, die sich im Grunde für die Beschreibung anbieten und auch oftmals noch individuell verwendet werden. Das führt zu Problemen an den Schnittstellen zwischen den Wissenschaftlern selbst. Das hat bereits Norbert Wiener, einer der Begründer der Kybernetik, festgestellt:

„Viele Jahre hatten Dr. Rosenblueth und ich die Überzeugung geteilt, dass die für das Gedeihen der Wissenschaft fruchtbarsten Gebiete jene wären, die als Niemandsland zwischen den verschiedenen anerkannten Disziplinen vernachlässigt wurden. [...] Seit jener Zeit ist die Wissenschaft in zunehmenden Maß die Aufgabe von Spezialisten geworden; auf Gebieten, die die Tendenz zeigen, immer schmaler zu werden. Vor einen Jahrhundert hat es zwar keinen Leibnitz gegeben, aber da waren ein Gauss, ein Faraday und ein Darwin. Heute gibt es wenige Gelehrte, die sich

ohne Einschränkung Mathematiker, Physiker oder Biologen nennen können. Ein Mann kann Topologe, Akustiker oder Fachmann für Ringflügelflugzeuge sein. Er wird voll gestopft sein mit den Spezialausdrücken seines Faches und wird dessen gesamte Literatur und alle seine Verästelungen kennen, aber sehr häufig wird er das benachbarte Sachgebiet als etwas betrachten, das einen Kollegen drei Türen weiter angeht, und sein eigenen Interesse daran als eine durch nichts zu rechtfertigende Störung seines Eigenlebens empfinden. [...] Es sind diese Grenzgebiete der Wissenschaft, die dem qualifizierten Forscher die reichsten Möglichkeiten bieten. Sie sind aber gleichzeitig die widerspenstigsten gegen die eingefahrenen Techniken der Breitenarbeit und der Arbeitsteilung. [...] Wenn ein Physiologe, der mathematische Arbeitsweisen nicht kennt, mit einem Mathematiker zusammenarbeitet, der nichts von Physiologie versteht, kann der einen sein Problem nicht in Begriffe fassen, mit denen der andere arbeiten kann, und der zweite wird nicht in der Lage sein, die Antworten in eine Form zu bringen, die der erste verstehen kann. [...] Wir haben jahrelang von einem Institut mit unabhängigen Wissenschaftlern geträumt, die gemeinsam in diesem Niemandsland der Wissenschaft arbeiten; nicht als Untergeordnete irgendeines hohen Exekutivbeamten, sondern vereint durch den Wunsch – ja die geistige Notwendigkeit – das Teilgebiet als Ganzes zu verstehen und einander zu diesem Verstehen zu verhelfen [Wie68].“

Meine Qualifikation könnte als Generalist für die Optimierung, Klassifikation und Prognose in technischen, wirtschaftlichen und IT-Systemen beschrieben werden. Innerhalb der Systemgrenze finden zwischen den zugehörigen Elementen bis zu drei elementare Flüsse statt: Materie, Energie und Information. Diese Flüsse lassen sich messen und beobachten. So wie beispielsweise die Vibrationen der Erde mit seismischen Sensoren erfasst und als Daten gespeichert werden. So wie die Höhe des Meeresspiegels gemessen wird. Diese Daten dienen der Analyse und der Beschreibung des Systemverhaltens. Es werden Modelle gebildet, welche die Gesetzmäßigkeiten in den Daten abbilden. So wie ein Globus die Erde widerspiegelt und der Mensch die Möglichkeit hat, die Welt zu überblicken.

Während der letzten drei Jahre studierte ich die nichtlineare Dynamik und entwickelte ein Verfahren zur Reduktion überrepräsentierender Daten in großen Datenstämmen. Meine Diplomarbeit wurde vom bmvit im Bereich Logistik ausgezeichnet, ebenso erhielt ich für meine Arbeit [Top06] den Prix ATTC 2006. Nächste Schritte in ein breiteres Anwendungsspektrum ergeben sich durch eine Machbarkeitsstudie zum Einsatz von ALEV und NN in der Prognose von Schweißprozessindikatoren. Des weiteren wird in Kooperation mit Experten aus Wirtschaft, Politikwissenschaften, Controlling, Ecodesign und Managementdesign

an einem Konzept für eine private Studie im volkswirtschaftlichen Bereich gearbeitet. Meine Verbindung zur konstruktivistischen Denkschule als philosophisches Fundament zur Systemtheorie und Kybernetik hat sich weiter gefestigt.

Meine grafischen Fähigkeiten durfte ich während der Dissertation beim Logo-Contest der IEEE Society for Systems, Man and Cybernetics (SMC) einem Gremium zur Bewertung stellen. SMC will in Zukunft ein neues Society Logo einsetzen und mit etwas Glück könnte eine meiner Kreationen (vgl. Abbildung 12.1) eine ehrwürdige und wissenschaftlich hochrangige IEEE Society auf symbolische Weise repräsentieren.

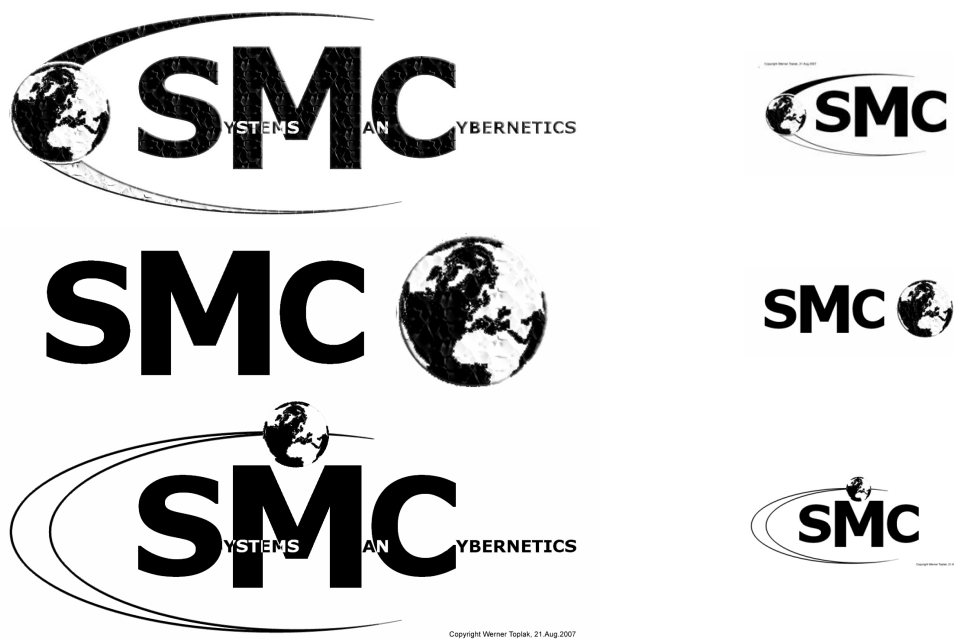


Abbildung 12.1: Variationen für ein potentielles IEEE SMC Logo (eigene Darstellung)

Zuletzt sollten folgende Aussagen getroffen werden:

- Der Mensch ist der Beobachter seiner erfassten Welt.
- Systemtheorie und Kybernetik liegen einander sehr nah und sind zueinander komplementär. Während Systeme mechanische und/oder soziale bzw. biologische Wechselwirkungen repräsentieren beschäftigt sich die Kybernetik mit der Untersuchung und Beschreibung der regelnden Gesetzmäßigkeiten dieser Wechselwirkungen.
- Die Welt bewegt sich entlang ihres Orbits. Eine nachhaltige Welt sichert die Existenz nachfolgender Generationen. Ethik und Wissenschaften führen zu so einer Welt.

Kapitel 13

Epilog: Über den Sinn und Unsinn von Prognosen

„Erfahrung ist die Ursache. Die Welt ist die Folge, Epistemologie ist die Transformationsregel [vFör93].“

Heinz von Förster

13.1 Prognose, Intuition und Prophezeiung

Eine Prognose⁷⁷ bezeichnet die *Vorhersage eines Ereignisses, eines Zustandes oder einer Entwicklung*. Laut Wikipedia bilden Fakten ihre Basis und sie werden oft mit formalisierten Methoden erhoben. Dazu zählen Messungen bzw. zeitlich gegliederte Messreihen (Zeitreihen) oder aber auch Simulationen, mit denen Daten *künstlich* erzeugt werden. Eine analytische Modellierung, z.B. über ein Differentialgleichungssystem, dient als Simulationsbasis. Mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit können Vorraussagen der Zukunft getätigt und daraus Entscheidungen abgeleitet werden. Die Datenbasis bzw. zuvor die Problemdefinition und Festlegung möglicher und sinnvoller Beobachtungsgrößen spielt hierfür immer die entscheidende Rolle. Ein Modell ist nur so gut wie die Daten, die das zugehörige System – das Vorbild - beschreiben. Zur Modellierung gilt das GIGO-Prinzip: Garbage in – Garbage Out. Argumentierbare Vorhersagen sind in allen Bereichen der Wissenschaft wichtig. Im Fall von NN benutzen Kritiker oftmals das Black-Box-Paradigma, dass es nicht möglich ist zu beschreiben, wie die Ergebnisfindung analytisch funktioniert. Es wurde in dieser Arbeit gezeigt, wie der nichtlineare

⁷⁷ <http://de.wikipedia.org/wiki/Prognose> - gelesen am 27.9.2007

Einfluss der Eingangsgrößen via Sensitivitätsanalysen extrahiert und über Polynome höherer Ordnung mathematisch abgebildet werden kann. Für viele komplexe Problemstellungen sind analytische mathematische Lösungen gar unmöglich, weil unüberschaubar.

Bei verschiedenen anderen Methoden, z.B. numerisch gelösten Differentialgleichungssystemen, ist es oftmals sehr heikel verschiedene Parameter anzugeben, da sie nicht empirisch eindeutig erfasst werden können. Einerseits durch die Unmöglichkeit einer Messung an einem gewünschten Punkt im physikalischen System, andererseits durch Effekte der Selbstreferenz, z.B. in turbulenten Strömungen, wie mir meine Kollegen Dr. DI Herman Lang und Dr. DI Markus Trenker, beide Spezialisten der Computational Fluid Dynamics (CFD), einmal erzählten.

Neben der *Prognose* gibt es aber auch die Intuition⁷⁸. *Sie überführt Einsichten in Sachverhalte, Sichtweisen und abgeleitete Gesetzmäßigkeiten.* Auf unbewusstem Weg kommen spontan emergente Eingebungen zustande, und dies ist ein Fundament der Kreativität. Mit der Intuition öffnet sich erst das Tor zu jedem analytischen Zugang. Im Kapitel 3 – Realität und Neuronales Data Mining – wurden die Eigenschaften des Beobachters, die Bildung einer individuellen Realität und die Beteiligung von Filtern bei diesem Prozess diskutiert. Die Intuition ist bei allen Menschen und folglich Wissenschaftlern unterschiedlich ausgeprägt, sie basiert auf verschiedene unter Punkt 3.1 aufgelistete Filter (vgl. Abbildung 3.2 und Abbildung 3.3).

Die Erstellung von Prognosen erfolgt in jedem Fall unter Einfluss von Intuition, da jedes Problem von einem oder mehreren Menschen *definiert* wird. Prognosen sind stets risikobehaftet, da sie auf unvollkommenen Informationen (Data Quality) aufbauen, anhand derer das zugehörige Modell ausgelegt wurde. Deshalb ist keine Prognose unfehlbar, obgleich eine Wahrscheinlichkeit für das Eintreten bestimmter Ereignisse abgeschätzt wird und Entscheidungen auf dieser Basis getroffen werden (Decision Support).

Die *Prophezeiung*⁷⁹ ist mit der Weissagung bzw. Verheißung eng verflochten. Dementsprechend hat sie einen sehr mystischen Charakter und gehört in die Ecke der Religion. Seit dem Beginn kultischer Handlungen lieferten Naturdrogen,

⁷⁸ <http://de.wikipedia.org/wiki/Intuition> - gelesen am 27.9.2007

⁷⁹ <http://de.wikipedia.org/wiki/Prophezeiung> - gelesen am 27.9.2007

asketisches Fasten und Zeichen aus der Natur Eingebungen für die Schamanen. In der Antike wurden Tiere geopfert, um die Gunst der Götter für zukünftige Vorhaben zu besitzen, durch das Lesen in Tiergedärmen wurde die Zukunft zugänglich. Viele Naturvölker nutzen heute immer noch solche Methoden. In der industrialisierten Welt kann man dafür heute live eine Kartenlegerin zahlreicher drittklassiger TV-Sender anrufen und muss nicht mehr an seiner eigenen Zukunft arbeiten, geschweige denn sie erträumen.

13.2 Prognosen in der Anwendung

In seinem Beitrag zu Zeitreihen, Information und Kommunikation beschreibt Norbert Wiener [Wie68] eine Zeitreihe (Time Series) als zufälligen, zeitlichen Prozess, der kontinuierlich oder diskret bzw. einfach oder multipel sein kann:

„Zeitreihen ändern sich verhältnismäßig langsam, sie lassen sich ausreichend durch Verfahren untersuchen, die aus Handrechnungen oder Rechnungen mit gebräuchlichen Rechenhilfen wie Rechenschiebern und einfachen Rechenmaschinen bestehen. Ihre Untersuchung gehört zu den herkömmlichen Zweigen der Statistik [Wie68].“

Diese Aussage stammt bereits aus dem Jahr 1948, in dem Wiener seine bahnbrechende Arbeit vorstellte, die dazu führte einen gesamten Wissenschaftszweig zu benennen (siehe Kapitel 1 – Motivation und Hintergründe). Seit 1948 ist freilich vieles passiert – die KI ist aus der Kybernetik entstanden und die Rechenleistung in den letzten Jahrzehnten für damalige Verhältnisse unvorstellbar gewachsen.

„Wir können die Güte der Vorhersage berechnen, indem wir irgendeine gewünschte statistische Grundlage dieser Güte – mittleres Fehlerquadrat od. maximaler Fehler oder mittlerer absoluter Fehler usw. – benutzen. Wir können den Informationsgehalt jedes statistischen Parameters oder jeder Menge von statistischen Parametern berechnen, den das Festhalten der Vergangenheit uns gibt [Wie68].“

Der Kern dieser Aussage hat sich bis heute nicht geändert. Egal mit welcher Methode, ob mit der Statistik oder mit Neuronalen Netzen, es wird immer die Vergangenheit sein, auf deren Basis Modelle gebildet werden. Ich habe in dieser Arbeit gezeigt, dass längere Beobachtungszeiträume mehr charakteristische Information enthalten als kurze. Eine intuitiv logische Konsequenz, die jedoch häufig übersehen wurde und wird.

Ich sehe folgende Gründe für ein so pragmatisches Vorgehen:

1. Für erste Versuche werden mobile Sensoren verwendet, die aus Kostengründen nur kurze Zeiträume, in der Verkehrstelematik sind das Stunden bis wenige Wochen, aufzeichnen. Auf dieser beschränkten Datenbasis werden erste Analysen durchgeführt, die im wissenschaftlichen Diskurs oftmals vehement verteidigt werden. Sie sind in ihrer Art nicht widerlegbar, die Ergebnisse sind stichfest. Nur auf einer Grundlage, die nicht so repräsentativ ist, wie sie eigentlich sein sollte. Viele Paradigmen vermitteln lineare Vereinfachungen zur Beschreibung von Beobachtungen, lehren den Trugschluss von einer linearen Welt.
2. Komplexe Systeme sind nicht unbedingt starr, sie verändern sich mit der Zeit, und das ist gut so. Sozio-technische Systeme verändern sich, so wie sich die Menschen in ihnen verändern. Selbstorganisation führt zur Emergenz neuer Zustände, die das System von Zeit zu Zeit einnimmt. Das sind Charakteristika von evolutionärem Verhalten.

13.3 Langzeitprognosen und ihre Auswirkungen

Der *Club of Rome*⁸⁰ steht in Verbindung zur Publikation der Studie *Limits To Growth* im Jahr 1972. Die Ergebnisse systemdynamischer Simulationen von sozialen, ökonomischen und technischen Entwicklungen waren ermahrend und weckten u.a. ein erstes Bewusstsein, dass die Rohstoffreserven der Erde begrenzt sind und im Fall von Erdöl vergleichsweise schnell auslaufen würden. 30 Jahre später veröffentlichten die Autoren das Buch *Limits To Growth – The 30-year Update* [MeRaMe04].

Das Simulationsmodell *World3*, mit dem 12 Szenarien für die Entwicklung der Gesellschaft bis zum Jahr 2100 gerechnet wurden, ist das einzige seiner Art. Globale Prognosen für die definierten Zielgrößen wurden berechnet. Diese sind u.a. Umweltverschmutzung, Produktion, Lebenserwartung, Ernährungsgrad und Ressourcenverbrauch.

⁸⁰ http://de.wikipedia.org/wiki/Club_of_Rome - gelesen am 26.10.2007

World3 wird aber von Kritikern bemängelt, weil es viele Größen noch gar nicht berücksichtigt, da sie mitunter auch gar nicht gemessen werden können. Zudem werden Verbrauchsdaten sehr weit extrapoliert, was zur Folge hat, dass der Schätzfehler zum tatsächlichen Verlauf für größere Zeithorizonte progressiv steigt. Auch bei langfristigen Klimaprognosen werden mitunter die Datenquellen bemängelt. Freies Gebiet für Temperaturmessstationen wurde innerhalb von wenigen Jahrzehnten zu bebautem Gebiet, das höhere Wärmespeicherfähigkeiten aufweist und somit die Messwerte systematisch hat steigen lassen.

Im Grunde sind die Ergebnisse eine - von den Simulationsparametern her - optimistische Einschätzung der Rohstoffentwicklungen und Bodenüberdüngung. Die Autoren kommen zum Schluss, dass die technologische Entwicklung in jedem Fall entscheiden wird, inwieweit die Menschheit in der Zukunft die Rohstoffe und die Umwelt nachhaltig nutzen kann.

Es hat bereits hochrangige Studien im globalen Bereich gegeben. Wirklich in der Politik in vollem Umfang anerkannt worden sind diese Studien allerdings nicht, denn sie haben keine Probleme gelöst, sondern lediglich zur Erkenntnis ihrer möglichen komplexen Auswirkungen beigetragen. Es wurden zwar Handlungsempfehlungen abgegeben, die Entscheidungswege sind aber von verschiedenen Interessenlagen geprägt, die die Politik beeinflussen. Die Vorstellung eines möglichen Kollapses wurde vor 30 Jahren größtenteils abgelehnt. Heute hat es in der öffentlichen Diskussion Einzug gehalten. Warum Al Gore den Friedensnobelpreis für sein Engagement in der Klimapolitik bekommen hat, bleibt ein Rätsel. Zum einen ist die Erde Schauplatz von Kriegen und Konflikten, die Rohstoffquellen betreffen und zum Teil mit religiösen Motiven bzw. Propaganda getrieben werden. Zum anderen gibt es eine Verkettung von fossilen Brennstoffen und Emissionen bzw. Emissionen und Klima. Es wird laut [MeRaMe04] noch etwa ein weiteres Jahrzehnt dauern, bis die Konsequenzen nicht nachhaltigen Wirtschaftens klar beobachtbar sein werden und zwei Jahrzehnte bis die Tatsache eines möglichen Kollapses allgemein anerkannt werden wird.

Es gibt noch zahlreiche Bereiche, die in derzeitigen Modellen nicht berücksichtigt wurden. Mit der World Poverty Map⁸¹ für Daten der Weltbank aus dem Jahr 1992 wurden die Staaten der Erde miteinander verglichen. 39 Indikatoren dienten dabei als charakteristische Merkmale eines jeden Landes, die als Daten für das Training einer Self-Organizing-Map (SOM) verwendet wurden. Es war den Wissenschaftlern der TU Helsinki gelungen die Länder der Erde bewertend auf einer grafischen Landkarte in ihrer abgebildeten Entwicklung gegenüberzustellen. Es war ein revolutionärer Ansatz und doch gab es meines Wissens nach keine weiteren Studien mit Daten späterer Jahre.

Die Wirtschaft wächst und der Verkehr mit ihr. Mit dem Verkehr wachsen die Verkehrswege und damit steigt auch die Anzahl der Fahrzeuge, der globale Verbrauch an Treibstoff und die Schadstoffemissionen. EU-weit gibt es ambitionierte Bestrebungen, die Infrastruktur mit Sensorik auszurüsten. Die Autobahnen decken bereits den LKW-Verkehr sensorisch ab und ein Verkehrsinformationssystem auf dieser wurde Datenbasis entwickelt. Wo liegen die zukünftigen Märkte für Verkehrssysteme?

Laut dem CIA World Factbook leben in China etwa 1,3 Mrd. Menschen, 38.29% davon in Städten. Österreich hingegen hat etwa 8.2 Mio. Einwohner, von denen bereits 67.17% in Städten leben. Im Vergleich zu Österreich (0.7%) wächst in China die Wirtschaft mit 9.1%. Anteilig sind in China die Landwirtschaft mit 14.8 %, die Industrie mit 52.9% und der Sektor der Dienstleistungen mit 32.3% am Bruttoinlandsprodukt (BIP) beteiligt. Österreich repräsentiert mit seinen 3.5% landwirtschaftlich, 25.4% industriell und bereits 70.8% auf dem Dienstleistungssektor erwirtschafteten Anteilen des BIP einen hoch entwickelten Staat der westlichen Welt. Denken wir uns China als Industriegesellschaft und Österreich als Informationsgesellschaft. Österreich hat in seiner technologischen Entwicklung einen Vorsprung von sagen wir 20-30 Jahren. Natürlich ist dieser Vergleich sehr schwierig und heikel und ich will mich nicht auf dünnes Eis begeben. Darum nehme ich einen eher rudimentären Vergleich vor, indem ich ein paar Kennzahlen der Länder gegenüber stelle, wie zuvor die BIP Anteile der einzelnen Wirtschaftssektoren. Relevant scheint mir für die Telematik Tabelle 13.1, die ich auf der Basis von CIA Factbook⁸² Daten zusammen gestellt habe.

