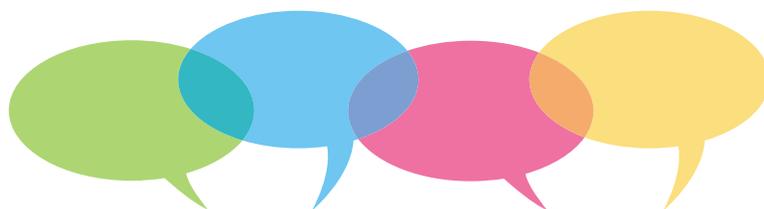


Tagungsband

Embedded Software Engineering Kongress 2022

www.esk-kongress.de



Embedded Software Engineering Kongress

Let's create ↪ something that changes everything.

Komplexe Herausforderungen in der Produktentwicklung erfordern eine effektive Entwicklungsplattform

Software- und Produktentwicklungsteams haben heute die Aufgabe, Angebote zu erstellen, die von hoher Qualität sind, sicherheitskritische Compliance- und regulatorische Standards erfüllen, preislich wettbewerbsfähig sind und schnell geliefert werden können.

Die Lösung ist ein pragmatischer Ansatz für das Management der Entwicklung - von den Anforderungen und der Modellierung über Entwicklung und Produkttests bis hin zur Freigabe. Für eine maximale Effektivität ist eine End-to-End-Sicht über den gesamten Produktlebenszyklus für alle Beteiligten erforderlich, um komplexe technische Systeme in großen Projekten zu entwickeln und zu realisieren.



Ihre Vorteile:

- Produktkomplexität managen
- Teamproduktivität verbessern
- Risiken minimieren, Vorteile optimieren
- Geringere Kosten
- Compliance und Dokumentation
- Berichterstellung und Analyse

Mehr Informationen unter:
ibm.biz/systems_engineering



Tagungsband

Embedded Software Engineering Kongress 2022

5. bis 9. Dezember 2022

Preconference 2. Dezember 2022

Kongressbeirat 2022:

Stephan Ahrends

Jan Altenberg, Open Source Automation Development Lab (OSADL) eG

Thomas Batt, MicroConsult GmbH

Maria Beyer-Fistrich, Vogel Communications Group GmbH & Co.KG

Roland Bickel, Hitex GmbH

Prof. Dr. Gert Bikker, Ostfalia Hochschule

Prof. Dr. Heinz-Peter Bürkle, Hochschule Aalen

Henning Butz, ehem. Advanced Systems Engineering Solutions ASES

Raphael Dunker, SEW-EURODRIVE GmbH & Co. KG

Michael Eisenbarth, ZF Friedrichshafen AG

Thomas Eisenbarth, Axivion GmbH

Dr. Carsten Emde, Open Source Automation Development Lab (OSADL) eG

Sebastian Gerstl, Heise Medien GmbH & Co.KG

Wolfram Gettert, Mixed Mode GmbH

Peter Gliwa, GLIWA GmbH

Marcus Gößler, MicroConsult GmbH

Dr.-Ing. René Graf, Siemens AG

Rainer Grimm, Modernes C++

Dirk Großmann, Vector Informatik GmbH

Martina Hafner, genua GmbH

Prof. Dr. Georg Hagel, Hochschule Kempten

Andreas Klinger, IT-Klinger

Maximilian Koller, iNTENCE automotive electronics GmbH

Prof. Dr. Rainer Koschke, Universität Bremen

Caren Kresse, Open Source Automation Development Lab (OSADL) eG

Dr. Thomas Kuhn, Fraunhofer Institut IESE

Wolfgang Leimbach, Willert Software Tools GmbH

Prof. Dr. Jens Liebehenschel, Frankfurt University of Applied Sciences

Dr. Jasmin S. A. Link, Universität Hamburg

Remo Markgraf, MicroConsult GmbH

Dr. Albrecht Mayer, Infineon Technologies

Prof. Dr. Jürgen Mottok, OTH Regensburg

Gudrun Neumann, SGS-TÜV Saar GmbH

Karl Nieratschker, SKT Nieratschker

Richard Oed, Richard Oed intelligent Engineering

Daniel Penning, embeff GmbH

Ingo Pohle, MicroConsult GmbH

Alfred Ressenig, RealSkills

Heiko Rießland, PLS Programmierbare Logik & Systeme GmbH

Stephan Roth, oose Innovative Informatik

Florian Schäffer, iNTENCE automotive electronics GmbH

Dr. Joachim Schlosser, Elektrobit Automotive GmbH

André Schmitz, Green Hills Software

Marco Schmid, Schmid Elektronik AG

Thomas Schütz, PROTOS Software GmbH

Prof. Dr. Christian Siemers, TU Clausthal

Peter Siwon, Systemisches Projektmanagement

Andreas Stucki, Solcept AG

Prof. Dr. Karin Vosseberg, Hochschule Bremerhaven

Klaus-Dieter Walter, SSV Software Systems GmbH

Siegfried Weigert, ibw industrieberatung

Johann Wiesböck, Vogel Communications Group GmbH & Co.KG

Andreas Willert, Willert Software Tools GmbH

Prof. Dr. Alois Zoitl, Johannes-Kepler-Universität Linz

Die Informationen in diesem Tagungsband werden ohne Rücksicht auf einen eventuellen Patentschutz veröffentlicht. Warennamen werden ohne Gewährleistung der freien Verwendbarkeit benutzt.

Die Texte und Abbildungen dieses Tagungsbandes wurden mit größter Sorgfalt zusammengestellt. Trotzdem können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Verlag, Herausgeber und Autoren übernehmen für fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische noch eine sonstige Haftung.

Für Verbesserungsvorschläge und Hinweise sind der Verlag und Herausgeber dankbar.

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und Speicherung auf elektronischen Medien. Nachdruck, digitale Verwendung jeder Art, Vervielfältigung nur mit schriftlicher Genehmigung des Verlags. Die gewerbliche Nutzung der auf der Tagung gezeigten Modelle und Präsentationen ist nicht zulässig.



Embedded Software Engineering Kongress

Copyright 2022
ELEKTRONIKPRAXIS
Vogel Communications Group GmbH & Co. KG
Max-Planck-Straße 7/9
97082 Würzburg

und

MicroConsult Microelectronics Consulting & Training GmbH
Charles-de-Gaulle-Straße 6
81737 München

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-8343-6305-3





Axivion – Ihr Partner für Statische Codeanalyse und Software-Architekturverifikation

Die Axivion Suite ist die branchenführende Lösung zur Software-Architektur-Verifikation und statischen Code-Analyse. Der Einsatz automatisierter Qualitätssicherung garantiert höchste Softwarequalität und führt zu erheblichen Zeit- und Kosteneinsparungen.

Durch Prüfungen auf Klone, Zyklen, potenziellen Laufzeitfehler, Metriken und toten Code verhindern Sie Softwareerosion in Ihren Entwicklungsprojekten. Die Axivion Suite ist hochgradig konfigurierbar und skalierbar und für den Einsatz in Safety-Projekten z.B. nach ISO 26262, IEC 61508 und IEC 62304 zertifiziert.

Unser Professional Services Team unterstützt die Integration der Axivion Suite in Ihre bestehende Entwicklungsumgebung – lokal, in Ihre CI-Pipeline oder als Teil einer cloudbasierten DevOps-Pipeline.