⁸¹ <http://www.cis.hut.fi/research/som-research/worldmap.html> - gelesen am 26.10.2007

⁸² <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html> - gelesen am 10.10.2005

Die spezifischen Verbrauchswerte für Rohöl-, Wasser- und Stromverbrauch pro Kopf sprechen Bände. Mit steigender Industrialisierung und dem Wandel zur Informationsgesellschaft sind für China ähnliche Werte in Zukunft denkbar, wie sie heute in Österreich gelten. Dies gilt unter der Voraussetzung, dass Erdöl, Wasser und elektrische Energie in denselben Kapazitäten zur Verfügung stehen werden, wie heute. Von der Verkehrstelematik erhofft man sich optimierte Transporte und unbehinderten Verkehrsfluss. Dies dient der Ökobilanz und der Verkehrssicherheit.

Indikatoren	China	Österreich	China/Österreich
Einwohner (million)	1,300.0	8.2	158.54
Fläche (in km ²)	9,326,410	82,444	113.12
Urbanisierungsgrad (%)	38.29	67.17	0.57
industrielle Produktionswachstumsrate (% (2006 est.))	22.90	5.70	4.02
Verkehrssystem			
Autobahnen (in km/h)	16,307.19	1,620.00	10.07
Befestigte Straßen (in km)	314,204.00	200,000.00	1.57
Darin Autobahnen (%)	5.19	0.81	6.41
Straßendichte (in km/100km ²)	3.24	238.50	0.01
PKW (million)	19.88	4.36	4.56
PKW pro 1000 Einwohner	15.30	533.35	0.03
Kommunikation			
Handies (million (2006))	461.10	9.26	49.82
Handies pro Einwohner	0.35	1.13	0.31
Internet hosts (million (2006))	232.78	2.06	112.89
Internet users (million (2006))	137.00	4.20	32.62
Ressourcenverbrauch			
Ölverbrauch pro Kopf (bbl/day)	0.00503	0.03439	0.15
Stromverbrauch pro Kopf (kWh)	1.92	7.95	0.24
Ölverbrauch (million bbl/day (2004 est.))	6.53	0.28	23.17
Stromverbrauch (billion kWh (2005 est.))	2,494	65.2	38.25
Anteil am Bruttonationaleinkommen (%)			
Landwirtschaft	14.80	3.50	4.23
Industrie	52.90	25.40	2.08
Dienstleistung	32.30	70.80	0.46

Tabelle 13.1: einige Kennzahlen im Vergleich: China und Österreich (Quelle: CIA Factbook)

Wenn man annimmt, dass der Rohöl- und Stromverbrauch in China in den nächsten 10 Jahren auf das Niveau eines Österreichers steigt (ÖL: +566%, Strom: +316%), ist Handlungsbedarf angesagt. So wird auch offensichtlich wohin eine kurzfristige Versorgungspolitik geht. Gerade wenn man bedenkt, dass China derzeit lediglich 55% des Ölverbrauches aus eigener Förderung deckt. Würde sich so ein Szenario ergeben wäre China bei gleich bleibendem Fördervolumen nur mehr in der Lage 8% des Ölverbrauches selbst zu decken. Jeder zweite besitzt in Österreich einen PKW, in China nur jeder sechsundsechzigste. Für telematische Lösungen ist eine Abdeckung mit relevanter Informationstechnologie unablässig. China besitzt über neunmal so viele Autobahnkilometer wie Österreich. Eine streckendeckende Aufrüstung mit neuester Sensortechnik wäre zeit- und kostenintensiv. Dazu muss man sich fragen, wie qualifiziert die Instandhaltung überhaupt möglich wäre. Auf

dem Sektor der mobilen Endgeräte, wie Handy bzw. Router, könnte verstärktes Potential zu vermuten sein. In Österreich hat zwar bereits jeder ein Handy, für eine entsprechende Abdeckung mit GPS fähigen Geräten neuerer Generationen werden aber noch Jahre vergehen. In China besitzt im Schnitt erst jeder Dritte ein Handy.

Der Biologe Helge Torgersen vom Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW) ging anlässlich der Salzburger Pfingstgespräche 2000 näher auf die Fragestellung *Wozu Prognosen?* ein [Tor00]. Gerade im Bereich Technologie beträgt z.B. die Frist, in der die Kernfusion kommerziell genutzt werden kann, seit 50 Jahren konstant 30 Jahre. Andere Vorhaben, wie die Entschlüsselung des menschlichen Genoms, gingen schneller vonstatten als geglaubt. Generell ergeben sich hier Schwierigkeiten, da menschliches Handeln im Zentrum für die Verfolgung oder Vermeidung von prognostizierten Zukünften steht. Laut Torgersen kann man natürlich nicht vorhersehen, welche Normen in Zukunft gelten und welche Rahmenbedingungen gelten werden. So gab es in den 1960ern euphorische Prognosen über die Technikentwicklung, wie z.B. jene über NN (siehe Kapitel 8). In den 1970ern wandelte sich dieses Bild zu apokalyptischen Vorrausschauen. Beide waren Kinder ihrer Zeit und heute baut man auf detailliertere Informationen auf. Allerdings ist es auch paradox, dass mit steigendem Wissen über einen Sachverhalt steigt. Steigendes Wissen bedeutet aber auch zunehmende Komplexität der Zusammenhänge, wodurch die Prognosefähigkeit sinkt.

Prognosen stellen laut Gotthard Bechmann (Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Karlsruhe) *gegenwärtige Zukünfte, aber nicht zukünftige Gegenwarten dar*. So gewinnt Maturanas Aussage in diesem Kontext an Bedeutung: *„Ein lebendes System ist aufgrund seiner zirkulären Organisation ein induktives System und funktioniert vorhersagend: was einmal geschehen wird sich wieder ereignen. Seine Organisation (die genetische wie die sonstige) ist konservativ und wiederholt nur das, was funktioniert [Matu70].“*

Der Sinn von Prognosen ist das Aufzeigen von zukünftigen Entwicklungen auf Basis des gegenwärtigen Kenntnisstandes. Das bedeutet, dass es möglich ist, verschiedene Szenarien aufgrund der Variation von Parametern zu berechnen. Man kann so weit gehen und für Systeme sagen, unter welchen Vorraussetzungen dieser und jener Zustand eintreten kann.

Der Unsinn von Prognosen liegt darin, alles determinieren zu wollen, da es schlicht unmöglich ist. Es gibt kein lineares Bild hochkomplexer Zusammenhänge.

Demzufolge ist es für relativ einfache mathematische Benchmarkbeispiele wie der Mackey-Glass Zeitreihe sehr genaue Prognosen für Horizonte $t+6$ zu geben (vgl. [Top08b], [Jan93]). Aber auch hier ist die 0 Fehler Prognose nicht realisierbar. Noch weniger trifft dies für technisch-kybernetische Systeme wie den Verkehr zu. Die Prognosefehler werden in einigen Jahren mit genaueren Datenbasen wie XFCD in einem selbstorganisatorisch konzipierten Regelungsmodell weiter sinken.

Es wird aber auch das Ziel einer solchen Regelung sein, dass Einflussparameter so verändert werden, dass ein sehr wahrscheinlicher Umschlag im Systemverhalten vermieden werden soll, dass ein prognostizierter Stau nicht eintritt. In Zukunft werden die Datenmengen weiter steigen, da auch Wetterphänomene und andere Events in die Modellbildung mit Einfließen. Gerade in dieser Hinsicht kann vermutet werden, dass NN eine wichtige Rolle spielen werden.

Nach [Tor00] ist die Funktion der meisten Prognosen ein Hilfsmittel zur reflexiven Gestaltung von Zukunft zu sein. Dafür müssen sich aber die Entscheidungsträger und Interessenspartner Gedanken über die Wünschbarkeit verschiedener Zukünfte machen. Die Zukunft als unabänderliches Wirken von Trends aufzufassen, nach dem Motto *Alles ist vorherbestimmt*, ist eine gefährliche Naivität.

Dies ist ein Glaube an die Unfehlbarkeit mit einem sehr starken Drang zur Prophetie. Ein jeder hat seinen Einfluss innerhalb seines Handlungsspielraumes. Und dies ist eine starke konstruktivistische Notwendigkeit, um in dieses System Erde nachhaltig gestalten und erfassen zu können.

„Ich habe immer wieder betont, dass die Aneignung der konstruktivistischen Position erfordert, dass man fast alles umbaut, was man zuvor gedacht hat. Das ist mühsam und schwierig. Wir sind uns ja gewöhnlich der vielen Denkmuster gar nicht bewusst, die zu lieben Gewohnheiten geworden sind. Und da ist ein weiteres Hindernis: Die Sprache, in der unsere Gedanken formuliert werden müssen, ob Englisch, Deutsch oder irgend eine andere, ist vom selben naiven Realismus geprägt, der das Alltagsleben durchdringt, und auch von den Propheten, die überzeugt waren, den Zugang zur absoluten Realität zu besitzen [vGla97].“

In diesem Sinne schließt nun diese Dissertation. Ein Beitrag zur Prognose mit Neuronalen Netzen unter chaostheoretischen Aspekten.

Werner Toplak, Wien im November 2007

LITERATURVERZEICHNIS

- [AbPoRe99] B. Abdulhai, H. Porwal, W. Recker: Short-Term Freeway Traffic Flow Prediction Using Genetically Optimized Time-Delay-Based Neural Networks, Transportation Research Board Annual Meeting in Washington D.C., USA, 1999.
- [Arb94] H.D.I. Arbarbanel: Analysing and utilizing time-series observations from chaotic systems, in Nonlinearity and Chaos in Engineering Dynamics, edited by J.M.T. Thomson and S.R. Bishop, John Wiley & Sons Ltd., 1994.
- [Ada05] K. P. Adams, An Approach To Real Time Adaptive Decision Making In Dynamic Distributed Systems, Doctor Thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University - Computer Science and Applications, 2005.
- [AgCrThDo07] Aguiar, P.R., C.E.D. Cruz, R. Thomazella F.R.I. Dotto: Neural Network Approach for Surface Roughness Prediction in Surface Grinding, Proceedings of the 25th IASTED International Multi-Conference Artificial Intelligence and Applications, ISBN Hardcopy: 987-0-88986-629-4 / CD: 978-0-88986-631-7, February 12-14, Innsbruck, Austria, 2007.
- [AlArKr07] N. Al-Bulushi, M. Araujo, M. Kraaijveld: Predicting Water Saturation using Artificial Neural Networks, Proceedings of the 25th IASTED International Multi-Conference Artificial Intelligence and Applications, ISBN Hardcopy: 987-0-88986-629-4 / CD: 978-0-88986-631-7, February 12-14, Innsbruck, Austria, 2007.
- [Arn05] D. Arnold, Seminar „Lernen ohne Lehrer“, Professor Hammer, Präsentation, TU-Clausthal, Deutschland, Sommersemester 2005.
- [AsDiTo07] J. Asamer, K. Din, W. Toplak: Self Organizing Maps for Traffic Prediction, Proceedings of the 25th IASTED International Multi-Conference Artificial Intelligence and Applications, ISBN Hardcopy: 987-0-88986-629-4 / CD: 978-0-88986-631-7, February 12-14, Innsbruck, Austria, 2007.
- [Bate85] G. Bateson, Ökologie des Geistes – Antropologische, psychologische, biologische und epistemologische Perspektiven, übersetzt von H.G. Holl, Suhrkamp Taschenbuch Verlag, Deutschland, 1985.
- [Bate87] G. Bateson, Geist und Natur – Eine notwendige Einheit, Erste Auflage, Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft 691, Suhrkamp Taschenbuch Verlag, Frankfurt am Main, Deutschland, 1987.
- [BeKaPoPr01] B. P. Bezruchko, A. S. Karavaev, V. I. Ponomarenko, M. D. Prokhorov: Reconstruction of time-delay systems from chaotic time series, Physical Review E, Volume 64, 056216, The American Physical Society, USA, 2001.

- [Ber72] L.v. Bertalanffy: General Systems Theory, Foundations, Developments, Applications, George Braziller, New York, 1968.
- [Bez96] Ch. Bezzel: Wittgenstein zur Einführung, 3. überarbeitete Auflage, Junius Verlag, Hamburg, Deutschland, 1996.
- [Big96] J.P. Bigus: Data Mining with Neural Networks - solving business problems from application development to decision support, McGraw-Hill, New York, 1996.
- [Bod77] M. Boden: Artificial Intelligence and Natural Man, Basic Books, New York, USA, 1977.
- [BoBeKa03] K. Bogenberger, H. Belzner, R. Kates: Ein hybrides Modell basierend auf einem Neuronalen Netz und einem ARIMA-Zeitreihenmodell zur Prognose lokaler Verkehrskenngrößen. Straßenverkehrstechnik, 01/2003, p.p. 5-12, Kirschbaum Verlag, Deutschland, Jänner 2003.
- [Bre95] A. Breiter, Die Forschung über künstliche Intelligenz und ihre sanduhrförmige Entwicklungsdynamik – Die Dynamik einer Wissenschaft im Spiegel ihrer Wahrnehmung in der Öffentlichkeit, In: Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie, 47, 2, pp. 295-318, Deutschland, 1995.
- [Bron78] J. Bronowski, The Origin and Knowledge and Imagination, New Haven, London, England, 1978.
- [ChAcAr66] E.W. Churchman, R.L. Ackoff, L. Arnoff: Operations Research, 3. Auflage, Oldenbourg, Wien, München, 1966.
- [ChePou06] P.B. Checkland, J. Poulter: Learning for Action - A Short Definitive Account of Soft Systems Methodology and its Use, for Practitioners, Teachers and Students, ISBN: 0-470-02554-9, John Wiley and Sons Ltd, Chichester, 2006.
- [Che99a] P.B. Checkland: Soft Systems Methodology in Action, ISBN: 0-471-98605-4, John Wiley and Sons Ltd, Chichester, 1999.
- [Che99b] P.B. Checkland: Systems Thinking, Systems Practice: includes a 30-year retrospective, ISBN: 0-471-98606-2, John Wiley and Sons Ltd, Chichester, 1999.
- [Che98] P.B. Checkland, S.E. Holwell: Information, Systems and Information Systems, ISBN: 0-471-95820-4, John Wiley and Sons Ltd, Chichester, 1998.
- [Col85] H. M. Collins, Changing Order - Replication and induction in scientific practice, Sage Publications, London, England, 1985.
- [Col98] H. M. Collins, The Meaning of Data – Open and Closed Evidential Cultures in the Search for Gravitational Waves, in: American Journal of Sociology, 104, p. 293-338, USA, 1998.
- [Col99] H. M. Collins, Tantalus and the Aliens - Audiences and the Search for Gravitational Waves, In Social Studies of Science, 29/2, pp. 163-197, 1999.

- [Col00] H. M. Collins, Four Kinds of Knowledge – Two (or maybe Three) Kinds of Embodiment and the Question of Artificial Intelligence, in: Malpas, Jeff and Wrathall, Mark (Hrsg.), Heidegger, Coping and Cognitive Science: Essays in Honor of Hubert L. Dreyfus, Vol. 2, Cambridge, Mass: MIT Press, p. 179-195, USA, 2000.
- [DdSG98] G. Dick de Sousa Guimarães, Eine Methode zur Entdeckung von komplexen Mustern in Zeitreihen mit Neuronalen Netzen und deren Überführung in eine symbolische Wissensrepräsentation, Dissertation, Philips-Universität Marburg/Lahn, Deutschland, 1998.
- [Dem03] M. Dempster, Stochastic programming, Academic Press, New York, 1980.
- [DavLip07] K. Davoian, W.M. Lippe: Investigating Generalization in Parallel Evolutionary Artificial Neural Networks, Proceedings of the 25th IASTED International Multi-Conference Artificial Intelligence and Applications, ISBN Hardcopy: 987-0-88986-629-4 / CD: 978-0-88986-631-7, February 12-14, Innsbruck, Austria, 2007.
- [DaVi1485] L. Da Vinci: "Proportionsschema der menschlichen Gestalt nach Vitruv", Wikiedia.de, Venedig, Galleria dell' Accademia, 1485/90.
- [DreDre96] H. L. Dreyfus, St. E. Dreyfus, Einen Geist bauen, gegen ein Gehirn modellieren, In: St. E. Graubart (Hrsg.), Probleme der künstlichen Intelligenz, Wien, New York, Springer Verlag, 1996.
- [DuHaSt01] R. Duda, P. Hart, D. Stork: Pattern Classification, second Edition, John Wiley & Sons Inc., 2001.
- [Edw96] P. N. Edwards, The closed world – computers and the politics of discourse in cold war in America, Cambridge, Mass., MIT-Press, USA, 1996.
- [Fah88] Scott E. Fahlmann. An Empirical Study of Learning Speed in Back Propagation Networks. Technical Report CMU-CS-88-162, Computer Science Department, Carnegie-Mellon University, Pittsburg, PA, USA, September 1988.
- [For72] J. Forrester: Principles of System, deutsch: Grundzüge der Systemtheorie, Betriebswirtschaftlicher Verlag Gabler, 1972.
- [FreSch96] H.G. Frey, J. Schach, Modern geknotet. Neuro Netze: Strukturen, Typen, Anwendungen, In: ct, 26, pp. 256-264, Heise Verlag, Deutschland, 1996.
- [FuRil00] L. Fu, L. R. Rilett: Estimation of Time-Dependent, Stochastic Route Travel Times using Artificial Neural Networks, Transportation Planning Technology, 24(1), pp. 25-36, 2000.
- [Gro76] E. Grochla: Organisationstheorie, Poeschl, Stuttgart, 1976.
- [Gün95] O. Günther: Bestimmung von Lyapunov-Exponenten aus Zeitreihen gemessener elektrischer Leitfähigkeit, Diplomarbeit, Physikalisches Institut der Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt am Main, Deutschland, 1995.

- [Gui98] J. Guice, Controversy and the State: Lord ARPA and Intelligent Computing, In: Social Studies of Science, 28/1, pp. 103-138, Sage Publications, London, England, 1998.
- [Gui99] J. Guice, Designing the future – The culture of new trends in science and technology, Research Policy Journal, Volume 28, Issue 1, pp. 81-98, published by Elsevir, USA, 1999.
- [Hai06] N. Hainitz: Prognose von Reisezeiten, Diplomarbeit, Fachhochschule Technikum Wien, 2006.
- [HakHak94] H. Haken, M. Haken-Krell: Erfolgsgeheimnisse der Wahrnehmung - Synergetik als Schlüssel zum Gehirn, ungekürzte Ausgabe, Ullstein Verlag, Frankfurt/M.; Berlin, Deutschland, 1994.
- [Hau85] J. Haugeland: Artificial Intelligence, the very idea, MIT-Press, Cambridge, Mass., USA, 1985.
- [Hein99] H.W. Hein: Big Brother is scanning you, Spektrum der Wissenschaft März 1999 p. 106, Spektrum der Wissenschaft Verlag, Heidelberg, Deutschland, 1999.
- [HofSchi07] C. Hoffmann, K. Schindler: Neuronale Netze in der Optionspreistheorie und Risikobewertung, Seminarunterlagen, Version 2.0, Lehrstab Mathematik des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften, Universität des Saarlands, Deutschland, 2003-2007.
- [IshAle03] S. Ishak, C. Alecsandru: Optimizing Traffic Prediction Performance of Neural Networks under Various Topological, Input, and Traffic Condition Settings, Paper submitted for presentation at the Transportation Research Board, 82nd Annual Meeting, Washington D.C., 2003.
- [IshAl-De02] S. Ishak, H. Al-Deek: Performance Evaluation of a Short-Term Time-Series Traffic Prediction Model, accepted for publication in the ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol. 128, No. 6, 2002.
- [JaKeBe04] S. Jakubek, N. Keuth, C. Benatzky, Intelligente Regelverfahren, Vorlesungsskriptum, Institut für Maschinen- und Prozessautomatisierung, TU-Wien, Österreich 2004.
- [Jan93] Jyh-Shing Roger Jang, ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, vol. 23, no. 3, pp. 665-685, May 1993.
- [Jor86] Jordan, M. I., Attactor dynamics and parallelism in a connectionist sequential machine, Proceedings of the Eighth Annual Conference of the Cognitive Science Society, pp. 531-546, Erlbaum, Hillsdale NJ, 1986
- [Kat01] W. Katzenberger, Neue Ansätze der Systemtheorie, Vorlesungsskriptum, Abteilung für Systemtechnik und Methodologie, TU-Wien, Österreich, 2001.
- [Kei98] D. Keim, A. Herrmann: The gridfit approach: An efficient and effective approach to visualizing large amounts of spatial data, Proceedings Visualization 98, Research Triangle Park, NC. IEEE, p. 181, 1998.

- [Kei00] D.A. Keim: Designing pixel-oriented visualization techniques: Theory and applications, Transactions on Visualization and Computer Graphics, Bd. 6, Nr. 1, p. 59, Jan.–März 2000.
- [Kei02a] D. A. Keim: Data Mining mit bloßem Auge, Spektrum der Wissenschaft November 2002, Spektrum der Wissenschaft Verlag, Heidelberg, p. 88, 2002.
- [Kei02b] D. A. Keim: Information Visualization and Visual Data Mining, IEEE Transactions on Visualization and Visual Data Mining, Vol. 7, No. 1, January-March, 2002.
- [KeKr96] D. A. Keim, H. P. Kriegel: Visualization Techniques for Mining Large Databases: A Comparison, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 8(6): 923-938, 1996.
- [Kla68] G. Klaus: Wörterbuch der Kybernetik, 2. Auflage, Dietz Verlag, 1968.
- [Koh82] T. Kohonen, Self-organized formation of topologically correct feature maps, Biological Cybernetics 43:59-69, 1982.
- [Koh84] T. Kohonen, Self-Organization and Associative Memory, Springer Series in Information Sciences, Springer-Verlag, 1984.
- [Koh89] T. Kohonen, The Self-Organizing Map, Proceedings of the IEEE, Vol. 78, No. 9, pp. 1464-1480, 1990.
- [Koh90] T. Kohonen, Things you haven't heard about the Self-Organizing Map, ICNN-93, 1993 IEEE International Conference on Neural Networks, San Francisco, CA, Vol. III, pp. 1147-1156, 1993
- [Koh97] T. Kohonen, Self-Organizing Maps, Second Edition, Springer Series in Information Science, Springer Verlag, Berlin, 1997.
- [Kop03] P. Kopacek, Technische Anwendung von Künstlicher Intelligenz (KI) und Expertensystemen (XPS), Vorlesungsskriptum, Institut für Handhabungsgeräte und Robotertechnik, TU-Wien, Österreich, 2003.
- [Kor72] D.S. Koreimann: Systemanalyse, Walter de Gruyter, New York, 1972.
- [KwCoBi00] J. Kwon, B. Coifman, P. Bickel: Day-to-Day Travel Time Trends and Travel Time Prediction from Loop Detector Data, Transportation Research Board Annual Meeting in Washington D.C., USA, 2000.
- [LaLi03] L. W. Lan, F.-Y. Lin: Diagnosis of freeway traffic incidents with chaos theory, Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, pp. 2025-2038, October 2003.
- [LiLa05] F.-Y. Lin, L. W. Lan: Traffic flow analysis with different time scales, Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, pp. 1624-1636, 2005.
- [LaSLef67] J. P. La Salle, S. Lefschetz: Die Stabilitätstheorie von Ljapunow - die direkte Methode mit Anwendungen, Bibliogr. Inst. Mannheim, Link Verlag, 1976.
- [Lawt05] B. Lawton, Authentic Leadership, Seminarunterlagen, TU-Wien, 2005.

- [Lei96] T. Leiber: Kosmos, Kausalität und Chaos - naturphilosophische, erkenntnistheoretische und wissenschaftstheoretische Perspektiven, Ergn-Verlag, Würzburg, Deutschland, 1996.
- [LiHoZu02] V. Lindt, S. P. Hoogendoorn, H. J. Zuylen: Freeway Travel Time Prediction with State-Space Neural Networks, Transportation Research Board 81st Annual Meeting, 2002.
- [LoBe93] O. Loistl, I. Betz: Chaostheorie - zur Theorie nichtlinearer dynamischer Systeme, LinkOldenbourg Verlag, München, Wien, 1993.
- [Luc04] C. Lucas: Self Organizing Systems (SOS) FAQ, Version 2.95, USENET Newsgroups, <http://www.calresco.force9.co.uk/sos/sosfaq.htm>, 2004.
- [Mand99] B. Mandelbrot: Börsenturbulenzen - neu erklärt, Spektrum der Wissenschaft Mai 1999, Spektrum der Wissenschaft Verlag, Heidelberg, 1999, p. 74
- [Mat70] H. Maturana, Biology of Cognition, Report No. 9.0, Urbana, Illinois, USA, 1970.
- [MaVa90] H. Maturana, F. Varela: Der Baum der Erkenntnis, Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens, Goldmann Verlag, Deutschland, 1990.
- [McCor87] P. McCorduck, Künstliche Intelligenz – ein Apercu, In: St. Graubart (Hrsg.), Probleme der künstlichen Intelligenz, Springer Verlag, Wien, New York, pp. 65-84, 1987.
- [McS06] P. E. McSharry: Nonlinear Dynamics and Chaos, Lecture Notes, University of Oxford, Great Britain, 2006.
- [MeaRanMea04] D. Meadows, J. Randers, D. Meadows, Limits to growth: The 30-year update, Chelsea Green Publishing Company, White River Junction, USA, 2004.
- [Mei03] J. D. Meiss: Frequently Asked Questions about Nonlinear Science, Version 2.0, <http://amath.colorado.edu/faculty/jdm/faq.html>, Colorado, USA, 2003.
- [Mey04] U. Meyer, Die Kontroverse um Neuronale Netze – Zur sozialen Aushandlung der wissenschaftlichen Relevanz eines Forschungsansatzes, 1. Auflage, Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, Deutschland, 2004.
- [MinPap69] M.L. Minsky, S. Papert: Perceptrons, an Introduction to computational geometry, MIT-Press, Cambridge, Mass., USA, 1969
- [NawChe07] V. Nawale, T. Chen: Steady State Noise Modeling in Computer Chips using Neural Networks, Proceedings of the 25th IASTED International Multi-Conference Artificial Intelligence and Applications, ISBN Hardcopy: 987-0-88986-629-4 / CD: 978-0-88986-631-7, February 12-14, Innsbruck, Austria, 2007.
- [NeChDeCl07] C. Neocleous, C. Christodoulou, D. Demostenous, A. Cleanthous: Neural Networks for the Identification of Gas Cylinder

- Faults, Proceedings of the 25th IASTED International Multi-Conference Artificial Intelligence and Applications, ISBN Hardcopy: 987-0-88986-629-4 / CD: 978-0-88986-631-7, February 12-14, Innsbruck, Austria, 2007.
- [NeIl191] M. McCord Nelson, W.T. Illingworth: A Practical Guide to Neural Nets, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, USA, Sixth Printing, January 1994.
- [Ola93] M. Olazaran, A Sociological History of the neural network Controversy. In: Advances in computers, 37, p. 335-425, Academic Press, New York, USA, 1993.
- [Ola96] M. Olazaran, A Sociological History of the neural network Controversy. In: Social Studies of Science, 26, p. 611-659, Sage Publications, London, England, 1996.
- [OtJo97] M. Otani, A. J. Jones: Guiding Chaotic Orbits, Research Report, Dept. Computer Science, Univ. of Wales, PO Box 916, Cardiff CF2 3XF, 1997.
- [ParRi198] D. Park, L. Rilett: Forecasting Multiple-Period Freeway Link Travel Times Using Modular Neural Networks, Transportation Research Record, No. 1617, pp. 163-170, 1998.
- [PaRiHa99] D. Park, L. R. Rilett, G. Han: Spectral Basis Neural Networks for Real-Time Travel Time Forecasting, ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol. 125, No. 6, pp. 515-523, 1999.
- [Pat76] G. Patzak: Grundlagen, Methoden und Techniken systemorientierter Planung, eine Methodologie der Systemtechnik, Habilitationsschrift, TU-Wien, 1976.
- [Pat82] G. Patzak, Systemtechnik – Planung komplexer innovativer Systeme: Grundlagen, Methoden, Techniken, Springer Verlag Berlin Heidelberg New York, 1982.
- [Pia69] J. Piaget: The Mechanisms of Perception, Rutledge & Kegan Paul, London, 1969.
- [PIBr95] P. Plaschko, K. Brod: Nichtlineare Dynamik, Bifurkation und chaotische Systeme, Vieweg Verlag, Braunschweig [u.a.], Deutschland, 1995.
- [Popp94] K. R. Popper: Alles Leben ist Problemlösen, über Erkenntnis, Geschichte und Politik, Piper Verlag, Deutschland, 1994.
- [Pri95] I. Prigogine: Die Gesetze des Chaos, aus dem Franz. von Friedrich Griese, Campus Verlag, Frankfurt am Main, Deutschland, 1995.
- [RauSchm01] W. Rauh, E. Schmidberger: Die Messlatte liegt bei Null, Aus Spektrum der Wissenschaft, Beitragstyp Technoskop, Seite 88, Mai 2001.
- [RiMaSc90] H. Ritter, T. Martinetz, K. Schulten: Neuronale Netze, eine Einführung in die Neuroinformatik selbstorganisierender Netzwerke, Addison-Wesley, Bonn, Deutschland, 1990.

- [RilPar99] L. Rilett, D. Park: Direct Forecasting of Freeway Corridor Travel Times Using Spectral Basis Neural Networks, *Journal of Transportation Engineering*, ASCE, Vol. 125, no. 6, 1999.
- [SanRed07] L. Sanders, Y.B. Reddy: Neural Network Model for Automated System to diagnose Blood Clots, *Proceedings of the 25th IASTED International Multi-Conference Artificial Intelligence and Applications*, ISBN Hardcopy: 987-0-88986-629-4 / CD: 978-0-88986-631-7, February 12-14, Innsbruck, Austria, 2007.
- [Sah03] N. Sahinidis: Optimization under uncertainty: State-of-the-art and opportunities, In *Proceedings of Foundations of Computer-Aided Process Operations 2003 (FOCAPO2003)*, Coral Springs, Florida, January 2003.
- [Sch03] M. Schneider, *Mathematische Modelle zur Prognose der Verkehrslage*. Diplomarbeit, TU-Wien, Österreich, 2003.
- [ShMcAb02] R. Sheldrake, T. McKenna, R. Abraham: *Denken am Rande des Udenkbaren – Über Ordnung und Chaos*, *Physik und Metaphysik, Ego und Weltseele*, 6. Auflage, Piper Verlag, München, 2002.
- [ScAsMrTo07] W. Schneider, J. Asamer, E. Mrakotsky, W. Toplak: Influence of Environment Conditions on Traffic Flow, Paper für die ITSC 2007, The 10th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Sept.30-Oct. 3, Seattle, USA, 2007.
- [SejRos87] T.J. Sejnowski, C.R. Rosenberg, Parallel networks that learn to pronounce English text, in: *Complex Systems*, 1, pp. 145-168, 1987.
- [Sma05] M. Small: *Applied nonlinear Time Series Analysis: Applications in Physics, Physiology and Finance*, *World Scientific Series on Nonlinear Science, Series A*, Vol. 52, World Scientific, 2005.
- [SmWiOs02] B. L. Smith, B. M. Williams, R. K. Oswald: Comparison of Parametric and Nonparametric Models for Traffic Flow Forecasting, *Transport Research C*, 10(4), pp. 303-321, 2002.
- [SchnLoh97] W. Schnabel, D. Lohse: *Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung*, unter Mitarb. Von Lothar Lätsch ..., Band 1 *Verkehrstechnik*, 2. neu überarbeitete Auflage, Verlag für Bauwesen, Berlin, Deutschland, 1997.
- [SoGoTr00] D. Sommer, M. Golz, U. Trutschel, *U-Matrix-Auswertung von Selbstorganisierenden Merkmalskarten für die Clusterung von EEG-Segmenten*, Fachhochschule Schmalkalden, Schmalkalden, Deutschland und Circadian Technologies Inc., Cambridge, USA, 2000.
- [Sol01] M. Solovey, Science and the state during the Cold War – Blurred boundaries and the contested legacy, In: *Social Studies of Science*, Sage Publications, 31/2, pp. 165-170, London, 2001.
- [SchuSchä00] I. Schulz-Schaeffer, *Sozialtheorie der Technik*, Dissertation, Universität Bielefeld 1999, Frankfurt am Main, Campus Verlag, Deutschland, 2000.

- [ToHaAs06] W. Toplak, N. Hainitz, J. Asamer: Prognosen mit Neuronalen Netzen und Neuro-Fuzzy Modellen, Österreichische Gesellschaft für Artificial Intelligence, ÖGAI Journal Jahrgang 2006, Nr. 3, pp. 24-33, Volume 25, ISSN 0254-4326, Wien, Österreich, Dezember 2006.
- [ToHaDi07] W. Toplak, J. Asamer, K. Din: Neural Networks supporting Causal Reasoning in Traffic Telematics, Proceedings of the 25th IASTED International Multi-Conference Artificial Intelligence and Applications, ISBN Hardcopy: 987-0-88986-629-4 / CD: 978-0-88986-631-7, February 12-14, Innsbruck, Austria, 2007.
- [Top04] W. Toplak, Prognose mit Neuronalen Netzen - Ein Ausblick und Vergleich für die Anwendung in der Verkehrstelematik, basierend auf Daten fester Zählstellen und Floating Cars, Diplomarbeit, TU-Wien, Österreich, 2004.
- [Top06] W. Toplak: Chaostheoretische Aspekte zur Analyse von Verkehrsdaten, Paper zum Prix ATTC 2006, Wien, 2006.
- [Top08a] Werner Toplak: A Comparison of a SOM and ALEV for Data Reduction Purposes, submitted paper, 26th IASTED International Multi-Conference Artificial Intelligence and Applications (AIA2008), Innsbruck, Austria, 2008.
- [Top08b] W. Toplak, A Principle of Shape Preservation – The ALEV Method, submitted paper, 19th European Meeting on Cybernetics and Systems Research (EMCSR 2008), Vienna, Austria, 2008.
- [Top08c] W. Toplak, How Chaos Theory improves Forecasting, submitted paper, 21st IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE 2008), Canada,
- [Tor00] H. Torgersen: Wozu Prognosen? – Ist das Ende absehbar? Zwischen Prognose und Prophetie, Beitrag zu den Salzburger Pfingstgesprächen 2000, ITA/ÖAW, 6.8.2000.
- [TrAbJa06] C. Tran, A. Abraham, L. Jain, Soft Computing Paradigms and Regression Trees in Decision Support Systems, Advances in Applied Artificial Intelligence edited by John Fulcher, Idea Group Inc., 2006.
- [TroSte03] H. Troger, A. Steindl, Nichtlineare und chaotische dynamische Systeme, Vorlesungsunterlagen, TU-Wien, 2003.
- [TroSte07] H. Troger, A. Steindl: Introduction into Bifurcation Theory, Lecture Notes Marie Curie, Vienna University of Technology, Release May 5th, 2007.
- [Ult93] A. Ultsch, Self-organizing Neural Networks for Visualization and Classification, Information and Classification, Berlin, Springer-Verlag, pp. 307-313, 1993.
- [UltSie90] A. Ultsch, H.P. Siemon, Kohonen's self organizing feature maps for exploratory data analysis. In Proc. INNC'90, Int. Neural Network Conf., pages 305-308, Dordrecht, Netherlands, 1990. Kluwer.

- [vBeKl89] W. Vab Beers, J. Kleijnen: Kriging interpolation in simulation: A survey, In Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, pp.113-121, Washington D.C., December 2004.
- [VDVDoWa96] M. Van der Voort, M. Dougherty, S. Watson: Combining Kohonen Maps with ARIMA Time Series Models to Forecast Traffic Flow, Transportation Research part C, 4(5), pp. 307-318, 1996.
- [Var75] F. Varela, A calculus of self-reference, International Journal of General Systems, 2, No. 1, p.p. 1-25, UK, 1975.
- [VeHiAlPa00] J. Vesanto, J. Himberg, E. Alhoniemi, J. Parhankangas: SOM Toolbox for Matlab 5, Helsinki University of Technology, Finland, 2000.
- [ViHaPrDeVePa07] L. Vibha, G.M. Harshavardhan, K. Pranaw, P. Deepa Shenoy, K.R. Venugopal, L.M. Patnaik: Lesion Detection using Segmentation and Classification of Mammograms, Proceedings of the 25th IASTED International Multi-Conference Artificial Intelligence and Applications, ISBN Hardcopy: 987-0-88986-629-4 / CD: 978-0-88986-631-7, February 12-14, Innsbruck, Austria, 2007.
- [vFörPö98] H. von Förster, B. Pörksen: Wahrheit ist die Erfindung eines Lügners, Gespräche für Skeptiker, 3. Auflage, Carl-Auer Systeme Verlag, Deutschland, 1998.
- [vFör71] H. von Förster, Sicht und Einsicht, Versuche zu einer operativen Erkenntnistheorie, Carl-Auer-Systeme Verlag, Deutschland, 1999.
- [vFör81] H. von Förster, Observing Systems, Seaside, California, USA, 1981.
- [vFör93] H. von Förster, KybernEthik, Autorisierte Übersetzung aus dem Amerikanischen von Birger Ollrogge, Merve-Verlag, Berlin, Deutschland, 1993.
- [vFör98] H. von Förster, Wahrheit ist die Erfindung eines Lügners, Gespräche für Skeptiker, Carl-Auer-Systeme Verlag, 1998.
- [vFörBrö02] H. von Förster, M. Bröcker: Teil der Welt, Ethische Fraktale – ein Drama in drei Akten, Carl-Auer-Systeme Verlag, Deutschland, 2002.
- [vGla97a] E. von Glasersfeld, Radikaler Konstruktivismus – Ideen, Ergebnisse, Probleme, übersetzt von Wolfram K. Köck, 1. Auflage, Suhrkamp Taschenbuch Verlag, Frankfurt am Main, Deutschland, 1997.
- [vGla97b] E. von Glasersfeld, Wege des Wissens, Konstruktivistische Erkundungen durch unser Denken, Carl-Auer-Systeme Verlag Deutschland, 1997.
- [vLiHo00] J.W.C. van Lindt, S.P.Hoogendoorn: Robust and adaptive Travel TimePrediction with Neural Networks. TRAIL Research School, Delft, the Netherlands, August 2000.
- [WaKr04] P. Watzlawick, F. Kreuzer: Die Unsicherheit unserer Wirklichkeit, Ein Gespräch über den Konstruktivismus, 10. Auflage, Piper Verlag, Deutschland, 2004.

- [Watz78] P. Watzlawick, *Wie wirklich ist die Wirklichkeit*, Piper Verlag, Deutschland, 1978.
- [Watz95] P. Watzlawick: *Wie wirklich ist die Wirklichkeit, Wahn – Täuschung – Verstehen*, 30. Auflage, Piper Verlag, Deutschland, 1995.
- [Watz82] P. Watzlawick, *Die Unsicherheit unserer Wirklichkeit*, Piper Verlag, Deutschland, 1982.
- [WesvFör73] P.E. Weston, H. von Förster, *Artificial Intelligence and machines that understand*, in H. Eyring, C.H. Christensen, H.S. Johnston (Hrsg.), *Annual Review of Physical Chemistry*, 24: p.p. 358-378, Palo Alto: Annual Review Inc., USA, 1973.
- [Wet89] R. Wets: *Stochastic programming, Handbooks in operations research and management science (Vol 1, pages 573-629)*, North-Holland, Amsterdam, 1989.
- [Wie68] N. Wiener: *Kybernetik, Regelung und Nachrichtenübertragung in Lebewesen und Maschine*, nach der Übersetzung aus dem Amerikanischen von E. H. Serr, unter Mitarbeit von Dr. E. Henze, veröffentlicht von Rowohlt Taschenbuchverlag G.m.b.H., mit freundlicher Genehmigung des Econ-Verlags, Hamburg, Deutschland, Juni 1968.
- [Wil90] B. Wilson: *Systems - Concepts, Methodologies and Applications*, 2nd Edition, ISBN 0-471-92716-3, Wiley, 1990.
- [Wil01] B. Wilson: *Soft Systems Methodology - Conceptual Model Building and its Contribution*, ISBN 0-471-89489-3, Wiley, 2001.
- [Witt33] L. Wittgenstein, *Logisch-philosophische Abhandlung. Tractatus logico-philosophicus*, Suhrkamp, 1999.
- [Yas99] R. Yasdi: *Prediction of Road Traffic using a Neural Network Approach*, *Neural Computing and Applications*, 8, pp. 135-142, 1999.
- [Zan71] C. Zangemeister: *Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, Eine Methode zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen*, 2. Auflage, Wittmann'sche Buchhandlung, München, 1971.
- [Zel94] Zell, A., *Simulation neuronaler Netze*, 3. Auflage, Oldenburg Verlag, München, Deutschland, 1994.
- [Zell00] A. Zell, *Simulation Neuronaler Netze*, 3. unveränderte Auflage, Oldenbourg Verlag, 2000.
- [Zha00] H. M. Zhang: *Recursive Prediction of Traffic Conditions with Neural Network Models*, *ASCE Journal of Transportation Engineering*, Vol. 126, No. 6, pp. 472-481, 2000.
- [ZhRiLo00] H. Zhang, S. G. Ritchie, Z. P. Lo: *Macroscopic Modeling of Freeway Traffic using an Artificial Neural Network*, *Transportation Research Record*, No. 1588, pp. 110-119, 2000.