Software Architektur

- + Verifikation
- + Wiedergewinnung
- + Archäologie
- + UML®-Tool-Integration
- + AUTOSAR arxml-Import

Safety und Security

- + MISRA C/C++
- + CERT®
- + AUTOSAR C++14
- + CWE
- + ISO/IEC TS 17961
- + Codierrichtlinien
- + Laufzeitfehlererkennung

Compliance

- + ISO 26262
- + IEC 61508
- + IEC 62304
- + EN 50128
- + EN 50657
- + SPICE®
- + ASPICE

Inhaltsverzeichnis

KEYNOTE

- Der Mensch – ein Auslaufmodell?** 19
Frank Schmiedchen, VDW Vereinigung Deutscher Wissenschaftler e.V.
- Wissensgraphen als Superkraft für unser Gehirn** 23
Marco Schmid, Schmid Elektronik
- Daten sind nichts – Bedeutung ist alles. Dazwischen steht nur eine Transformation** 41
Henning Butz, ehem. Advanced Systems Engineering Solutions – ASES, Jork

ARCHITEKTUR

- Event-basierte Softwarearchitektur für Embedded Systems** 60
Matthias Menzi, IMT
- Architecture Decision Records** 65
Sebastian Höller, intive automotive
- Objektgetriebene Entwicklung von serviceorientierten eingebetteten Systemen** 69
Christopher Gerlach, Kutura
- Software-Architekturen in verteilten Teams** 78
Prof. Dr. Rainer Koschke, Falko Galperin, Marcel Steinbeck, Universität Bremen und Axivion

ECHTZEIT

- A Hypervisor-Cased Fault Recovery Strategy for Heterogeneous Automotive Real-Time Systems** .. 92
*Johannes Lex, Ralph Mader, Vitesco Technologies Group;
Prof. Dr. Ulrich Margull, Technische Hochschule Ingolstadt (THI)
Prof. Dr. Dietmar Fey, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU)*
- Optimizing the Influence of Network Communication on CPU Load** 99
Deepak Sudhakar, Felix Braun, Mercedes-Benz; Olaf Schmidt, INCHRON
- C++OS: Ein C++-basiertes RTOS für kleine Embedded-Systeme** 106
Detlef Vollmann, vollmann engineering

Xenomai vs. PREEMPT_RT – Echtzeitsysteme im Vergleich	114
<i>Alexander Bähr, Open Source Automation Development Lab (OSADL)</i>	
Statische Performanzabschätzung in frühen Phasen der Software-Entwicklung	123
<i>Oliver Oey und Dr. Timo Stripf, emmtrix Technologies</i>	
A New Worst-Case Timing Approach for Automotive	131
<i>Nicholas Merriam, GLIWA embedded systems</i>	
MPU-Konsolidierung mit einem Open-Source Microhypervisor	139
<i>Adam Lackorzynski, Jan Klötzke, Kernkonzept</i>	

MODELLIERUNG

Endlich erwachsen? – Die Systems Modeling Language v2	145
<i>Stephan Roth, oose Innovative Informatik</i>	
Measuring Productivity from Model-Based Development	153
<i>Juha-Pekka Tolvanen, MetaCase</i>	
Vom SysML-Element zur Busnachricht	159
<i>Malte Rahm, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Flugsystemtechnik, Braunschweig</i>	
Modellbasierte Entwicklung von Automotive Software	163
<i>Peter Schedl, IBM Deutschland</i>	

IMPLEMENTIERUNG

Die vielen Varianten von Konstantheit in modernem C++	169
<i>Rainer Grimm, Modernes C++</i>	
Dynamisch versus statische Polymorphie mit C++	177
<i>Thomas Batt, MicroConsult</i>	
Rust für Mikrocontroller	189
<i>Willi Flühmann, Noser Engineering</i>	
Clean Code in der Praxis	195
<i>Frank Listing, VoltStorage</i>	
Move-Semantik verständlich erklärt	199
<i>Andreas Fertig</i>	

Embedded Rust	202
<i>Philipp Bormuth, awinia</i>	
Software-Tracking - eine alternative Möglichkeit des Debuggens im Feld - auch durch Kunden ..	209
<i>Andreas Foltinek, IMACS</i>	
C/C++ Projekte mit Eclipse CDT und Docker	216
<i>Moritz Strübe, MATHEMA</i>	