INTERNETQUELLEN

Kapitel 1

<http://www.uni-protokolle.de/Lexikon/Kybernetik.html> - gelesen am 04.01.2006

<http://beat.doebe.li/bibliothek/index.html>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Kybernetik> - gelesen am 02.01.2007

www.langenscheidt.de – gelesen am 20.12.2004

<http://plato.stanford.edu/entries/principia-mathematica/> - gelesen am 10.12.2004

http://de.wikipedia.org/wiki/Thomas_Midgley - gelesen am 12.01.2007

Unglaublich...aber wahr: Profil Nr. 2, 37.Jg, 9.Jänner 2006

<http://de.wikipedia.org/wiki/Konstruktivismus> - gelesen am 11.10.2004

<http://nobelprize.org/physics/laureates/1946/bridgman-bio.html> - gelesen am 11.10.2004

<http://de.wikipedia.org/wiki/Solipsismus> - gelesen am 10.10.2004

Kapitel 2

http://en.wikipedia.org/wiki/Systems_thinking - gelesen am 30.3.2006

<http://www.muenster.org/august/philosophie/projekte/9798131/descartes.htm> -
gelesen am 10.10.2007

http://en.wikipedia.org/wiki/Jean_Piaget - gelesen am 07.06.2007

http://en.wikipedia.org/wiki/Jacob_Bronowski - gelesen am 10.2.2007

http://en.wikipedia.org/wiki/Leo_Szilard - gelesen am 10.2.2007

http://en.wikipedia.org/wiki/Einstein-Szil%C3%A1rd_letter - gelesen am 10.2.2007

Kapitel 3

<http://de.wikipedia.org/wiki/Rorschachtest> - gelesen am 19.2.2007

<http://de.wikipedia.org/wiki/Galilei> - gelesen am 19.2.2007

http://en.wikipedia.org/wiki/Garbage_in,_garbage_out – gelesen am 19.02.2007

Kapitel 4

http://de.wikipedia.org/wiki/Claude_Shannon - gelesen am 8.5.2007

http://de.wikipedia.org/wiki/Shannon_%28Einheit%29 – gelesen am 8.5.2007

http://de.wikipedia.org/wiki/Alexander_Michailowitsch_Ljapunow - gelesen am 8.2.2006

http://de.wikipedia.org/wiki/Andrei_Andrejewitsch_Markow - gelesen am 8.2.2006

<http://de.wikipedia.org/wiki/Markow-Kette> - gelesen am 8.2.2006

http://de.wikipedia.org/wiki/%C3%84ther_%28Physik%29 - gelesen am 8.2.2006

http://de.wikipedia.org/wiki/Ren%C3%A9_Descartes – gelesen am 8.2.2006

http://de.wikipedia.org/wiki/Christiaan_Huygens - gelesen am 8.2.2006

Kapitel 5

http://de.wikipedia.org/wiki/Pierre_Fran%C3%A7ois_Verhulst – gelesen am 06.07.2005

http://de.wikipedia.org/wiki/Edward_N._Lorenz – gelesen am 06.07.2005

http://de.wikipedia.org/wiki/Mitchell_Feigenbaum – gelesen am 06.07.2005

http://de.wikipedia.org/wiki/Henri_Poincar%C3%A9 – gelesen am 06.07.2005

Kapitel 6

http://de.wikipedia.org/wiki/Akaike_Information_Criterion - gelesen am 23.2.2007

http://de.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_von_Ockham - gelesen am 23.2.2007

http://en.wikipedia.org/wiki/Student's_t-distribution - gelesen am 27.5.2007

Kapitel 7

<http://de.wikipedia.org/wiki/Vernunft> - gelesen am 31.07.2006

<http://de.wikipedia.org/wiki/Platon> - gelesen am 31.07.2006

http://de.wikipedia.org/wiki/Meister_Eckhart - gelesen am 31.07.2006

http://de.wikipedia.org/wiki/Martin_Luther - gelesen am 31.07.2006

http://de.wikipedia.org/wiki/Immanuel_Kant - gelesen am 31.07.2006

<http://de.wikipedia.org/wiki/Hegel> - gelesen am 31.07.2006

http://de.wikipedia.org/wiki/Theodor_W._Adorno - gelesen am 31.07.2006

<http://de.wikipedia.org/wiki/Horkheimer> - 31.07.2006

http://de.wikipedia.org/wiki/Frank_Rosenblatt - gelesen am 31.07.2006

http://en.wikipedia.org/wiki/Bernard_Widrow- gelesen am 31.07.2006

<http://www.sfgate.com/cgi-bin/article.cgi?file=/chronicle/archive/2002/12/20/BA88655.DTL> - gelesen am 31.7.2006

<http://derstandard.at/?url=?id=2558121> – gelesen am 21.8.2006

http://de.wikipedia.org/wiki/Grigori_Perelman - gelesen am 21.8.2006

<http://de.wikipedia.org/wiki/Poincar%C3%A9-Vermutung> – gelesen am 21.8.2006

http://de.wikipedia.org/wiki/Marvin_Minsky - gelesen am 22.8.2006

http://de.wikipedia.org/wiki/Seymour_Papert - gelesen am 22.8.2006

http://de.wikipedia.org/wiki/John_McCarthy - gelesen am 27.8.2006

http://de.wikipedia.org/wiki/Alan_Turing - gelesen am 05.09.2006

http://de.wikipedia.org/wiki/Warren_McCulloch - gelesen am 05.09.2006

<http://de.wikipedia.org/wiki/Kohonen> - gelesen am 05.09.2006

http://en.wikipedia.org/wiki/Terry_Sejnowski - gelesen am 26.08.2006

http://www.ics.edu/~mleran/databases/undocumented/connectionist-bench/nettalk/nettalk_names - gelesen am 26.08.2006

http://en.wikipedia.org/wiki/Scott_Fahlman - gelesen am 26.08.2006

<http://www.research-in-germany.de/coremedia/generator/dachportal/de/Querschnittsinnovationen/Mikrosysteme.html>-20.2.2007

<http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/4275815.stm> - gelesen am 01.08.2006

Kapitel 8

<http://crl.ucsd.edu/~elman/> - gelesen am 12.6.2007

http://en.wikipedia.org/wiki/John_Henry_Holland - gelesen am 28.9.2007

Kapitel 13

<http://de.wikipedia.org/wiki/Prognose> - gelesen am 27.9.2007

<http://de.wikipedia.org/wiki/Intuition> - gelesen am 27.9.2007

<http://de.wikipedia.org/wiki/Prophezeiung> - gelesen am 27.9.2007

http://de.wikipedia.org/wiki/Club_of_Rome - gelesen am 26.10.2007

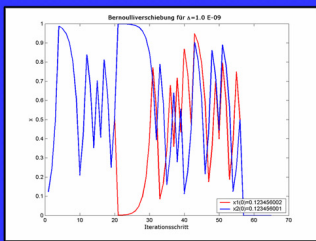
<http://www.cis.hut.fi/research/som-research/worldmap.html> - gelesen am 26.10.2007

<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html> - gelesen am 10.10.2005

Appendix A



SYSTEMVERHALTEN



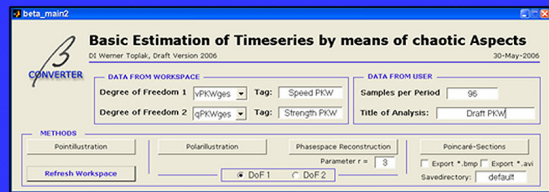
Der Schmetterlingseffekt ist eine Metapher aus der Chaostheorie. Schon ein einziger Flügelschlag könnte genügen, um langfristig an einem weiter entfernten Ort der Erde einen Sturm entstehen zu lassen.

Ein Charakteristikum von chaotischem Verhalten ist die sensitive Abhängigkeit von den Anfangsbedingungen. Eine kleine Abweichung pflanzt sich im zeitlichen Verlauf nichtlinear fort und beeinflusst den zukünftigen Systemzustand mitunter fundamental.

Das Prinzip der starken Kausalität - hinreichend ähnlich präparierte Systeme verhalten sich ähnlich - ist für deterministisch chaotische Systeme ungültig.

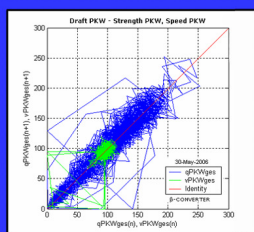
METHODISCHER ZUGANG

Für die Erstellung von Verkehrsprognosen mittels *Künstlicher Neuronaler Netze (KNN)* findet dieses Phänomen eine Anwendung in der Suche nach optimalen Vergangenheitsstiefen. Das bedeutet die Klärung der Frage, welche und wieviele vergangene Messwerte einen zukünftigen Wert beeinflussen bzw. in welcher Form eine Zeitreihe analysiert werden kann, um implizit verborgene Muster zu entdecken.



Der *BETA-Converter* (Basic Estimation of Timeseries by means of chaotic Aspects) ist ein eigens konzipiertes Analysetool und vereint verschiedene Zugänge aus der nichtlinearen Dynamik für informationsdichte Visualisierungen.

PUNKTABBILDUNG

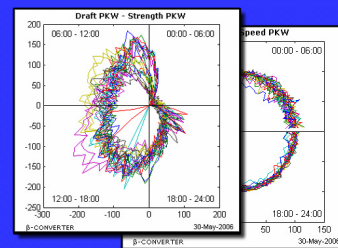


Iterative Abbildung einer Zeitreihe *auf sich selbst* - ein genereller Einblick in das Stabilitätsverhalten.

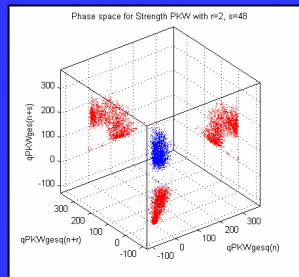
- Abszisse: Messwerte zum Zeitindex n ,
- Ordinate: Messwerte zum Zeitindex $n+1$.

Darstellung der Periodendauer in Polarkoordinaten - ein voller Tag beschreibt eine Kreisbewegung. Identifikation von Grenzyklen im betrachteten System.

POLARDARSTELLUNG

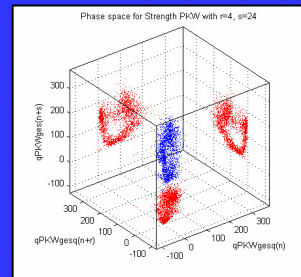


PHASENRAUMREKONSTRUKTION



Bei der Phasenraumrekonstruktion handelt es sich um ein Verfahren, bei dem man eine chronologische Messreihe "zeitlich entkoppelt" um auf möglichst aussagekräftige Attraktoren zu schließen, hier als Häufungszonen im 3-dimensionalen Phasenraum erkennbar. Die jeweiligen Achsen ergeben sich aus der Wahl der zugehörigen Entkoppelungsparameter r und s .

- x-Achse: Messwerte zum Zeitindex n
- y-Achse: Messwerte zum Zeitindex $n+r$
- z-Achse: Messwerte zum Zeitindex $n+s$



Appendix B

Sourcecode

```
% ===== Werner Toplak
% Animation mit Erase Mode Method: Brownsche Bewegung lt. Hilfe
%
% -----
% DI Werner Toplak, 2005

% Using the EraseMode property is appropriate for long sequences
% of simple plots where the change from frame to frame is minimal.
% Here is an example showing simulated Brownian motion. Specify a
% number of points, such as

figure;
    title('Brownsche Bewegung');

n = 20;

% and a temperature or velocity, such as

s = .002;

% The best values for these two parameters depend upon the speed of
% your particular computer. Generate n random points with (x,y)
% coordinates between -1/2 and +1/2.
x = rand(n,1)-0.5;
y = rand(n,1)-0.5;

% Plot the points in a square with sides at -1 and +1. Save the
% handle for the vector of points and set its EraseMode to xor.
% This tells the MATLAB graphics system not to redraw the entire
% plot when the coordinates of one point are changed, but to restore
% the background color in the vicinity of the point using an
% "exclusive or" operation.

h = plot(x,y, '.');
axis([-1 1 -1 1]);

axis square;
grid off;
set(h, 'EraseMode', 'xor', 'MarkerSize', 18);

% Now begin the animation. Here is an infinite while loop,
% which you can eventually exit by typing Ctrl+c.
% Each time through the loop, add a small amount of normally
% distributed random noise to the coordinates of the points.
% Then, instead of creating an entirely new plot, simply
% change the XData and YData properties of the original plot.

while 1
    drawnow
    x = x + s*randn(n,1);
    y = y + s*randn(n,1);
    set(h, 'XData', x, 'YData', y)
```

```

end

% How long does it take for one of the points to get outside
% the square? How long before all the points are outside
% the square?

% ===== Werner Toplak
% Bernoulliverschiebung - chronologischer Plot und Punktabbildung
% Kapitel 5 - Chaostheoretische Konzepte
% =====
% Werner Toplak, Jul 2005
% =====

close all;
clear all;

x=[];

n=65;      %Anzahl der Iterationen

Y_=[];

x0=[0.22 0.21];
x(1,:)=x0;

% ===== B E R N O U L L I =====
for p=1:10;
    if mod(p,2);
        x(1,:)=rand(1,2)*0.001; %Anfangswert der Reihe
    end;
    for j=1:length(x0);
        for i=2:n;
            x(i,j)=mod(2*x(i-1,j),1); %fkt. läuft sehr schnell gegen null, darum
                                     zufallskomponente
        end;
    end;
    Y_=[Y_ x];
end;

[a b]=size(Y_);

y=reshape(Y_,1,a*b);

figure; % chronologischer Plot
    plot(x(:,1), 'b-');
    hold on;
    plot(x(:,2), 'b--');
    title('Bernoullifolge: delta=1.0 E-09');
    legend('x_1', 'x_2');
    xlabel('Iterationsschritt');
    ylabel('x');

figure; % Punktabbildung
    hold on;
    xa=[0;0.5;0.5;1];
    ya=[0;1;0;1];
    plot(xa,ya,'r-');
    plot([0;1],[0;1],'b-');
    plot(y(1:length(y)-1),y(2:length(y)),'m-'); % Kurven
    plot(y(length(y)-1),y(length(y)),'b^'); % Marker der Endpunkte
    title('Bernoullifolge: delta=1.0 E-09');
    legend('Grenzen','Identität','x1(0)=0.123456002', 'x2(0)=0.123456001',2);
    xlabel('y(n)');
    ylabel('y(n+1)');

% ===== Werner Toplak
% Ljapunow Exponent
% ljapunow.m
% Kapitel 5 - Chaostheoretische Konzepte
% =====
% Werner Toplak, Jan. 2007/Mai 2007
% =====
%
% function [lambda]=ljapunow(x);
%
```

```

% Berechnung des Ljapunow-Exponenten lambda für eine Zeitreihe
% lt. [TroSte03]: H. Troger, A. Steindl: Nichtlineare und chaotische dynamische
% Systeme, TU-Wien, 2003.

function [lambda]=ljapunow(x);

[nx ny]=size(x);

if ny>1;
    error('invalid input dimension. (1,n)-vector required');
end;

d=0;

xmax=max(x);

% x_norm=x/xmax;    % für nicht normierten Vektor
x_norm=x/1;    % für normierten Vektor

    for j=1:nx;
        if j==1;
            d=log(x_norm(j)/x_norm(1)); % 1. Wert ist Referenzwert
            % insert: 7.5.2007
            if x_norm(j)-x_norm(1)==0;    % problem, wenn absolute stabilität
zwischen 2 zeitpunkten auftritt.
                d=d-6.9078; % restmessfehler von 0.1 wird angenommen und zum abgleich
verwendet.
            end;
            % end insert
        else
            if x_norm(j)-x_norm(1)==0;    % problem, wenn absolute stabilität
zwischen 2 zeitpunkten auftritt.
                d=d-6.9078; % restmessfehler von 0.1 wird angenommen und zum abgleich
verwendet.
            else
                d=d+log(abs(x_norm(j)-x_norm(1))/x_norm(1));
            end;
        end;
    end;

lambda=d/nx;

% ===== Werner Toplak
% Entropie nach Shannon
% entropy.m
% Kapitel 5 - Chaostheoretische Konzepte
% =====
% Werner Toplak, Apr. 2007
% =====
%
% Entropy nach [TroSte]: S=-Summe(p_i*ln(p_i)) --> (aus [Schu88])
% [Schu88] --> H.G. Schuster: Deterministic Chaos, An Introduction, Verlag
% Chemie Weinheim, 1988
% [TroSte03] --> H. Troger, A. Steindl: Nichtlineare und chaotische
% dynamische Systeme, Vorlesungsunterlagen, TU-Wien, 2003.
%
% Entropy nach Shannon: S=-Summe(p_i*log2(p_i)), [S]=bit
% Darstellung der Shannon-Entropie mit ln: S=-1/ln(2) Summe((p_i*ln(p_i)), [S]=Sh
% =====
% function [Entropy]=entropy(x,aufloesung,visualisierung,export,titel)
%
% Inputs:
% --> normalisierter Vektor x
% --> aufloesung: Anzahl der Klassen
% --> visualisierung: 0|1 - Darstellung des Histogramms
% --> export: 0|1 - Exportieren der Visualisierung
% --> titel: titel des Histogramms/*.jpg/*.fig

function [Entropy]=entropy(varargin);

%function [Entropy]=entropy(x,aufloesung,visualisierung,export,titel);

x=cell2mat(varargin(1));
aufloesung=cell2mat(varargin(2));

% if isnan(aufloesung)=0;    % Eingaben überprüfen
%     error('Wrong input! type help entropy.m');

```

```

% end;

if nargin==5;
    visualisierung=cell2mat(varargin(3));
    export=cell2mat(varargin(4));
    titel=(varargin(5));

    %     if visualisierung~=0&1;           % Eingaben überprüfen
    %         else if export~=0&1;
    %             error('Wrong input! type help entropy.m');
    %         end;
    %     end;
end;

klassenmitten=0:1/aufloesung:1;
klassenmitten(1)=[];

[n, xout]=hist(x,klassenmitten);    % Verteilung der Werte nach Klassenmitten

% [n,xout]=hist(x,[0.05 0.15 0.25 0.35 0.45 0.55 ...
%               0.65 0.75 0.85 0.95]); % Verteilung der Werte nach 10 Klassenmitten
%
% [n,xout]=hist(x,[0.025 0.075 0.125 0.175 ...
%               0.225 0.275 0.325 0.375 0.425 0.475 ...
%               0.525 0.575 0.625 0.675 0.725 ...
%               0.775 0.825 0.875 0.925 0.975 ]); % Verteilung der Werte nach 20
Klassenmitten

if nargin>2;
    if visualisierung==1;
        h=figure;
        bar(xout,n)
        xlabel('Wertebereich');
        ylabel('Anzahl der Elemente pro Klasse');
        title(char(titel));
        if export==1;
            saveas(h,[titel,'.jpg']);
            saveas(h,[titel,'.fig']);
        end;
    end;
end;

N=sum(n);

S=0;
for i=1:length(n);
    if n(i)>0;    % Nullwahrscheinlichkeiten tragen lt. De L'Hospital-Regel nicht zur
Summe bei.
        S=S+n(i)/N*log(n(i)/N);
    end;
end;

Entropy=-S/log(2); % Entropie in Shannon

% ===== Michael Small
% First Zero - firstzero.m
% Kapitel 5 - Chaostheoretische Konzepte
% =====

function tau=firstzero(y);

%function tau=firstzero(y);
%
%find the first zero of the autocorrelation function of y.
%
%Michael Small
%3/3/2005
%ensmall@polyu.edu.hk

% y=data; %wt
len=50;
[r,t]=acorr(y,len);
lY=length(y);
%lY=1000;

while (all(r(2:(end-1))>0)),
    len=len*2;

```



```

    if (len==2*1Y),
        disp('WARNING : No minium found in firstzero(y)');
        tau=1;
        return;
    end;
    if (len>1Y)
        len=1Y;
    end;
    [r,t]=acorr(y,len); % autokorrelation der zeitreihe
end;

r=r((len+1):end);

t0=find(r>0); % werte größer null finden
t0=t0(find(diff(t0)>1)); % finde die stellen des übergangs zwischen pos&neg werten

if length(t0)>0,
    t0=t0(1); % erste position der neg. autocorr.
    t1=t0+1; % nächster positive position
else
    t0=min(find(r<0));
    t1=t0+1;
end;

if t0==(len+1),
    tau=t0;
    return;
end;

if (-r(t1))>=r(t0)
    tau=t0;
else,
    tau=t1;
end;
tau=tau-1;

%if tau>(len/4),
% tau=1;
%end;

% ===== Michael Small
% Autokorrelation - acorr.m
% Kapitel 5 - Chaostheoretische Konzepte
% =====

function [p,t]=acorr(y,rmax);

% function [p,t]=acorr(y,r);
%
% Calculates an approximation to the autocorrelation function for a timeseries
% y.
%
%Michael Small
%3/3/2005
%ensmall@polyu.edu.hk

if nargin<2,
    rmax=length(y);
end;

X=mean(y);
N=length(y);
wait=waitbar(0,'acorr : working...');
for r=0:rmax
    waitbar(r/rmax,wait);
    p(rmax+1+r)=1/(N)*dot(y(1:N-r)-X,y(r+1:N)-X);
    p(rmax+1-r)=p(rmax+1+r);
end;
p=p/(p(rmax+1));
t=-rmax:1:rmax;
close(wait);

% ===== Michael Small
% False Nearest Neighbours - fnn.m
% Kapitel 5 - Chaostheoretische Konzepte

```

```

% =====

function [p,t]=fnn(y,de,tau,th,kth);
% function [p]=fnn(y,de,tau,th,kth);

%function [nfnn]=fnn(y,de,tau,th,kth)
%
%determine the number of false nearest neighbours for the time
%series y embedded in dimension de with lag tau.
%
%for each pair of values (de,tau) the data y is embeded and the
%nearest neighbour to each point (excluding the immediate
%neighbourhood of n points) is determined. If the ratio of the
%distance of the next (kth) points and these points is greater than
%th then they are counted as false nearest neighbours.
%
% default:
% th=5
% kth=1
%
% p(i,j) is the proportion of false nearest neighbours for de(i)
% and tau(j).
%
%Michael Small
%3/3/2005
%ensmall@polyu.edu.hk

if nargin<5,
    kth=1;
    disp(['th = ',int2str(kth)]);
end;

if nargin<4,
    th=5;
    disp(['th = ',int2str(th)]);
end;
if nargin<3,
    tau=firstzero(y); % erste stelle, an der die autokorellation neg wird
    disp(['tau = ',int2str(tau)]);
end;

if nargin<2,
    de=[1:10];
    disp(['de = ',int2str(de(1)),':',int2str(de(end))]);
end;

p=[];
for t=tau,
    px=[];
    for d=de,
        %embed the data
        X=embed(y,d,t);
        [dx,nx]=size(X);

        %find the nearest neighbours of each point
        ind=nearest(X(:,1:(nx-kth)),tau); %whooh hooo!

        %distance between each point and its nearest neighbour
        d0=rms(X(:,(1:(nx-kth)))'-X(:,ind)');
        %... and after one time step
        d1=rms(X(:,(kth+1):nx)'-X(:,ind+1)');

        %exclude any coincident points
        d1(d0==0)=[];
        d0(d0==0)=[];

        %calculate the proportion fnn
        ifnn=sum((d1./d0)>th)/length(d0);

        %disp
        disp(['tau = ', int2str(t),' , de = ',int2str(d),' , nfnn =
',num2str(ifnn*100),'%']);

        px=[px ifnn];
    end;

p=[p;px];

```

```

end;

p=p';

% ===== Alexandros Leontitsis
% Mututal Average Information - mai.m
% Kapitel 5 - Chaostheoretische Konzepte
% =====

function v=mai(x,lag)
%Syntax: v=mai(x,lag)
%
%
% Calculates the mutual average information of a time series x for
% some time lag.
%
% v is the the value of the mutual average information.
% x is the time series.
% lag is the time lag.
%
% Alexandros Leontitsis
% Institute of Mathematics and Statistics
% University of Kent at Canterbury
% Canterbury
% Kent, CT2 7NF
% U.K.
% University e-mail: al10@ukc.ac.uk
% Lifetime e-mail: leoaleq@yahoo.com
% Homepage: http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Lab/1421
%
% May 25, 2001.

if nargin<1 | isempty(x)==1
    error('You should provide a time series.');
```

```

else
    % x must be a vector
    if min(size(x))>1
        error('Invalid time series.');
```

```

    end
    x=x(:);
    % n is the time series length
    n=length(x);
end

if nargin<2 | isempty(lag)==1
    lag=0:min(n/2-1,20);
else
    % lag must be a vector
    if min(size(lag))>1
        error('The time lag must be a scalar or a vector.');
```

```

    end
    % lag must contain integers
    lag=round(lag);
    % lag values must be between 0 and n/2-1
    lag=lag(find(lag>=0 & lag<n/2));
    % lag must not be empty
    if isempty(lag)==1
        error('You must give another set of values for lag.')
```

```

    end
end

% The mutual average information
x=x-min(x);
x=x/max(x);
for i=1:length(lag)

    % Define the number of bins
    k=floor(1+log2(n-lag(i))+0.5);

    % If the time series has no variance then the MAI is 0
    if var(x,1)==0
        v(i)=0;
    else
        v(i)=0;
        for k1=1:k
            for k2=1:k
```

```

        ppp=find((k1-1)/k<x(1:n-lag(i)) & x(1:n-lag(i))<=k1/k ...
            & (k2-1)/k<x(1+lag(i):n) & x(1+lag(i):n)<=k2/k);
        ppp=length(ppp);
        px1=find((k1-1)/k<x(1:n-lag(i)) & x(1:n-lag(i))<=k1/k);
        px2=find((k2-1)/k<x(1+lag(i):n) & x(1+lag(i):n)<=k2/k);
        if ppp>0
            ppp=ppp/(n-lag(i));
            px1=length(px1)/(n-lag(i));
            px2=length(px2)/(n-lag(i));
            v(i)=v(i)+ppp*log2(ppp/px1/px2);
        end
    end
end
end
end
end

% ===== Michael Small
% Embedding Theorem - embed.m
% Kapitel 5 - Chaostheoretische Konzepte
% =====

function [x,y] = embed(z,v,w)

% [x,y] or x= embed(z,lags) or embed(z,dim,lag)
% embed z using given lags or dim and lag
% embed(z,dim,lag) == embed(z,[0:lag:lag*(dim-1)])
% negative entries of lags are into future
%
% If return is [x,y], then x is the positive lags and y the negative lags
% Order of rows in x and y the same as sort(lags)
%
% defaults:
% dim = 3
% lag = 1
% lags = [0 1 2]; or [-1 lags] when two outputs and no negative lags
%
%Michael Small
%3/3/2005
%ensmall@polyu.edu.hk

if nargin==3
    v= 0:w:w*(v-1);
end;
if nargin==1
    v= [0 1 2];
end
if nargout==2 & min(v)>=0
    v= [-1 v];
end
lags= sort(v);

dim = length(lags);

[c,n] = size(z);
if c ~= 1
    z = z';
    [c,n] = size(z);
end
if c ~= 1
    error('Embed needs a vector as first arg.');
```

```

if nargout==2
    id= find(v<0);
    y= x(id,:);
    id= find(v>=0);
    x= x(id,:);
end;

% ===== Michael Small
% Nearest Neighbours - nearest.m
% Kapitel 5 - Chaostheoretische Konzepte
% =====

function ind=nearest(x,tau,v);

% returns the row vector containing the indicies of the nearest
% neighbours to each of the columns of x. Each point and its tau
% temporal neighbours are excluded from the search.
% v is an array (not necessarily logical) indicating which columns of x to
% use or, the relative importance of these columns, in the computation
% (i.e. use v(i)*x(i,:), not x(i,:)).
%
% default : tau=0
%           v=ones(1,length(x(:,1)))
%
% this is a mex version of nearneigh, and provides a speed-up of
% atleast 1000%.
%
% 15/7/04
% Michael Small.

% beschreibung von michael small, source code fehlt, also von mir ergänzt.
% werner toplak, august 2006

% --> übergabe: x=X(:,1:(nx-kth)),tau)
%
% v=ones(1,length(x(:,1))); %default übernommen, v wird in fnn.m nicht spezifiziert
% einfluss von v checken!!!

% nimm spalte i, berechne die distanz jeder anderen spalte hierzu, wähle
% jene aus (index), die am nächsten liegt und lege den wert in ind(i) ab.

% x=pass;
[dim, nx]=size(x);
dist=[];

tic;
h = waitbar(0,'Nachbarschaftsberechnung läuft...');
for i=1:nx;
    % dist=zeros(dim,nx);

    for j=1:dim;
        dist(j,:)=(x(j,:)-x(j,i)).^2; %lineare distanz
    end;
    dist_sum=sum(dist);
    [b, idx] = sort(dist_sum);
    ind(i)=idx(2); % idx(1) referenziert sich selbst, distanz 0
    waitbar(i/nx);
end;
close(h);
time=toc;

% ===== Werner Toplak
% BETA-Converter Draft Version
% beta_main4.m
% Der BETA-Converter - Ein Prototyp zur Visualisierung von Zeitreihen
% =====
% Werner Toplak, Jun. 2007
% =====

function varargout = beta_main4(varargin)
% BETA_MAIN4 M-file for beta_main4.fig
% BETA_MAIN4, by itself, creates a new BETA_MAIN4 or raises the existing
% singleton*.

```

```

%
% H = BETA_MAIN4 returns the handle to a new BETA_MAIN4 or the handle to
% the existing singleton*.
%
% BETA_MAIN4('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
% function named CALLBACK in BETA_MAIN4.M with the given input arguments.
%
% BETA_MAIN4('Property','Value',...) creates a new BETA_MAIN4 or raises the
% existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
% applied to the GUI before beta_main4_OpeningFunction gets called. An
% unrecognized property name or invalid value makes property application
% stop. All inputs are passed to beta_main4_OpeningFcn via varargin.
%
% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
% instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help beta_main4

% Last Modified by GUIDE v2.5 30-May-2006 21:30:39

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @beta_main4_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @beta_main4_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin & isstr(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before beta_main4 is made visible.
function beta_main4_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to beta_main4 (see VARARGIN)

% Choose default command line output for beta_main4
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

initialize_gui(hObject, handles);    %initialisieren

% UIWAIT makes beta_main4 wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = beta_main4_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in ploardarst.
function ploardarst_Callback(hObject, eventdata, handles)
% POLAR
% hObject    handle to ploardarst (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB

```

```

% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

    periode=str2num(get(handles.Samples,'String'));
    if isempty(periode)==1 || mod(periode,1)~=0 || periode<=0;
        errordlg('>>Samples per Period<< has to be a positive integer! ','Invalid
Input');
    end;

    vars=evalin('base','who'); %--> nur lokal, in initialisierung & openfunction
    gescheitert!

    value1=cell2mat(vars(get(handles.workspace1, 'Value'))); %workspacevariablen
    übernehmen
    value2=cell2mat(vars(get(handles.workspace2, 'Value')));

    if get(handles.buttonDoF1, 'Value')==1; % ausgewählten FG zuweisen
        varx=evalin('base',value1);
        %   fig_title=cell2struct(vars(value1));
        fig_title=get(handles.EditDoF1, 'String');

    else if get(handles.buttonDoF2, 'Value')==1;
        varx=evalin('base', value2);
        %   fig_title=cell2struct(vars(value2));
        fig_title=get(handles.EditDoF2, 'String');
    end;
end;

n=length(varx); % wieviele datenpunkte

anz_periode=floor(n/periode); % wieviele perioden wurden gemessen?

varx_plane=[]; %werte der schnittebenen des jeweiligen fg festlegen
for j=1:periode;
    for i=1:anz_periode; % verarbeitung vor der figure, damit linienplots möglich
    werden
        if i==1;
            varx_plane(j,i)=varx(i+j-1); % Poincare-Schnitt t=0+T
        else
            varx_plane(j,i)=varx((i-1)*periode+j); % Poincare-Schnitt t=0+T
        end;
    end;
end;

% Infos zur Fig.-positionierung einholen_____
screen=get(0,'ScreenSize'); %[left bottom width height]
fig_width=floor(screen(3)/3);
fig_height=fig_width;

pos1=[1 screen(4)*0.9-fig_height fig_width fig_height];
pos2=[fig_width screen(4)*0.9-fig_height fig_width fig_height];
pos3=[2*fig_width screen(4)*0.9-fig_height fig_width fig_height];

% Trajektorien im Zustandsraum zeichnen _____
tau=2*pi/periode; % dimensionslose zeit
phi=(0:tau:2*pi-tau)'; % winkelvektor

x=zeros(periode,anz_periode);
y=zeros(periode,anz_periode);
z=zeros(periode,anz_periode);

Streckfaktor=1;
Verschiebefaktor=0;

for i=1:periode; %koordinaten berechnen
    x(i,:)=Verschiebefaktor+Streckfaktor*varx_plane(i,:)*cos(i*tau);
    y(i,:)=Verschiebefaktor+Streckfaktor*varx_plane(i,:)*sin(i*tau);
end;

Traj_varx=figure; %_____Trajektorien für varx --> eigene Fkt für
fg-plots!
    set(gcf,'Name',['BETA Converter - Polarillustration']);
    set(gcf,'NumberTitle','off'); % Automatische Nummerierung "Figure No.x"
ausschalten

    set(gcf,'Position',pos1);
    varx_boundoffset=0;
    varx_lbound=-max(max(varx))-varx_boundoffset;

```

```

varx_ubound=-varx_lbound;
axis([varx_lbound varx_ubound varx_lbound varx_ubound]);
%
axis square;
colormap(hot);

pvarx=plot(x,y); %alle trajektorien VARX plotten
hold on;
xlim=get(gca, 'XLim');
ylim=get(gca, 'YLim');
xy=[0 0]; %nullkoordinaten für xlim&ylim
plot(xlim, xy, 'k-'); %quadranten einzeichnen
plot(xy, ylim, 'k-'); %quadranten einzeichnen

text(0.70,0.95,0,'00:00 - 06:00', 'Units','normalized','FontSize',[10.0]);
%quadranten beschriften
text(0.05,0.95,0,'06:00 - 12:00', 'Units','normalized','FontSize',[10.0]);
text(0.05,0.05,0,'12:00 - 18:00', 'Units','normalized','FontSize',[10.0]);
text(0.70,0.05,0,'18:00 - 24:00', 'Units','normalized','FontSize',[10.0]);

title([get(handles.Title,'String'),' -
',fig_title],'FontSize',[9.0],'FontName','verdana','FontWeight','bold');
text(-0.10,-0.10,0,'\beta-CONVERTER', 'Units','normalized',...
'FontName','verdana','FontSize',[8.0],'FontWeight','light');
text(0.9,-0.10,0,date, 'Units','normalized','FontSize',[8.0]);

% --- Executes on button press in pktabb.
function pktabb_Callback(hObject, eventdata, handles) %
PUNKTABBILDUNG
% hObject handle to pktabb (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

vars=evalin('base','who'); %--> nur lokal, in initialisierung & openfunction
gescheitert!

value1=cell2mat(vars(get(handles.workspace1, 'Value'))); %workspacevariablen
übernehmen
varx=evalin('base',value1);

value2=cell2mat(vars(get(handles.workspace2, 'Value')));
vary=evalin('base',value2);

n=length(varx); % wieviele datenpunkte

x1(1:n-1)=varx(1:n-1); %abszissen & ordinaten zuweisen
y1(1:n-1)=varx(2:n);

x2(1:n-1)=vary(1:n-1);
y2(1:n-1)=vary(2:n);

pktabbildung=figure; %plots
plot(x1,y1,'b-');
hold on;
grid on;
plot(x2,y2,'g-');

set(gca,'LineWidth',[0.5]); %Strichstärke der Achsen!!!

set(gcf,'Name',['BETA Converter - Pointillustration']);
set(gcf,'NumberTitle','off'); % Automatische Nummerierung "Figure No.x"
ausschalten

xlabel([value1,'(n)', ' ', value2,'(n+1)']);
ylabel([value1,'(n+1)', ' ', value2,'(n+1)']);
set(gca,'PlotBoxAspectRatioMode','manual');
title([get(handles.Title,'String'),' - ',get(handles.EditDoF1,'String'),' ',
',...
',...
get(handles.EditDoF2,'String')],'FontSize',[9.0],'FontName','verdana','FontWeight','b
old');

identity=[0 max(get(gca, 'XLim')); 0 max(get(gca, 'YLim'))];
plot(identity(1,:), identity(2,:), 'r-');
legend(value1, value2, 'Identity',-1);
text(1.04,0.83,0,'\beta-CONVERTER', 'Units','normalized',...
'FontName','verdana','FontSize',[8.0],'FontWeight','light');
text(1.07,1.03,0,date, 'Units','normalized','FontSize',[8.0]);

```



```

% --- Executes on button press in phasenraum.
function phasenraum_Callback(hObject, eventdata, handles)
% PHASENRAUM
% hObject    handle to phasenraum (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

    periode=str2num(get(handles.Samples,'String'));
    if isempty(periode)==1 || mod(periode,1)~=0 || periode<=0;
        errordlg('>>Samples per Period<< has to be a positive integer! ','Invalid
Input');
    end;

    vars=evalin('base','who'); %--> nur lokal, in initialisierung & openfunction
    gescheitert!

    value1=cell2mat(vars(get(handles.workspace1, 'Value'))); %workspacevariablen
    übernehmen
    value2=cell2mat(vars(get(handles.workspace2, 'Value')));

    if get(handles.buttonDoF1, 'Value')==1; % ausgewählten FG zuweisen
        DoF=evalin('base',value1);
        fig_title=get(handles.EditDoF1, 'String');

    else if get(handles.buttonDoF2, 'Value')==1;
        DoF=evalin('base', value2);
        fig_title=get(handles.EditDoF2, 'String');
    end;
end;

n=length(DoF); % wieviele datenpunkte
anz_periode=floor(n/periode); %wieviele perioden wurden gemessen?

r=str2num(get(handles.editr, 'String')); % 1. entkopplungsparameter
s=floor(periode/r); % 2. entkopplungsparameter berechnen
varx=[];
varx(:,1)=DoF(1:n-s); %1:r:s % _____ 1. fg
varx(:,2)=DoF(r:n-s+r-1);
varx(:,3)=DoF(s:n-1);

rangexyz=length(varx(:,1)); % wieviele messpkte werden zum attraktor
rekonstruiert?

fig1=figure; % Attraktor im Phasenraum zeichnen
grid on;

set(gcf,'Name',['Phasenraumrekonstruktion']);
set(gcf,'NumberTitle','off'); % Automatische Nummerierung "Figure No.x"
ausschalten

% set(gca,'CameraTarget',[max(varx(:,1))/2 max(varx(:,1))/2 max(varx(:,1))/2]);
%Position des Ursprungs an Datenreichweite anpassen

alpha=30; %rotationswinkel 1 % [UI-eingabe!] -->dynamisch:default
beta=45; %rotationswinkel 2 % [UI-eingabe!] -->dynamisch:default
view(alpha,beta); % elegante-direkte einstellung über blickwinkel

plane_offset=0.5*max(varx(:,1)); ; % [UI-eingabe!]
ubound=max(varx(:,1))+plane_offset; % Rekonstruktionsraum ub
lbound=min(varx(:,1))-plane_offset ;% Rekonstruktionsraum lb

set(gca,'XLim',[lbound ubound],'YLim',[lbound ubound],'ZLim',[lbound ubound]);
%Achsenlimits für gute projektionen adaptieren
% set(gca, 'XTick', [0 50 100 150 200],'YTick', [0 50 100 150 200],'ZTick', [0 50
100 150 200]);
% title('Attraktor für varx und v, Zählstelle');

yz_platzhalter=zeros(1,rangexyz); % Platzhalter für Schattenwürfe
x_platzhalter=yz_platzhalter; %initialisierung
yz_platzhalter(:)=min(get(gca, 'XLim'));
x_platzhalter(:)=max(get(gca, 'XLim')); %damit an der rückseite der ebenen
geplottet wird

i=1;
A1=plot3(varx(i,1),varx(i,2),varx(i,3),'.','MarkerSize',1); %Attraktor
% A1=plot3(varx(:,1),varx(:,2),varx(:,3),'-'); attraktor auf einmal

```

```

    set(gca,'XLim',[lbound ubound],'YLim',[lbound ubound],'ZLim',[lbound ubound]);
%Achsenlimits für gute projektionen adaptieren
    hold on;
    grid on;
    S_xy=plot3(varx(i,1),varx(i,2),yz_platzhalter(i),'r.','MarkerSize',1); %Pkt-
Abbildung in x-y
    S_xz=plot3(varx(i,1),x_platzhalter(i),varx(i,3),'r.','MarkerSize',1); %Pkt-
Abbildung in x-z
    S_yz=plot3(x_platzhalter(i),varx(i,2),varx(i,3),'r.','MarkerSize',1); %Pkt-
Abbildung in y-z

    set(gca,'Box','on'); % Achsen als box darstellen
    set(gca,'Layer','bottom'); % wo werden achsen gezeichnet? vor od. hinter dem
plot
    set(gca,'LineWidth',[0.5]); % strichstärke
    set(A1,'color','b'); % farbe des attraktors ändern
    set(A1,'Tag','Attraktor');
    set(S_xy,'Tag','Schatten xy');
    set(S_xz,'Tag','Schatten xz');
    set(S_yz,'Tag','Schatten yz');
    set(A1,'EraseMode','none');
    set(S_xy,'EraseMode','none');
    set(S_xz,'EraseMode','none');
    set(S_yz,'EraseMode','none');

    g = waitbar(0,'Attraktorkonstruktion läuft...');
    while i<=rangexyz;
        a=varx(i,1);
        b=varx(i,2);
        c=varx(i,3);
        d=x_platzhalter(i);
        e=yz_platzhalter(i);
        set(A1,'XData',a,'YData',b,'ZData',c);
        set(S_xy,'XData',a,'YData',b,'ZData',e);
        set(S_xz,'XData',a,'YData',d,'ZData',c);
        set(S_yz,'XData',d,'YData',b,'ZData',c);
        waitbar(i/rangexyz,g)
        i=i+1;
    end;
    close(g);
    plot3(varx(:,1),varx(:,2),varx(:,3),'.','MarkerSize',1); %Attraktor
    plot3(varx(:,1),varx(:,2),yz_platzhalter(:),'r.','MarkerSize',1); %Pkt-Abbildung
in x-y
    plot3(varx(:,1),x_platzhalter(:),varx(:,3),'r.','MarkerSize',1); %Pkt-Abbildung
in x-z
    plot3(x_platzhalter(:),varx(:,2),varx(:,3),'r.','MarkerSize',1); %Pkt-Abbildung
in y-z
    zlabel('q(n+s)');
    xlabel('q(n)'); %textformatierung siehe text properties
    ylabel('q(n+r)');
    title(['Phase space for ', fig_title, ' with r=',int2str(r),' , s=',int2str(s)]);

% =====
% --- Executes on button press in poincare.
function poincare_Callback(hObject, eventdata, handles) %
POINCARÉ
% hObject handle to poincare (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of poincare

    periode=str2num(get(handles.Samples,'String'));
    if isempty(periode)==1 || mod(periode,1)~=0 || periode<=0;
        errordlg('>>Samples per Period<< has to be a positive integer!','Invalid
Input');
    end;

    vars=evalin('base','who'); %--> nur lokal, in initialisierung & openfunction
gescheitert!

    value1=cell2mat(vars(get(handles.workspace1,'Value'))); %workspacevariablen
übernehmen
    value2=cell2mat(vars(get(handles.workspace2,'Value')));

    varx=evalin('base',value1);
    vary=evalin('base',value2);

```

```

n=length(varx); % wieviele datenpunkte
m=length(vary);
if m~=n;
    error('DoF1 and DoF2 must be vectors of same length!', 'Invalid DoF');
end;

varx_ubound=max(varx);
vary_ubound=max(vary);

if get(handles.exportbmp, 'Value')==get(handles.exportbmp, 'Max') || ...
    get(handles.exportavi, 'Value')==get(handles.exportavi, 'Max');
    workdir=cd;
    mkdir([get(handles.dirname, 'String')]);
    cd([get(handles.dirname, 'String')]);
end;

% pfad='C:\Dokumente und Einstellungen\WeRn\Desktop\diss\konzepte\Fraktale
Dimension\rohbmps\'; %UI eingabe
% % mkdir('C:\Dokumente und Einstellungen\WeRn\Desktop\diss\konzepte\Fraktale
Dimension\', 'rohbmps');
% cd('C:\Dokumente und Einstellungen\WeRn\Desktop\diss\konzepte\Fraktale
Dimension\rohbmps\');

% name=[];
% for i=1:periode;
%     name(i)=i;
% end;

%
% -----
% Schrittparameter und -positionswerte für die Poincareschnitte und
% Polardarstellung
% -----

anz_periode=floor(n/periode); %wieviele perioden wurden gemessen?

varx_plane=[]; %werte der schnittebenen des jeweiligen fg festlegen
vary_plane=[];

for j=1:periode;
    for i=1:anz_periode; % verarbeitung vor der figure, damit linienplots möglich
werden
        if i==1;
            varx_plane(j,i)=varx(i+j-1); % Poincare-Schnitt t=0+T
            vary_plane(j,i)=vary(i+j-1);
        else
            varx_plane(j,i)=varx((i-1)*periode+j); % Poincare-Schnitt t=0+T
            vary_plane(j,i)=vary((i-1)*periode+j);
        end;
    end;
end;

% _Infos zur Fig.-positionierung einholen
% -----

screen=get(0, 'ScreenSize'); %[left bottom width height]
fig_width=floor(screen(3)/3);
fig_height=fig_width;

pos1=[1 screen(4)*0.9-fig_height fig_width fig_height];
pos2=[fig_width screen(4)*0.9-fig_height fig_width fig_height];
pos3=[2*fig_width screen(4)*0.9-fig_height fig_width fig_height];
% -----

%
% -----
% Animierte Poincare-Schnitte für jedes Intervall, Schnittbilder export
% zur flächenergänzung
% -----

poincare=figure;
set(gca, 'YLim', [0 vary_ubound], 'XLim', [0
varx_ubound], 'DataAspectRatioMode', 'manual', 'DataAspectRatio', [1 1 1]);

set(gcf, 'Units', 'pixels');
set(gcf, 'Position', pos3);