TEST & QUALITÄT

QA Navigation Board	223
<i>Kay Grebenstein, ZEISS Digital Innovation</i>	
Open Loop Testing	228
<i>Daniel Penning, embeff</i>	
Embedded-SW und EMV haben nichts miteinander zu tun?	234
<i>Martina Kreutz, KREUTZ EMV</i>	
Mikrokontroller Firmware in C kann man nicht testen. Oder doch?	240
<i>Oliver With, bbv Software Services</i>	
Die ungefähr 7 Todsünden der Software-Qualität	243
<i>Thomas Eisenbarth, Daniel Simon, Axivion</i>	
Risikobasiertes Testen	245
<i>Dr. Tobias Röhm, CQSE</i>	
Einsatz statischer Analysewerkzeuge jenseits klassischer Regelprüfung	252
<i>Sebastian Krings, Axivion</i>	
Hardware-in-the-Loop und Continuous-Integration – wie passt das zusammen?	258
<i>Thomas Schütz, PROTOS Software</i>	

FPGA & CORE

Effiziente Accelerator Kernel Generierung mit High Level Synthesis (HLS)	264
<i>Alexander Flick, PLC2</i>	
Novel Machine Learning Compilation for AMD's ACAP Devices	271
<i>Maximilian Odendahl, AMD</i>	

PERFORCE

Accelerate Embedded Software Development with Perforce Static Analysis Tools

For Safe, Secure, High-Quality Code. Faster.



klocwork

+



HelixQAC

Find out why Helix QAC and Klocwork are trusted by industry leaders across the globe.

perforce.com/static-analysis

Aktuelles zum neuen Cortex-M85	276
<i>Remo Markgraf, MicroConsult</i>	
RISC-V Implementierung in FPGAs	283
<i>Joachim Müller, Efinix</i>	

MACHINE LEARNING, KI

Multi-Objective Yield Optimization for Electrical Machines	284
<i>Morten Huber, Dassault Systemes Deutschland</i>	
Trusted AI	293
<i>Prof. Dr. Marianne von Schwerin, Technische Hochschule Ulm</i>	
Künstliche Intelligenz und Cybersecurity	299
<i>Dr. Carmen Kempka, WIBU-SYSTEMS</i>	
Systematischer Einsatz von KI-Verfahren in industriellen Anwendungen	304
<i>Dr. Thomas Usländer, Fraunhofer IOSB</i>	

OPEN SOURCE

Was muss ich vom Urheberrecht verstehen, um FOSS in Produkten zu verwenden?	311
<i>Carsten Emde, Open Source Automation Development Lab (OSADL)</i>	
FOSS lizenzkonform vertreiben	319
<i>Jan Altenberg, Open Source Automation Development Lab (OSADL)</i>	
FOSS Compliance Materialien teilen und wiederverwenden	326
<i>Caren Kresse, Open Source Automation Development Lab (OSADL)</i>	
Standard-Checklisten für FOSS-Lizenzpflichten	331
<i>Carsten Emde, Open Source Automation Development Lab (OSADL)</i>	
ROS 2 in Embedded-Systemen	339
<i>Horatiu O. Pilsan, Robert Amann, Lukas Pscherer, FH Vorarlberg</i>	
Integration von Bestands- und Live-Daten einfach machen	345
<i>Frank Schnicke, Fraunhofer IESE</i>	

Develop Your Software to the Highest Levels of Safety and Security



AUTOMOTIVE ISO 26262 ASIL D

AVIONICS DO-178/ED-12 DAL A

MEDICAL FDA Class III

INDUSTRIAL IEC 61508 SIL 3

RAILWAY EN 50128 SIL 4



For 40 years, world-class companies have trusted Green Hills Software's integrated software platforms, engineering services, and certification experts as the foundation to develop and deploy next-generation embedded systems with confidence to the highest levels of safety and security.

Call us on [+49 228 4330 777](tel:+492284330777) or contact us at ghs.com/go/contact

Zephyr - Der kleine Bruder vom Tux	346
<i>Andreas Klinger, IT-Klinger</i>	

Google UI-Framework Flutter für Embedded	351
<i>Hannes Winkler, KDAB Deutschland</i>	

SAFETY

Effizienter Umgang mit externen Software-Bibliotheken in Safety-relevanten Projekten	356
<i>Rudolf Grave, TASKING Germany</i>	

Safety & Security by Design	359
<i>Dr. Markus Fockel, Roman Trentinaglia, Fraunhofer IEM</i>	

Enabling safety on high-performance computing systems	365
<i>Abdelillah Ymlahi Ouazzani, Guillaume Cordon, Simon Dürr, Elektrobit Automotive</i>	

Functional Isolation for Microcontroller-Based Safety-Critical Software	373
<i>Trevor Martin, Hitex</i>	

Risk Analysis vs. Risk Management	388
<i>Tim Jones, exida.com</i>	

Nutzung von nicht-konformanter Software in kritischen Systemen	393
<i>Ralf Gerlich, Rainer Gerlich, Dr. Rainer Gerlich System and Software Engineering (GSSE) Michael Bädorf, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Raumfahrtagentur (DLR-RFA)</i>	

Tackling Design Changes with MBSE and the AMALTHEA Platform	402
<i>Nuno Silva, Carlos Silva, Critical Software</i>	

Software Reuse	409
<i>Andrew Banks, Mark Pichford, Chris Tapp, LDRA</i>	

SECURITY

Cybersecurity – The Good, the Bad and the Ugly	417
<i>Jürgen Mottok, OTH Regensburg Software Engineering Laboratory for Safe and Secure Systems (LaS³)</i>	

Cybersecurity: Fuzz Testing meets Static Code Analysis	428
<i>Dr. Martin Becker, Sonja Krzok, The MathWorks</i>	

Cybersecurity: Wie mit Normen und Anforderungen umgehen?	434
<i>Matthias Spranz, Hitex GmbH</i>	

Security-Analyse mit STRIDE	440
<i>Jürgen Messerer, bbv Software Services</i>	
Security oder Features? Es geht auch beides!	447
<i>Erik Derr, comlet Verteilte Systeme</i>	
Compiler Security Extensions against Buffer Overflow Attacks	452
<i>Robin Boch, Stefan Hackenberg, Infineon</i>	
Wie steigern ich systematisch die Security-Kompetenz im Maschinen- und Anlagenbau?	460
<i>Thorsten Koch, Sven Merschjohann, Dr. Stefan Dziwok, Fraunhofer IEM</i>	
Qualität und Sicherheit durch vertrauenswürdige Lieferketten	465
<i>Ramon Mörl, itWatch</i>	

FORSCHUNG & INNOVATION

A Herd of Dumb Models for Safety Related Image Classification	470
<i>Nicholas McGuire, Opentech EDV Research</i>	
Embedded HMIs – Berührungslos in die Zukunft	472
<i>Cindy Eggers und Justina Krawczyk, macio Frank Behrmann, HY-LINE Computer Components Vertrieb</i>	
Quantenresistente Kryptographie	478
<i>Dr. Carmen Kempka, WIBU-SYSTEMS</i>	

AUTOMOTIVE, KI

Affordable Embedded AI for Control Applications on MCUs	483
<i>Florian Hauer, Kajetan Nürnberger, Jürgen Schäfer, Infineon Technologies</i>	
Virtual Integration of two Worlds	490
<i>Dr. Jens Zimmermann, Capgemini Engineering</i>	
Die Zukunft der Mobilität ist Software-defined	497
<i>Andreas Riexinger, Bosch Engineering</i>	
Step to Virtual HW/SIL Integration	502
<i>Dr. Joachim Schlosser, Seyed Hami Nourbakhsh, Elektrobit Automotive</i>	
Risiken im Lebenszyklus der AI	512
<i>Eduard Dojan, SGS-TÜV Saar</i>	