```

```

hold on;
i=1;
% h=plot(varx_plane(1,:), 'r-^'); %varx alleine
% h=plot(vary_plane(1,:), 'r-^'); %vary alleine
h=plot(varx_plane(i,:), vary_plane(i,:), 'r-'); %varx(vary)
title(['Poincarésection ', get(handles.EditDoF1, 'String'), ' vs. ',
get(handles.EditDoF2, 'String')]);
text(0.73, -0.30, 0, [date, 'Units', 'normalized', ...
'FontName', 'verdana', 'FontSize', [8.0], 'FontWeight', 'light']);
text(0, -0.30, 0, '\beta-CONVERTER', 'Units', 'normalized', ...
'FontName', 'verdana', 'FontSize', [8.0], 'FontWeight', 'light');

xlabel([value1]);
ylabel([value2]);

% K= [];
% a= [];
% [K,a] = convhull(vary_plane(i,:), varx_plane(i,:)) %returns the area of the
convex hull.

% set(gca, 'YLimMode', 'manual', 'YTickLabelMode', 'manual');
% set(gca, 'YLim', [0 varx_ubound], 'XLim', [0 varx_ubound]);

% axis normal;
F(i)=getframe;

if get(handles.exportbmp, 'Value')==get(handles.exportbmp, 'Max'); % bmp
exportieren
    saveas(poincare, int2str(i), 'bmp256');
end;

while i<=periode;
    set(gca, 'YLim', [0 vary_ubound], 'XLim', [0
varx_ubound], 'DataAspectRatioMode', 'manual', 'DataAspectRatio', [1 1 1]);
    i=i+1;
% set(gca, 'XTick', [0 25 50 75], 'YTick', [0 50 100 150 200]);
x=varx_plane(mod(i,periode)+1, :);
y=vary_plane(mod(i,periode)+1, :);
% set(h, 'YData', y);
set(h, 'XData', x, 'YData', y);
drawnow;
F(i)=getframe;
pause(0.05);
if get(handles.exportbmp, 'Value')==get(handles.exportbmp, 'Max'); % bmp
exportieren
    saveas(poincare, int2str(i), 'bmp256');
end;
end;

if get(handles.exportavi, 'Value')==get(handles.exportavi, 'Min') && ... % dir
wechseln
    get(handles.exportbmp, 'Value')==get(handles.exportbmp, 'Max');
    cd([workdir]);
end;

if get(handles.exportavi, 'Value')==get(handles.exportavi, 'Max'); % avi-file
generieren
    mov=avifile('poincare.avi', 'fps', 5);
    for i=1:periode;
        mov = addframe(mov, F(i));
    end;
    mov=close(mov);
    cd([workdir]); % dir wechseln
end;

function initialize_gui(fig_handle, handles) %
initialisieren
% datum _____
set(handles.Datum, 'String', date);

% workspacevariablen _____
vars=evalin('base', 'who'); %--> nur lokal, daher besser teil der initialisierung!

% Polardarstellung Radio Buttons _____
set(handles.buttonDoF1, 'Value', 1);
set(handles.buttonDoF2, 'Value', 0);

```

```

% Poincare ceck boxes _____

% logo _____
% setappdata(fig_handle, 'metricdata', data);
logo=imread('BetaLogo2.bmp');
% clear all;
axes(handles.betalogo);
imshow(logo);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function workspace1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles) %
WORKSPACE 1
% hObject    handle to workspace1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

vars=evalin('base','who'); %--> nur lokal, in initialisierung & openfunction
gescheitert!
set(hObject, 'String', vars);

% --- Executes on selection change in workspace1.
function workspace1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to workspace1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: contents = get(hObject,'String') returns workspace1 contents as cell array
%         contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from workspace1

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function workspace2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles) %
WORKSPACE 2
% hObject    handle to workspace2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

vars=evalin('base','who'); %--> nur lokal, in initialisierung & openfunction
gescheitert!
set(hObject, 'String', vars);

% --- Executes on selection change in workspace2.
function workspace2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to workspace2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: contents = get(hObject,'String') returns workspace2 contents as cell array
%         contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from workspace2

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function EditDoF1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to EditDoF1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else

```

```

        set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
    end

function EditDoF1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to EditDoF1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of EditDoF1 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of EditDoF1 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function EditDoF2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to EditDoF2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function EditDoF2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to EditDoF2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of EditDoF2 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of EditDoF2 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function Samples_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Samples (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function Samples_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Samples (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of Samples as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of Samples as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function Title_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Title (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function Title_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Title (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of Title as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of Title as a double

% --- Executes on button press in buttonDoF1.
function buttonDoF1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% Polar Radio DoF1
% hObject    handle to buttonDoF1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of buttonDoF1

set(handles.buttonDoF1, 'Value', 1);
set(handles.buttonDoF2, 'Value', 0);

% --- Executes on button press in buttonDoF2.
function buttonDoF2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% Polar Radio DoF2
% hObject    handle to buttonDoF2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of buttonDoF2

set(handles.buttonDoF1, 'Value', 0);
set(handles.buttonDoF2, 'Value', 1);

% --- Executes on button press in exportavi.
function exportavi_Callback(hObject, eventdata, handles)
% Export avi-check
% hObject    handle to exportavi (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of exportavi

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function dirname_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% Export Dir-Name
% hObject    handle to dirname (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function dirname_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to dirname (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of dirname as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of dirname as a double

% --- Executes on button press in exportbmp.
function exportbmp_Callback(hObject, eventdata, handles)
% Export bmp-check
% hObject    handle to exportbmp (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of exportbmp

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function editr_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to editr (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function editr_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to editr (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of editr as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of editr as a double

% --- Executes on button press in refresh.
function refresh_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to refresh (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
guidata(hObject, handles);
% if nargin & isstr(varargin{1})
%     gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
% end
%
% if nargin
%     [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
% else
%     gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
% end
initialize_gui(hObject, handles);

% ===== Werner Toplak
% ALEV-Verfahren
% Kapitel 7 - Formerhaltende Datenselektion - Das ALEV-Verfahren
% =====
% Werner Toplak, Jun. 2007
% =====
%
% Berechnung und Darstellung der EL-Matrix
%
% function [S,MLE,EL,posS,posMLE]=alev(data,n_entropy);
% data...matrix
% n_entropy...anzahl der gewünschten Entropieklassen
% export...0|1

function [S,MLE,V,EL,VS,VL,posS,posMLE,posV]=alev(data,n_entropy);

% clear all
% close all
%
% % load 0303_0304_filter_real.mat;
% % data=data/max(max(data));
% data=rand(1000,10);
% n_entropy=40;

[nx ny]=size(data); % dimensionen der datenmatrix

for i=1:nx
    MLE(i)=ljapunow(data(i,:)); % ljapunowexponeten berechnen
    S(i)=entropy(data(i,:),n_entropy); % entropie berechnen
    V(i)=var(data(i,:)); % varianz berechnen
end;

[n, S_klassenmitte]=hist(S,n_entropy); % verteilung der entropie

```



```

S_halbe_klassenbreite=(S_klassenmitte(2)-S_klassenmitte(1))/2; % halbe klassenbreite

[n2,MLE_klassenmitte]=hist(MLE,n_entropy); % verteilung von MLE in den daten
MLE_halbe_klassenbreite=(MLE_klassenmitte(2)-MLE_klassenmitte(1))/2; % halbe
klassenbreite

[n3,V_klassenmitte]=hist(V,n_entropy); % verteilung von V in den daten
V_halbe_klassenbreite=(V_klassenmitte(2)-V_klassenmitte(1))/2; % halbe klassenbreite

S_klassenobergrenze=S_klassenmitte+S_halbe_klassenbreite;
MLE_klassenobergrenze=MLE_klassenmitte+MLE_halbe_klassenbreite;
V_klassenobergrenze=V_klassenmitte+V_halbe_klassenbreite;

% MLE -----
for j=1:nx; % festlegen, in welche Klasse der jeweilige MLE-Wert fällt
    for i=1:n_entropy;
        if i==1;
            if MLE(j)<=MLE_klassenobergrenze(i);
                posMLE(j)=i; % Klassenposition
            end;
        else
            if MLE(j)<=MLE_klassenobergrenze(i) & MLE(j)>MLE_klassenobergrenze(i-1);
                posMLE(j)=i; % Klassenposition
            end;
        end;
    end;
end;

if min(posMLE)==0;
    posMLE(find(posMLE==0))=n_entropy; % Rundungsfehler bei MLE_max ausgleichen
end;

% S -----
for j=1:nx; % festlegen, in welche Klasse der jeweilige S-Wert fällt
    for i=1:n_entropy;
        if i==1;
            if S(j)<=S_klassenobergrenze(i);
                posS(j)=i; % Klassenposition
            end;
        else
            if S(j)<=S_klassenobergrenze(i) & S(j)>S_klassenobergrenze(i-1);
                posS(j)=i; % Klassenposition
            end;
        end;
    end;
end;

if min(posS)==0;
    posS(find(posS==0))=n_entropy; % Rundungsfehler bei MLE_max ausgleichen
end;

% V -----
for j=1:nx; % festlegen, in welche Klasse der jeweilige S-Wert fällt
    for i=1:n_entropy;
        if i==1;
            if V(j)<=V_klassenobergrenze(i);
                posV(j)=i; % Klassenposition
            end;
        else
            if V(j)<=V_klassenobergrenze(i) & V(j)>V_klassenobergrenze(i-1);
                posV(j)=i; % Klassenposition
            end;
        end;
    end;
end;

if min(posV)==0;
    posV(find(posV==0))=n_entropy; % Rundungsfehler bei V_max ausgleichen
end;
% EL Matrix =====
EL=zeros(n_entropy,n_entropy); % EL-Matrix initialisieren

for i=1:nx;
    EL(posMLE(i),posS(i))=EL(posMLE(i),posS(i))+1; % EL-Matrix befüllen
end;

EL_plot=EL;

```

```

EL_plot(EL_plot==0)=-max(max(EL))/10;
    EL_plot(EL_plot==0)=-6;

xb=(min(S):(max(S)-min(S))/4:max(S)); %beschriftungen
yb=(min(MLE):(max(MLE)-min(MLE))/4:max(MLE));

for i=1:5;
    xbeschriftung(i,1:length(num2str(xb(i))))=num2str(xb(i));
    ybeschriftung(i,1:length(num2str(yb(i))))=num2str(yb(i));
end;

m=figure;
    surf(EL_plot);
    xlabel('E');
    ylabel('L');
    zlabel('n');
    set(gca, 'XTickMode','manual','YTickMode','manual');
    set(gca, 'XTickLabel',xbeschriftung);
    set(gca, 'YTickLabel',ybeschriftung);
    view(60,45);
    colormap(cool);
    brighten(-1);
    shading interp;
    box on;
    hold on;
    x_plane(1:n_entropy)=n_entropy;
    y_plane(1:n_entropy)=0;
    plot3(1:n_entropy, x_plane, max(EL_plot),'k-')
    % fill3(1:n_entropy, x_plane, max(EL_plot),'k-')
    plot3(y_plane,1:n_entropy, max(EL_plot),'k-')
    title('EL-Matrix');
% VL Matrix =====
VL=zeros(n_entropy,n_entropy); % VL-Matrix initialisieren

for i=1:nx;
    VL(posMLE(i),posV(i))=VL(posMLE(i),posV(i))+1; % VL-Matrix befüllen
end;

VL_plot=VL;
VL_plot(VL_plot==0)=-max(max(VL))/10;
% VL_plot(VL_plot==0)=-21.6;

xb=(min(V):(max(V)-min(V))/4:max(V)); %beschriftungen
yb=(min(MLE):(max(MLE)-min(MLE))/4:max(MLE));

for i=1:5;
    xbeschriftung(i,1:length(num2str(xb(i))))=num2str(xb(i));
    ybeschriftung(i,1:length(num2str(yb(i))))=num2str(yb(i));
end;

m=figure;
    surf(VL_plot);
    xlabel('V');
    ylabel('L');
    zlabel('n');
    set(gca, 'XTickMode','manual','YTickMode','manual');
    set(gca, 'XTickLabel',xbeschriftung);
    set(gca, 'YTickLabel',ybeschriftung);
    view(60,45);
    colormap(cool);
    brighten(-1);
    shading interp;
    box on;
    hold on;
    x_plane(1:n_entropy)=n_entropy;
    y_plane(1:n_entropy)=0;
    plot3(1:n_entropy, x_plane, max(VL_plot),'k-')
    % fill3(1:n_entropy, x_plane, max(EL_plot),'k-')
    plot3(y_plane,1:n_entropy, max(VL_plot),'k-')
    title('VL-Matrix');
% VS Matrix =====
VS=zeros(n_entropy,n_entropy); % VL-Matrix initialisieren

for i=1:nx;
    VS(posS(i),posV(i))=VS(posS(i),posV(i))+1; % VL-Matrix befüllen
end;

VS_plot=VS;

```

```

VS_plot(VS_plot==0)=-max(max(VS))/10;
% VS_plot(VS_plot==0)=-6;

xb=(min(V):(max(V)-min(V))/4:max(V)); %beschriftungen
yb=(min(S):(max(S)-min(S))/4:max(S));

for i=1:5;
    xbeschriftung(i,1:length(num2str(xb(i))))=num2str(xb(i));
    ybeschriftung(i,1:length(num2str(yb(i))))=num2str(yb(i));
end;

m=figure;
surf(VS_plot);
xlabel('V');
ylabel('E');
zlabel('n');
set(gca,'XTickMode','manual','YTickMode','manual');
set(gca,'XTickLabel',xbeschriftung);
set(gca,'YTickLabel',ybeschriftung);
view(60,45);
colormap(cool);
brighten(-1);
shading interp;
box on;
hold on;
x_plane(1:n_entropy)=n_entropy;
y_plane(1:n_entropy)=0;
plot3(1:n_entropy,x_plane,max(VS_plot),'k-')
% fill3(1:n_entropy,x_plane,max(EL_plot),'k-')
plot3(y_plane,1:n_entropy,max(VS_plot),'k-')
title('VE-Matrix');

% ===== Werner Toplak
% Sensitivitätsanalyse - Perturbationsdiagramme
% semse.m
% Kaptiel 12 - Sensitivitätsanalyse und nichtlineare mathematische Abbildung
% =====
% Werner Toplak, Apr. 2007
% =====
%
% [p]= sense(x, y, inputname, outputname, polynomgrad, export)
% - visualisierung der abweichungswerte der sensitivitätsanalyse
% - interpolation eines polynoms vom gegebener ordnung in die sensitivitätskurven
(LMS)
% - rückgabe der polynomkoeffizienten
%
% x ... Inputänderung in %
% y ... Outputänderung in %
% inputname ... cell array mit inputbezeichnung
% outputname ... cell array mit outputbezeichnung
% polynomgrad ... gewünschte ordnung des polynoms
% exp ... 0 od. 1
% p=(inputname,polynomgrad+1,outputname)

function [p]= sense(x, y, inputname, outputname, polynomgrad, exp)

col=hsv(22);
mar={'h','o','d','v','s','^','<','>','p','+','*','.', 'x','h','o','d','v','s','^','<','>','p','+','*','.', 'x'};

n=length(outputname);
m=length(inputname);

% if m>13;
%     error('Zu viele Inputneuronen, Markerselektion in der Funktion adaptieren!');
% end;

for j=1:n;
h=figure;
hold on;
for i=1:m;
    plot(x,y(:,i,j),'Color',col(i,:),'Marker',char(mar(i)));
    p(:,i,j) = polyfit(x,y(:,i,j)',polynomgrad);
end;
grid on;
legend(char(inputname),-1);

```

```
    title(['Sensitivität auf Inputänderungen, Prognosehorizont: ',char(outputname(j))]);
    xlabel('Inputänderung in Prozent');
    ylabel('Mittlerer Einfluss auf den Output in Prozent');

    if exp==1;
        saveas(h,[pwd, '\Sensitiv ',char(outputname(j)),' ',date,'.jpg']);
        saveas(h,[pwd, '\Sensitiv ',char(outputname(j)),' ',date,'.fig']);
    end;
end;

for j=1:n; % mittelwerte der outputänderung
    for i=1:m;
        y_(i,j)=mean(y(:,i,j));
    end;
end;

for i=1:m;
    y_mean(i)=mean(y_(i,:))
end;

figure;
plot(y_mean,'bd')
xlim([1 22]);
ylim([0 16]);
set(gca, 'XTick', [1:1:22]);
set(gca, 'XTickLabel', char(inputname), 'YTick', [1:1:15]);

    xlabel(char(inputname))

% hist(y_mean,22)
```

Appendix C



Produktblatt

Verkehrsinformationsdienst
basierend auf Mautdaten



Ihr Vorsprung verpflichtet



Produktblatt

Verkehrsinformationsdienst basierend auf Mautdaten



Kontakt
 Geschäftsfeld Verkehrstechnologien
 DI Dr. Martin Linauer, MSc

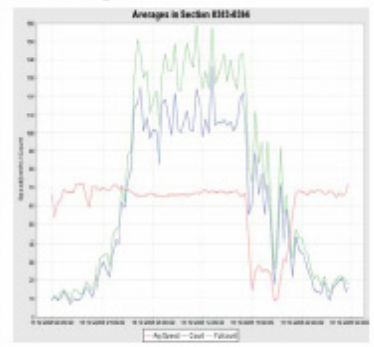
Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal Ges.m.b.H
 Giefinggasse 2
 1210 Wien, Austria
 T +43 (0) 50 550-6619
 F +43 (0) 50 550-6439
 E martin.linauer@arsenal.ac.at

www.arsenal.ac.at

Durch Nutzung von Echtzeit-Mautdaten wird ein flächendeckender hoch qualitativer Verkehrsinformationsdienst ermöglicht. Im Zuge der Umsetzung wurde auf eine weitgehende Portierbarkeit der entwickelten Technologien auf unterschiedliche Mautsysteme geachtet.

Anhand der anonymisierten Echtzeit-Mautdaten werden Reisezeiten berechnet, nachdem durch unterschiedliche Filtermethoden verfälschte Daten ausgeschieden worden sind (z.B. Reisezeiten von Fahrzeugen deren Lenker eine Pause einlegen). Die so ermittelten Informationen werden mit querschnittsbezogenen Verkehrsdaten aller Fahrzeuge (etwa aus Verkehrszählungen) kombiniert. Daraus lassen sich Aussagen über den Gesamtverkehrszustand am Straßennetz treffen und in weiterer Folge Trend- bzw. Kurzfrist-Prognosen über den aktuellen Verkehr am gesamten Straßennetz berechnen.

Die eingesetzten Methoden zur Reisezeitberechnung bzw. -prognose sind mathematische Modelle der Zeitreihenanalyse wie ARIMA- und Kalmanfiltermodelle, sowie hybride Neuro-Fuzzy Systeme der künstlichen Intelligenz.



- Features:**
- Echtzeit-Verkehrslagebild
 - Echtzeit-Reisezeitinformationen

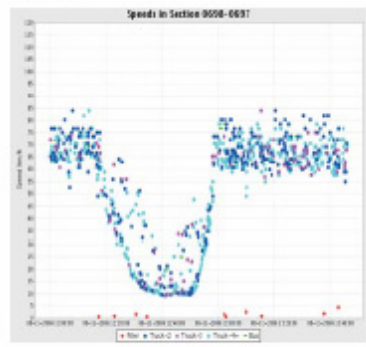


- Visualisierung:**
- WebViewer: Datenbankbasierender, durch verschiedene anzeigbare Inhalte (bapw. POI) erweiterbarer MapServer
 - WAP-Applikation: Mobile Applikation der WebViewer-Inhalte
 - Anzeige historischer Geschwindigkeits- und Verkehrsstärkeverläufe
 - Visualisierung der aktuell gemessenen Einzel-Geschwindigkeiten getrennt nach Mautkategorie

- Mögliche Dienste:**
- SMS-Dienst
 - Automatische Stauwarnung

- Interfaces:**
- RDS-TMC Schnittstelle
 - einfache Anbindung an GEWI Traffic Info Center

- Software:**
- Betriebssystemunabhängigkeit durch den Einsatz eines JAVA-Applikationsservers
 - Modularer Aufbau der Business-Logic
 - Einbindung weiterer Analysemodule im laufenden Betrieb möglich
 - Administration des Systems via Web-interface



- Besonderheiten & weitere Systemelemente:**
- Algorithmus zur Filterung unplausibler Reisezeiten
 - Berechnung historischer Ganglinien
 - Kurzfristprognosen von bis zu 2 Stunden
 - Automatische Anpassung der Prognose-Modellparameter
 - Systemkalibrierung und Umlegung der Verkehrslage auf den Gesamtverkehr

Das Verkehrsanalyzesystem wurde in Österreich bereits erfolgreich implementiert: <http://aenas.arfcd.com>

Appendix D

Businessplan: BETA₁-Converter v1.0



¹ Basic Estimation of Timeseries by means of chaotic Aspects

BUSINESSPLAN: BETA-CONVERTER V1.0	1
1 DER ERFINDER	3
2. GESCHÄFTSIDE, ZIELE UND POTENTIAL	4
2.1 Ziele für die nächsten beiden Jahre	5
2.2 Ziele für die nächsten 5 Jahre	5
2.3 Strategien zur Erreichung dieser Ziele	5
2.3 Erfolgsfaktoren	6
3. DARSTELLUNG DER DIENSTLEISTUNGEN/ DES PRODUKTES UND DER PRODUKTION	6
3.1 Beschreibung der Dienstleistungen	6
3.2 Beschreibung des Produktes	6
3.3 Beschreibung des Angebotes	7
3.4 Nutzen für die Kunden	8
3.5 Vorteile gegenüber der Konkurrenz	8
3.6 Was wird selbst produziert/geleistet bzw. was wird zugekauft?	8
4. DER MARKT	9
4.1 Größe des Marktes, geographische Abgrenzung	9
4.2 Struktur des Marktes, Eintrittsbarrieren	9
4.3 Zukunftstrends	10
4.4 Marktlücken	10
4.5 Hauptproduzent	10
4.6 Angestrebte Partnerschaft für die nächsten 2 Jahre	11
4.7 Benefits for Product Partners	11
4.8 Product Partner Qualifications	11
4.9 System Integrator Information	12
4.10 Service Partner Information	12
5. DIE KONKURRENZ	12
6. DIE KUNDEN	13
6.1 Zielgruppe	13
6.2 Kontakte und Kundenanfragen	13
7. RECHTLICHER RAHMEN	13
8. STANDORT	14
9. PERSONAL	14
10. ORGANISATION	15
11. RECHNUNGSWESEN	15
12. RISIKOABSICHERUNG	15
13. MARKETING	16
13.1. Allgemein	16
13.2 Corporate Identity, Kommunikationspolitik und Werbung	16
13.3 Kundenbindung, Vertriebswege und Preispolitik	17
14. ZEITPLANUNG	18
15. KOSTENPLANUNG	19
15.1 Kostenaufschlüsselung	19
15.2 Finanzierungsoption	19

1. Der Erfinder

DI Werner Toplak

Wenustr. 1, 4690 Oberndorf bei Schwanenstadt

Lassallestr. 22/21, 1020 Wien

Werner.Toplak@gmx.at, Werner.Toplak@arsenal.ac.at

Definition eines Wirtschaftsingenieurs (Quelle: TU-Wien)

Theoretisches Grundlagenwissen, fachspezifische Kenntnisse, verbunden mit Problemlösungskompetenz sowie Wirtschafts- und Sozialkompetenz um selbstständig Entwicklungen zu initiieren und voranzutreiben, verfügbare Ressourcen hinsichtlich ihres Einsatzes in den jeweiligen Prozessen zu bewerten und die Einführung von Technologien zu planen und zu koordinieren,

- sich schnell in neue Fachgebiete einzuarbeiten,
- interdisziplinär und innovativ tätig zu sein,
- kreativ ein Team zu führen sowie Ideen und Ergebnisse in mündlicher und schriftlicher Weise präsentieren und kompetent vertreten zu können sowie
- technische Entwicklungen in ihren sozialen, ökonomischen und ökologischen Auswirkungen abzuschätzen und für eine menschengerechte Technik einzutreten.

Ausbildung und berufliche Praxis

(nähere Details ersehen Sie im Appendix E)

- a. *Konstrukteur*: Blechbearbeitung, Fräs-, Schleif- und Sägetechnik, Automatisierungs- und Handhabungstechnik
- b. *Systemtechniker und Kybernetiker*: Künstliche Intelligenz, Verkehrstelematik, Regelungstechnik: Dr. techn. in spe
- c. *Organisationsentwickler*: Einführung der Prozessorganisation zur Dokumentation von kritischen Finanzierungsabläufen
- d. *Projektplaner*: EU und ADA bzw. FFG Projekt- und Budgetplanung in den Bereichen Entwicklungszusammenarbeit, Katastrophenhilfe und Forschung & Entwicklung.
- e. *Qualifikationen, die für dieses Vorhaben wichtig sind*: Generalist – transdisziplinäres, spezialisiertes Wissen für Wirtschaft, Physik, Mathematik, Mechatronik, Logistik, Prozesstechnik und Management.

Referenzen

- a. *Prix ATTC 2006: Chaostheoretische Analyse von Verkehrsdaten, begleitendes Paper zur β -Converter Draft Version*
- b. *Auszeichnung der Diplomarbeit vom bmvit im Bereich Logistik und Verkehr, 2006*
- c. *Gutachten von Hon.Prof. Dr. Wolfgang Katzenberger*
- d. *Projekte GoSmart und VorEWa, arsenal research*
- e. *EuropeAid-Projekte Mozambique und Ost Timor, Österreichisches Rotes Kreuz*

Motive für dieses Vorhaben

- a. Karriere: Entwicklung als Forscher, Bekanntheit, Ansehen, Prämie, Gestaltung des eigenen Arbeitsplatzes, Anerkennung, ...
- b. Firma/Partner: Prestige, Bekanntheitsgrad wird durch mächtige Partner gesteigert, eigene Arbeitsprozesse können effizienter gemacht werden. Schaffung neuer Auswertungsroutinen und Dokumentationsstandards. Verwertungsrechte mit dem Erfinder durch Anteil am Gewinn.
- c. Privatleben: Aufbau einer gemeinsamen Existenz mit meiner Verlobten. Rückzugsraum für kreative Arbeit, den es im Büro/Wien derzeit nicht gibt. Verdiensterhöhung. Win-Win Situationen für Förderer und Wissenschaftler.

2. Geschäftsidee, Ziele und Potential

Die Idee beschäftigt sich mit der Softwareentwicklung. Ein 2006 mit dem Prix ATTC 2006 prämierter Prototyp zur Analyse von Verkehrsdaten soll marktreif gemacht werden. Mit dem β -Converter für MatLab-Prototypen wurde ein Grundstein für die visuelle Untersuchung von Zeitreihen auf Basis chaostheoretischer Methoden gelegt. Visuelles Data Mining beschäftigt sich mit der Darstellung von Messwerten, damit die menschlichen Eigenschaften Intelligenz, Allgemeinverständnis und Intuition am besten eingesetzt werden können, um komplexe Zusammenhänge zu erfassen. Im Zuge einer Dissertation wurden numerische Qualitätsindikatoren aus der nichtlinearen Dynamik erprobt und in einer Erfindung vereint. Ein Patent über die intelligente Selektion von Messwertsequenzen wurde angemeldet und ist in der Begutachtungsphase. Die numerischen Algorithmen sollen in einem nächsten Schritt in den Prototypen implementiert werden. Die Benutzeroberfläche muss überarbeitet werden. Verwendung kann eine solche Toolbox in der Wissenschaftscommunity

(möglicher Projektpartner MathWorks Inc., Universitäten), bei Projektpartnern oder im Lizenzverkauf für verschiedene Firmen & Forschungslabors in den Bereichen Wirtschaft, Technik, IT und Mechatronik finden.

Die Idee entstand nach Beendigung des Studiums in der Vertiefung in der angewandten Mechanik und Studien der Kybernetik, System- und Erkenntnistheorie.

2.1 Ziele für die nächsten beiden Jahre

- a. Eine gemeinsame Existenz mit meiner Verlobten aufbauen, heiraten, Wohnung renovieren.
- b. Gewichtige Publikationen über IEEE, der European Society of Cybernetics und weitere Institutionen/Journals
- c. Weiterentwicklung der bisherigen Erfolge durch Betreuung von Diplomarbeiten
- d. Mindestens ein weiteres Forschungsgebiet, in denen die bisherigen Ergebnisse eingesetzt werden, mehr Kontakt zur Industrie und damit höheres Einkommen.
- e. Erschließung potentieller Märkte für arsenal research, z.B. in der Mechatronik
- f. Wissenschaftspreise und Förderungen
- g. Patente
- h. Wissen weiter aufbauen

2.2 Ziele für die nächsten 5 Jahre

- a. Kinder und Familie haben
- b. Gewichtige Publikationen auch in der Anwendung
- c. Gutachtertätigkeit, Beratung, Analysen in multidisziplinären Themenbereichen
- d. Keine finanziellen Sorgen, Lebensstandard
- e. Patente
- f. Wissen weiter ausbauen

2.3 Strategien zur Erreichung dieser Ziele

- a. Innovationen erfinden
- b. Rolle innerhalb der Firma definieren
- c. Angemessene Verwertungsrechte

- d. Netzwerke knüpfen
- e. Raum für kreative Grundlagenforschung, die schnell in Anwendungen resultiert. Die Forderung nach immer kürzeren Time To Market Zeiten kann erfüllt werden. Ein breites Anwendungsspektrum kann abgedeckt werden und das Rad muss nicht immer wieder neu oder unabhängig erfunden werden.
- f. Bedarfs- und Marktanalysen
- g. Wirtschaftlichkeitsanalysen
- h. Wissenschaft muss verwertbar sein und Nutzen bringen

2.3 Erfolgsfaktoren

- a. Akzeptanz durch Firmenleitung
- b. Findung zusätzlicher oder alternativer Partner
- c. Monetäre Mittel
- d. Freiraum und Vertrauen

3. Darstellung der Dienstleistungen/des Produktes und der Produktion

3.1 Beschreibung der Dienstleistungen

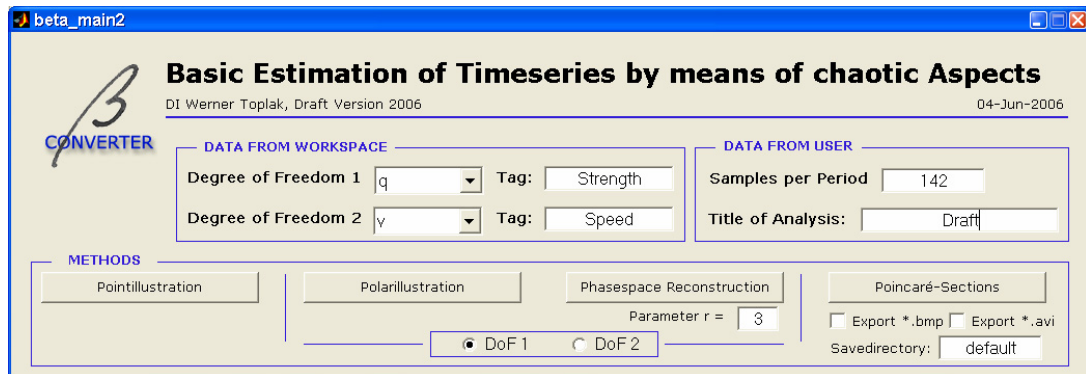
- a. Modellbildung von technisch-kybernetischen Systemen.
- b. Definition der relevanten Messgrößen
- c. wissenschaftliche Begleitung während der Datensammlung und –aufbereitung
- d. Analysen mit verschiedenen Verfahren der KI und der nichtlinearen Dynamik (Chaostheorie)
- e. Konzeption und Programmierung von Verfahren
- f. Begleitung bei der Implementierung in bestehende Systeme
- g. Begleitung bei der Technologieverwertung
- h. Akquisition neuer Partner

3.2 Beschreibung des Produktes

Der β -Converter entstand während meiner Zeit als Assistent der EU-Koordinatorin beim Österreichischen Roten Kreuz (ÖRK) im Bereich Katastrophenhilfe und Entwicklungszusammenarbeit (EZA) Juli 2005 bis April 2006. Es handelt sich dabei in seiner Grundform um ein Visualisierungstool, mit dem jegliche Art von

gemessener Zeitreihe hinsichtlich verschiedener Konzepte aus der nichtlinearen Dynamik (Chaostheorie) dargestellt werden können.

Beim Prix ATTC 2006, einem Ideenwettbewerb des Austrian Traffic Telematics Cluster, wurde der Prototyp und dessen Beschreibung (vgl. Kapitel 5) als Siegerprojekt ausgezeichnet.



In der Beschreibung des Projekts wurde auf das Potential numerischer Indikatoren aus der Chaostheorie hingewiesen und eine Implementierung für zukünftige Weiterentwicklungen in Aussicht gestellt.

Im Zuge meiner Dissertation habe ich ein Verfahren erfunden, das genau auf diesen Zugängen basiert und sich nun in der Patentanmeldungsphase befindet. Es gibt jedoch eine Reihe weiterer Indikatoren, die aus Zeitreihen berechnet werden können. Ebenso bieten sich Verfahren an, die sich mit der Ermittlung von optimalen Prognosehorizonten beschäftigen und die in dieser Dissertation vorgestellt wurden.

Ziele:

- Verstreute und separiert programmierte Algorithmen sollen im Mutterprogramm vereint werden.
- Ein interdisziplinär einsetzbares Optimierungstool soll entwickelt werden.
- Mit der Entwicklung soll der Bekanntheitsgrad von arsenal research und/oder Industriepartnern gesteigert werden. Eine Partnerschaft mit MathWorks wäre ein optimaler Rahmen hierfür. Roger Jang (ANFIS) und verschiedene Teams aus internationalen Instituten sind Beispiele für erfolgreiche Kooperationen.

3.3 Beschreibung des Angebotes

- a. Analysetool für Visuelles Data Mining hinsichtlich chaostheoretischer Aspekte
- b. Benutzeroberfläche zum Verwalten und Exportieren verschiedener Bild- und Filmformate
- c. Automatische Benennung, Skalierung und Archivierung der Visualisierungen

- d. Berechnung einer Anzahl noch zu definierender numerischer Indikatoren (Entropie, Globaler und lokaler Ljapunow-Exponent, Varianz, Einbettungsdimension, Fraktale Dimension, ...)
- e. Erweiterung der bestehenden Visualisierungstechniken
- f. Datenbankanbindung ODBC/JDBC
- g. Automatische Erstellung von Analyseberichten
- h. Export von Datenfiles im Textformat zur weiteren Verwendung für Analysezwecke in anderen Programmen

3.4 Nutzen für die Kunden

- a. MathWorks: bekommt eine Toolbox → für arsenal research!, Zuwachs des Methodenportfolios für MatLab → Konkurrenz Mathematica hat das nicht
- b. arsenal research: Patent kann gewinnbringend vermarktet werden, Nutzung von Synergieeffekten durch verteilte Forschung (Denkarbeit, Generalisierung), Image, Öffentliche Präsenz
- c. Mechatronikfirmen: kürzere Entwicklungszeiten → Time to Market!, m.E. nach völlig neue, ihnen noch unbekannt Methoden, Industrielles Data Mining

3.5 Vorteile gegenüber der Konkurrenz

Konkurrenz gibt es m.E. nach keine für diese Idee. MatLab bietet bei Version 7 insgesamt 49 Add-Ins an. Dazu kommen noch etwa 100-200 Toolboxes, die von Universitäten und Firmen (z.B. AVL, Bosch, etc.) entwickelt wurden und über die MatLab-Partnerschaft vermarktet werden.

3.6 Was wird selbst produziert/geleistet bzw. was wird zugekauft?

- Source-Code in der MatLab-Umgebung
- Benchmarkbeispiele werden zwecks wissenschaftlicher Verwertung getestet.
- Dokumentation
- Anlagen (Rechnerumgebung und Rechner) werden zugekauft oder geleast

3.7 Qualitätssicherung

- Projektmanagement,
- Regelmäßige Präsentationen bei Milestones,
- Versionsmanagement,

- Dokumentation der Algorithmenlogik
- Begleitung bei parallelem Algorithmentransfer in andere Programmiersprachen
- Publikationen in Journals und bei Kongressen bzw. Konferenzen
- Prozessorientierung bei arsenal research ISO Standard
- Erfinder ist DI des Wirtschaftsingenieurwesens für Maschinenbau, spezialisiert auf Qualitätsmanagement bei Fertigungs-, Management- und Dienstleistungsprozessen.
- Konzeption eines Lasten- und Pflichtenheftes
- Meeting bei Projektende
- Testdaten kommen von den Partnern bzw. IEEE

3.8 Benötigte Anlagen

- Desktop-Computer mit guter Rechnerleistung (Quadro-Core)
- 4 GB RAM, 2 Flatscreen Monitore, übliche Festplatte, CD/DVD-Brenner, Tastatur, Maus, etc.
- Kommunikation

3.9 Umweltschutz

- Teleworking schont die Umwelt- und die CO₂ Bilanz ☺
- Anwendungsbereiche des Vorhabens sind vielfältige Bereiche in der Optimierung.

4. Der Markt

4.1 Größe des Marktes, geographische Abgrenzung

- a. Wissenschaftliches Produkt β -Converter v1.0: weltweit
- b. Partnerfirmen: in Wien und OÖ, zunehmende Kontakte

4.2 Struktur des Marktes, Eintrittsbarrieren

- a. Partnerfirmen: kennen die Methoden nicht, wollen evt. kein Geld investieren,
- b. arsenal research: Not-Invented-Here-Syndrom, rigider Sparkurs

4.3 Zukunftstrends

- a. Die Forderung nach disziplinfremden Erklärungsmustern steigt.
- b. Die Anwendungen sind sehr breit gestreut.
- c. Die Datenbestände steigen schnell an, Datawarehouses sind gut gefüllt. Betreiber wissen oftmals nicht wonach gesucht werden soll.
- d. Die Probleme werden immer komplexer bzw. die Datenbestände immer Größer

4.4 Marktlücken

Markt muss teilweise erst gebildet werden → starke Öffentlichkeitsarbeit nötig (Publikationen, Medienpräsenz, Auszeichnungen), Bedarfsanalysen

4.5 Hauptproduzent

The MathWorks ist der weltweit führende Entwickler und Anbieter von technischer Software für mathematische Berechnungen. The MathWorks wurde 1984 gegründet und beschäftigt zur Zeit 1.500 Mitarbeiter an dem Hauptsitz in Natick, Massachusetts (USA) sowie in internationalen Niederlassungen und Vertretungen weltweit. Seit dem Gründungsjahr arbeitet das Unternehmen profitabel und ist in privater Hand. Wir sind davon überzeugt, dass unsere Firmenkultur einen entscheidenden Anteil am Unternehmenserfolg hat.

The MathWorks entwickelt, vermarktet und unterstützt MATLAB und Simulink sowie eine breit gefächerte Produktfamilie von Berechnungs-/ Analyse- und Simulations-Werkzeugen für Ingenieure, Wissenschaftler und Techniker.

Seit August 2000 wird die MATLAB-Produktfamilie in Deutschland und Österreich direkt von der neu gegründeten deutschen The MathWorks GmbH vertrieben, die den Geschäftsbereich der MathWorks-Produkte von der Scientific Computers GmbH übernommen hat.

MATLAB bildet die Grundlage für alle MathWorks Produkte. Anerkannt als führende Sprache der Industrie für technische Berechnungen, bietet MATLAB umfassende Funktionalität für mathematische Berechnungen und Visualisierung sowie eine leistungsfähige Sprache, die es Anwendern ermöglicht, ihre Aufgaben interaktiv zu erforschen, zu analysieren, Lösungen zu entwickeln und Prototypen zu erstellen.

Simulink ist eine grafische Entwicklungsumgebung auf der Basis von Blockdiagrammen zur Modellierung, Analyse und Simulation einer großen Zahl von dynamischen, nicht linearen und ereignisgesteuerten Systemen. Spezielle Toolboxes für vielfältige Anwendungsgebiete sind erhältlich.

MathWorks-Produkte werden weltweit in Industriezweigen wie Automobil, Luft- und Raumfahrt, Umwelt, Telekommunikation, Computerperipherien, Finanzen und Medizin angewendet. Unsere Anwender sind über 500.000 führende Kräfte aus

Forschung, Entwicklung und Wissenschaft in mehr als 100 Staaten der Welt auf allen sieben Kontinenten (einschließlich der Antarktis). Diese Menschen arbeiten für die innovativsten Technologie-Schmieden, staatliche Forschungseinrichtungen, Finanzinstitute und an mehr als 2.000 Universitäten. Sie vertrauen uns, weil MATLAB und Simulink die wichtigsten Werkzeuge für ihre Entwicklungstätigkeit und ihr wissenschaftliches Schaffen geworden sind.

MATLAB-Anwender verzeichnen hochwertigere und schnellere Fortschritte auf entscheidenden Gebieten. Sie erweitern unser Wissen über die Erde, die Umwelt und das Universum. Sie machen unsere Fahrzeuge sicherer und sparsamer und verbessern die Luftfahrtsicherheit. Sie machen unsere Telefongespräche verständlicher und verbessern die Genauigkeit von Messinstrumenten. Sie erzielen Fortschritte in der medizinischen Forschung und in neuen diagnostischen Techniken. Sie suchen nach neuen Energiequellen. Und sie bilden die nächste Generation von Wissenschaftlern aus.

4.6 Angestrebte Partnerschaft für die nächsten 2 Jahre

Third-Party Products (siehe Punkte 4.7 und 4.8)

4.7 Benefits for Product Partners

- a. Discounts on software purchased for development of Connections Program-approved products
- b. A listing on our Web-based Connections Program directory
- c. 24-hour access to our Connections Help Desk a restricted-access Web site for partner use
- d. Connections Program partner logos that you can include in your own collateral to show your relationship to The MathWorks and our products
- e. Sales Support Licenses for sales and marketing demonstrations
- f. Access to time-expiring MATLAB evaluation licenses for your prospects
- g. A tradeshow sign with partner logo
- h. Periodic electronic mailings with product or program information
- i. Early access to new versions of MathWorks products for development and compatibility testing
- j. Ability to deliver MathWorks products in conjunction with third-party product(s) upon request

4.8 Product Partner Qualifications

Specific requirements for Product partners in the Connections Program include:

- a. Acceptance of the Connections Program Terms and Conditions
- b. A commercial license of MathWorks software, current on our Software Maintenance Service, for use in developing and supporting your Connections Program product
- c. Two customer references that have used the MATLAB based capabilities you have created
- d. Compliance with MathWorks editorial standards including all company and product trademarks

Companies that do not yet have commercially-available support of MathWorks products and cannot provide customer reference names, but are actively developing a product that would be eligible for the Connections Program may apply as a Pre-Product partner. In addition to the Product partner requirements above, Pre-Product partners are required to:

- a. Provide a project status every 6 months to maintain Pre-Product status in the program
- b. Provide two customer references that have used the MATLAB based capabilities in order to receive full product membership with a listing in our Web-based Connections Program directory

4.9 System Integrator Information

If your company develops and delivers customer-specific, integrated software and/or hardware systems in the areas of Test & Measurement or Real-Time Systems, please visit our System Integrator Program page for more information and how to apply. (Anm.: Langfristiges Ziel kann die Entwicklung von Hardware-Anwendungen in der industriellen Forschung sein.)

4.10 Service Partner Information

If you also offer consulting or training services using MathWorks products, please visit our Service Partner page for eligibility, benefits, and how to apply. (Anm.: Mittelfristiges Ziel kann die Distribution wissenschaftlicher Werkzeuge für F&E sein.)

5. Die Konkurrenz

Wolfram Research: Hat zwar ein paar Funktionen zur Erstellung von Verzweigungsdiagrammen und Punktabbildungen, aber geringeren Marktanteil als MatLab. Das Programm Mathematica bietet lediglich 29 third party products und 15 Toolboxes an.

6. Die Kunden

- All jene Firmen/Institutionen mit Klassifikations-, Optimierungs- und Prognoseproblemen sollen angesprochen werden.
- Preis: Finanzierung der Personal- und Anschaffungskosten lt. Kalkulation, Gewinnbeteiligung bei neuen Kunden und neuen Patenten
- Vertrieb: z.B. mit MatLab, andere Partner bei Projektaquisition
- Der β -Converter ist ein Werkzeug für die Modellbildung und Systemkonzeption. Die Leistung lebt in den Produktverbesserungen.

6.1 Zielgruppe

- Kunde: kauft Dienstleistung bei aktueller Problemstellung
- Kaufbereitschaft: gut
- Zahlungsbereitschaft: individuell
- Markentreue: hoch
- Bereitschaft, für den Kauf des Produktes Aufwand in Kauf zu nehmen: individuell
- Reisebereitschaft: schlecht

6.2 Kontakte und Kundenanfragen

- Kontakte gibt es.
- Kundenanfragen gibt es.

7. Rechtlicher Rahmen

Welcher Gewerbeschein ist erforderlich?

Keiner. Ich will bei arsenal angestellt bleiben, zumindest 50%. Für ein *Developing while Researching* wäre Teleworking das einzig akzeptable bei höherer Anstellung. Enger Kontakt mit Partnerfirmen vor Ort kann sehr sinnvoll sein.

Welche Rechtsform wurde gewählt? Ausschlaggebende Kriterien für die Wahl der Rechtsform?

Entweder: Angestellter bei arsenal+Teleworking oder arsenal+Partnerfirma oder arsenal+Selbstständigkeit oder Partnerfirma +Selbstständigkeit

Ist kurz- bis mittelfristig eine Veränderung der Rechtsform geplant?

Nein

8. Standort

Gründe für die Standortwahl (Infrastruktur, Nähe zu relevanten Märkten, Kosten...)

Oberösterreich: Nähe zu relevanten Märkten, Beziehung, Familie, Umgebung, Nähe zur Natur, Kreative Zurückgezogenheit. → Kosten für arsenal: Anlagen, Fahrtkosten

2 Tage Wien: Nähe zum Projektteam, Zeit für Meetings, Wissenstransfer für Implementierung laufender Forschungsprojekte

Betriebsanlagengenehmigung und sonstige behördliche Auflagen

Teleworkingfreigabe, Arbeitsplatzrechtliche Vorschriften, Arbeitnehmerschutzgesetz

9. Personal

Wie viele Mitarbeiter werden benötigt?

1 Erfinder

Werden die Mitarbeiter voll-, teilzeit oder geringfügig beschäftigt?

Teilzeit

Welche Qualifikationen benötigen die Mitarbeiter?

Doktorat in Angewandter Informatik, Kybernetik bzw. Systemtheorie.

Sehr gute Kenntnisse in der Programmierung in MatLab.

Projekt-, Krisen- und Risikomanagement.

Bestehen schon Kontakte? Ja

Darstellung der Personalkosten: EUR 30.864,00 oder 514,4 Mannstunden

10. Organisation

Welche Aufgabenbereiche müssen abgedeckt werden?

Programmierung, Konzeption, Administration, Kostenrechnung, Controlling, Datenanalyse, (Visuelles) Data Mining, Beratung

Wer hat welche Aufgaben/Kompetenzen? Entscheidungswege?

Werner Toplak: Planung, Konzeption, Umsetzung, Dokumentation, PM

Dietrich Leihls → Anton Plimon: Entscheidungsträger arsenal research

Welche Aufgaben werden von externen Experten (Buchhalter, Steuerberater...) erledigt?

Externer Berater als Selbstständiger: Inits TU

arsenal: Controlling und Office-Support bei Projektabwicklung

Wie wird der tägliche Geschäftsablauf organisiert?

Face2Face, Telefon, Internet, Projektmanagement

11. Rechnungswesen

Art und Umfang des Rechnungswesens

Projektkostenrechnung für Zwischen- und Endbericht bzw. internes Controlling

Controlling (Plan-Ist-Vergleich, Abweichungsanalyse)

Monatlich

12. Risikoabsicherung

Welche Risiken können meiner Idee gefährden?

Ablehnung durch Entscheidungsträger arsenal, Partner

Welche Risikovorsorge wird getroffen werden (Versicherungen etc. etc.)

Salvatorische Klausel im Konsortialvertrag für Partner

Wachstumsziele des ARC-Vorstandsvorsitzenden Dr. Androsch

13. Marketing

Zeitung, Radio, Fernsehen, Gewinnung von Mathworks als Entwicklungspartner

13.1. Allgemein

Unternehmensphilosophie und Unternehmensleitbild: arsenal

Forschung, Prüfung, Wissenschaft

Wenn ich an mein Unternehmen denke, worauf bin ich stolz?

- Sehr gutes Team,
- viele nette Kollegen,
- reger Wissensaustausch und gute Diskussionen,
- Vertrauen in eigene Ideen

Wenn ich an mein Unternehmen denke, was fehlt?

- Freiraum zum Denken – drei Projektleiter im Büro. Sterile Umgebung, keine Rückzugsmöglichkeit
- Geographische Nähe Familie-Arbeitsplatz

13.2 Corporate Identity, Kommunikationspolitik und Werbung

- Logo und Firmenname: Wie werden Rechnungen, Briefpapier, Angebote und Preislisten gestaltet?



Produktlogo



Firmenlogo



Partnerlogo

- Wie wird Ihr Markteintritt gestaltet? Referenzkunden?
Partner sehr wichtig!
- Wie wird die Aufmerksamkeit der Kunden auf mein Produkt/ meine Dienstleistung gelenkt?
Eigeninitiative

- Welche Werbemaßnahmen plane ich, wie viel Werbebudget steht zur Verfügung?
Reisekosten 3.000,00 EUR für Konferenzen und Reiseaufwand
- Welcher Medien bediene ich mich?
Journals, Zeitung, Radio, Fernsehen

13.3 Kundenbindung, Vertriebswege und Preispolitik

- Wie kann ich Kontakt zu meinen Kunden halten?
Kooperation
- Wie messe ich / erkenne ich die Kundenzufriedenheit?
Meetings, Projektfortschritt
- Wie informiere ich meine Kunden (z.B. über aktuelle Angebote)?
e-mail, Besuche, Kontakt über Studien und Projekte
- Welche Vertriebswege werden benutzt (direkt, indirekt)? Vorteile, Risiken
DHL: Vt: schnell, Nt: Verlust von Datenträgern
Erfinder ist Datenkurier: sicher und periodisch
- Wie kalkuliere ich meine Preise?
Über angemessenes Bruttogehalt, das es mir ermöglicht meine Ziele für die nächsten beiden Jahre zu erfüllen.

14. Zeitplanung

Projektstrukturplan	Stunden	Tage
AP 0		
0.0 Computer aufsetzen	8	1
0.1 MatLab 7 installieren, erster Überblick	4	0,5
0.2 Import β -Converter Draft Version	2,4	0,3
0.3 Benchmarktests	4	0,5
0.4 Studium wichtiger Neuerungen für GUI design und Visualisierungstechniken bei MatLab 7	24	3
AP 1		
1.1 Funktionen konsolidieren	8	1
1.2 Auswertungsalgorithmen konsolidieren	8	1
1.3 Programmstruktur definieren	24	3
AP 2		
2.1 Studien zur fraktalen Dimension	80	10
2.2 Funktion zur fraktalen Dimension	24	3
AP 3		
3.1 Menü für Datenbankanbindung konzipieren	16	2
3.2 Datenbankanbindung programmieren	8	1
3.3 Testen	8	1
AP 4		
4.1 Menüstruktur für die Toolbox definieren	8	1
4.2 Menüstruktur programmieren	24	3
AP 5		
5.1 Features der Darstellungen konsolidieren	8	1
5.2 Featuredesign definieren	4	0,5
5.3 Featuredesign umsetzen	40	5
AP 6		
6.1 Datentransfer aus Figures in beliebige Variablen umsetzen	8	1
6.2 Workspace aktualisierbar machen	8	1
6.3 Mex-Files studieren	48	6
6.4 Mex-Files exportieren	8	1
AP 7		
7.1 Konzept für Berichte erstellen	8	1
7.2 Berichtsexport programmieren	8	1
AP 8		
8.1 Dokumentation, User Manual	48	6
8.2 Zwischenbericht	8	1
8.3 Endbericht	8	1
8.4 Erstellung von Präsentationen	12	1,5
AP 9		
9.1 Publikationen	24	3
9.2 Kongress, Konferenz	24	3
Summe	514,4	64,3

Projektdauer	Wochen	Jahre	Monate
Teleworking 2 Tage pro Woche	32,15	0,62	7,42
Teleworking 3 Tage pro Woche	21,43	0,41	4,95

15. Kostenplanung

15.1 Kostenaufschlüsselung

Kostenaufschlüsselung (EUR)	Stückkosten	Menge	Gesamtpreis
Personalkosten (h)	60,00	514,4	30.864,00
Literatur			
Getting Started with MATLAB 7: A Quick Introduction for Scientists and Engineers (The Oxford Series in Electrical and Computer Engineering)	25,90	1	25,90
MATLAB 7 für Ingenieure. Grundlagen und Programmierbeispiele (Oldenbourg Lehrbücher für Ingenieure) von Frieder Grupp und Florian Grupp	19,80	1	19,80
MATLAB & SIMULINK, R2007a3, CD-ROMs For Windows Vista, XP SP2, Mac OS X 10.4.7 or 10.4.8 and Linux	71,89	1	71,89
Rechner und Kommunikation			
19" Flatscreen Monitor	250,00	2	500,00
Tower Quadro Core 2GB RAM 200 GB HDD	400,00	1	400,00
Eingabegeräte	150,00	1	150,00
Internet		privat	0,00
Diensthandy	100,00	1	100,00
Reisekosten			
Kongresskosten	1.000,00	1	1.000,00
Auslöse	20,00	3	60,00
Unterkunft	150,00	3	450,00
		Summe	33.641,59

15.2 Finanzierungsoption

IMPULS – Grundlagenforschung für Innovationen im Verkehr

- Call for proposal wird im März 2008 erwartet
- Workshop Ende November 2007 geplant, eigene Ideen sind m.E. nach lobbyierbar.
- Programmbudget: EUR 2 Mio.
- Geplanter Finanzierungsrahmen:

Konsortium	FFG	Eigenkapital
ar+Forschungseinrichtung	100%	0%
ar+Industrie	50-75%	50-25%

- Ansprechpartner: DI Martin Russ, T +43 (0)5 7755 – 5030, martin.russ@ffg.at
- Industriepartner: Kontakte gibt es
- Forschungspartner: Kontakte gibt es

DI Werner Toplak

Lebenslauf

DI Werner Toplak,

geboren 1977, studierte an der TU-Wien Wirtschaftsingenieurwesen für Maschinenbau. Frühere Tätigkeiten lagen in der mechanischen Konstruktion von Fräs- und Trennschleifmaschinen bzw. Trennsägen für die Stahl- und Schiffbauindustrie. Als Assistent der EU-Koordinatorin beim Österreichischen Roten Kreuz bestanden seine Tätigkeiten aus der Finanzierung und Planung von Entwicklungshilfe- und Katastrophenhilfeprojekten, Personalentwicklung und der Implementierung von Prozessplanungsmethoden und -strukturen im Sektor der Internationalen Hilfe.

Bei arsenal research fokussiert er sich auf die Analyse und Beschreibung von kybernetischen Systemen, der Klassifikation und Prognose mit Neuronalen Netzwerken bzw. der Entwicklung von Data Mining- und Visualisierungstechniken mit Verbindung zur Chaostheorie. Er ist Generalist der Systemtheorie für Technik, Wirtschaft und Information. Derzeit beendet er sein Doktorstudium der technischen Wissenschaften.

DI Werner Toplak

Adresse Wenystr. 1, 4690 Oberndorf bei Schwanenstadt
Telefon +43 (0)699-11 25 61 27
E-Mail werner.toplak@gmx.at
Geburtsdatum 27. Mai 1977
Geburtsort Vöcklabruck
Nationalität Österreich
Familienstatus verlobt



Ausbildung

seit 04/2004 Technische Universität Wien
Doktorstudium der technischen Wissenschaften

Dissertation:
Neuronales Data Mining unter chaostheoretischen Aspekten in technisch-kybernetischen Systemen - Konstruktivistische Sichtweisen und Ansätze im Bereich der Verkehrstelematik

2004 - 2005 Österreichisches Rotes Kreuz
⇒ Theoretische Ausbildung zum Rettungssanitäter
⇒ Kurs: Erstellen und Abschließen von Verträgen

1996 - 2004 Technische Universität Wien
Studienzweig: Wirtschaftsingenieurwesen für Maschinenbau

⇒ 03/2004 letzter Abschnitt mit Auszeichnung bestanden

Akademischer Grad: Diplom-Ingenieur (DI)

Diplomarbeit:
Prognose mit Neuronalen Netzen, Ein Ausblick und Vergleich für die Anwendung in der Verkehrstelematik, basierend auf Daten fester Zählstellen und Floating Cars.

1991 - 1996 Höhere Technische Bundeslehranstalt Vöcklabruck
Fachrichtung: Maschinenbau-Betriebstechnik
⇒ 06/1996 Matura mit gutem Erfolg bestanden
⇒ 03/1996 REFA - Grundschein

1987 - 1991 Hauptschule II, Schwanenstadt

1983 - 1987 Volksschule, Schwanenstadt

Sprachen

Deutsch	Muttersprache
Englisch	sehr gute Kenntnisse
Spanisch	Grundkenntnisse

Berufliche Praxis

Seit 05/2006	arsenal research Abteilung: Verkehrstechnologien <i>Research: Data Mining & Chaostheorie</i>
07/2005 - 06/2006	Österreichisches Rotes Kreuz - Internationale Hilfe <i>Assistent EU-Desk</i> (Drittmittelfinanzierung für EZA- u. Katastrophenhilfeprojekte, Prozessorganisation)
07/2004 - 06/2005	Österreichisches Rotes Kreuz - Internationale Hilfe <i>Zivildienst</i> (Assistenz Human Resources, Office und Projektabwicklung, Erstellung von Berichten)
08/2003 - 12/2003	arsenal research Abteilung: Verkehrstechnologien <i>Research: Prognosen mit Neuronalen Netzen</i>
07/2002	Österr. Gesellschaft für Marketing (OGM) <i>Technischer Interviewer</i> (AVL-Benchmark und Reliability Study, Europa & USA)
07/2001 - 08/2001	PROMOT Automation (Maschinenautomatisierung) <i>Konstrukteur</i>
07/1998, 07/1999, 08/2000	Linsinger Maschinenbau GmbH <i>Konstrukteur Trennsägen und Fräsmaschinen</i>
07/1997, 02/1998	Braun Maschinenfabrik () <i>Konstrukteur Trennschleifmaschinen</i>
08/1996	hb-Technik (Bäckereisysteme) <i>Montagehelfer (Österreich und Deutschland)</i>
08/1995	hb-Technik (Bäckereisysteme) <i>Praktikant: Konstruktionsbüro</i>
07/1992, 7/1993	hb-Technik (Bäckereisysteme) <i>Praktikant: Produktion</i>

Auszeichnungen

05/2006	Prämierung der Diplomarbeit vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) im Bereich Transport und Logistik <i>Kritik: „Hohe thematische Relevanz für das Ressort, hoher Innovationsgehalt bzw. wissenschaftliche Qualität.“</i>
09/2006	Prix ATTC 2006, Innovationspreis des Austrian Traffic Telematics Clusters <i>Siegerprojekt: „Chaostheoretische Aspekte zur Analyse von Verkehrsdaten, Prototyp des β-Converters“</i>

Research- & professionelle Interessen

Neuronale Netze, Such- und Genetische Algorithmen, Fuzzy Logic, Self organizing Systems, Kybernetik, Dynamische Systeme und Chaos Theorie, Prozessanalyse und -gestaltung, Reliability Engineering, Warteschlangen-theorie, Grafik und Bildbearbeitung, Graphentheorie, Projektmanagement, Sondermaschinenbau, Ecodesign, Operations Research, (Social) Network Analysis, Systemtheorie, ...

Computerkenntnisse

MS-Office Applikationen: Word, Excel, Power Point, Access, MS-Project, Outlook, Internet, Visio ...

Konstruktion: AutoCAD, Genius, ME10, Solid Designer (ME30), Pro Engineer ...

Wissenschaftliche Applikationen: NeuroSolutions, MatLab-Simulink, Mathematica, GPSS, SPSS, Pajek, calculation4u.at (Prozessplanungsmodul), SNNS...

Programmiersprachen: Pascal, MatLab, C and C++ (Grundkenntnisse), SPS (Grundkenntnisse), CNC-Programmierung (Grundkenntnisse)

Diverse Applikationen: Adobe Photoshop, TouratechQV, MapInfo Professional, Anti Virus-Programme, Firewalls, Packprogramme, Lotus Smartsuite ...

Datenbanken: SQL, Access, pgAdmin, QuantumGIS,

Publikationen

- W. Toplak: Die Ungarnhilfe des Österreichischen Roten Kreuzes, Österreichisches Rotes Kreuz, 2005.
- G. Hartig, E. Hobsig, W. Toplak: Zwischenbilanz: 6 Monate nach dem Tsunami - Die Arbeit des Österreichischen Roten Kreuzes, Österreichisches Rotes Kreuz, Österreich, 2005.
- W. Toplak: Chaostheoretische Aspekte zur Analyse von Verkehrsdaten - Prototyp des β -Converters, Paper zum Prix ATTC 2006, Wien, 2006.
- W. Toplak, N. Hainitz, J. Asamer: Prognosen mit Neuronalen Netzen und Neuro-Fuzzy Modellen, Österreichische Gesellschaft für Artificial Intelligence, ÖGAI Journal Jahrgang 2006, Nr. 3, pp. 24-33, Volume 25, ISSN 0254-4326, Wien, Österreich, Dezember 2006.
- W. Toplak, J. Asamer, K. Din: Neural Networks supporting Causal Reasoning in Traffic Telematics, Proceedings of the 25th IASTED International Multi-Conference Artificial Intelligence and Applications, ISBN Hardcopy: 987-0-88986-629-4 / CD: 978-0-88986-631-7, February 12-14, Innsbruck, Austria, 2007.
- J. Asamer, K. Din, W. Toplak: Self Organizing Maps for Traffic Prediction, Proceedings of the 25th IASTED International Multi-Conference Artificial Intelligence and Applications, ISBN Hardcopy: 987-0-88986-629-4 / CD: 978-0-88986-631-7, February 12-14, Innsbruck, Austria, 2007.

W. Schneider, J. Asamer, M. Mrakotsky, W. Toplak: Influence of Environment Conditions on Traffic Flow, Paper for ITSC 2007, The 10th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Sept.30-Oct. 3, Seattle, USA, 2007.

Accepted

W. Toplak, A Comparison of a SOM and ALEV for Data Reduction Purposes, submitted paper, 26th IASTED International Multi-Conference Artificial Intelligence and Applications (AIA2008), Innsbruck, Austria, 2008.

Submitted

W. Toplak, How Chaos Theory improves Data Mining in Research by means of ALEV, submitted paper, 21st IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE 2008), Canada, 2008.

W. Toplak, A Principle of Shape Preservation - The ALEV Method, submitted paper, 19th European Meeting on Cybernetics and Systems Research (EMCSR 2008), Vienna, Austria, 2008.

Erfindungen & Patente

β -Converter Prototype



(BETA - Basic Estimation of Timeseries by means of chaotic aspects)

ALEV-Verfahren

(Aspects of Lyapunov, Entropy and Variance)

Österreichische Patentanmeldung A 1641/2007

Weitere Informationen & Aktivitäten

- ⇒ flexibel, kreativ & ambitioniert, soziale Kompetenz
- ⇒ Führerschein der Gruppen A und B
- ⇒ Musikinstrumente: Gitarre, E-Bass, Didgeridoo, Akkordeon
- ⇒ Hobbies: Grafik, Schnorcheln, Wandern, Lesen, Reisen ...