V2X: Ecosystem für das Internet der Fahrzeuge?	517
<i>Lennart Petsch, Florian Pramme, Prof. Dr. Gert Bikker, Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften</i>	
Risk Assessment Based on ISO/SAE 21434:2021	522
<i>Dr. Thomas Liedtke, KUGLER MAAG CIE</i>	
Writing Safety-Critical C++ for Automotive Systems	529
<i>Simon Hoinkis, Apex.AI</i>	

IOT, INDUSTRIE 4.0

IoT ist mehr als nur „irgendwas mit Internet“	536
<i>Georg Haupt, oose Innovative Informatik</i>	
Flexibler und kontinuierlicher Einsatz von Künstlicher Intelligenz	537
<i>Hoai My Van, Fraunhofer Institut für Kognitive Systeme IKS</i>	
Cloud(id)IoT	542
<i>Chris Blättermann, VoltStorage</i>	
Datenzentrierter Ansatz – Data Cleaning und synthetische Daten für KI – Anwendungen	546
<i>Dr. Duc Tam Nguyen, Aimino Tech</i>	

AGILE TRANSFORMATION

Agile Transformation	552
<i>Christoph Schmiedinger, borisgloger consulting</i>	
Agile Software-Architektur - die Quadratur des Kreises?	557
<i>Alexander Eisenhuth, Eisenhuth Software Engineering</i>	
Agilität – Stolperfallen auf dem Weg zur erfolgreichen Digitalisierung	563
<i>Dr. Matthias Müller, macio</i>	
Digital Thread	567
<i>Johannes Trageser, Andreas Willert, SodiusWillert</i>	

SOFTWARE ENGINEERING MANAGEMENT

Die Sicherheit von Software Supply Chains in IoT und IIoT wird zum wichtigsten Wirtschaftsfaktor	573
<i>Mirko Ross, Konrad Buck, asvin</i>	
Konsistenz in kollaborativen Architekturen sichern	579
<i>Florian Beer, Robert Bosch; Andreas Gaiser, Axivion</i>	
Optimieren der Softwarequalität im kollaborativen CI- und DevOps-Umfeld	589
<i>Ingo Nickles, Vector Informatik</i>	
ISO 27001: Zertifizierung als Qualitätsmerkmal	598
<i>Max Perner, Infoteam Software</i>	

MENSCH – MANAGEMENT – TEAM

Ohne Bonussystem macht jeder, was er will – oder?	599
<i>Florian Schäffer, Grollmus München</i>	
Die nächste Generation Embedded-Software-Ingenieure	605
<i>F. Leitner-Fischer, T. Kibler, DHBW Ravensburg; H.J. Herpel, H. Selegrad, Airbus Defence and Space; B. Petersen, Diehl Aerospace</i>	
Remote Work für Community-Driven Software Testing	611
<i>Hermann Bayala, Rohde & Schwarz</i>	
Wieviel Demokratie vertragen Prozesse?	614
<i>Andreas Stucki, Solcept</i>	
Ist Embedded-Entwicklung altmodisch?	619
<i>Tobias Kniep, Zühlke Engineering</i>	
Abschalten? Geht es noch?	626
<i>Dr. Jasmin S. A. Link, Universität Hamburg</i>	
Lasst uns die Welt retten – eine Firma nach der anderen	632
<i>Thomas Schütz, PROTOS Software</i>	

TIPPS – TRICKS – LÖSUNGEN

Static Analysis for Effective and Efficient Reviews	637
<i>Axivion</i>	
Freedom from Interference	637
<i>Axivion</i>	
Die Integration der AUTOSAR-C++-Kodierungsrichtlinien in MISRA C++	637
<i>Perforce Software</i>	
Laufzeitanforderungen: Wie erfassen, wie absichern?	638
<i>GLIWA embedded systems</i>	
Integration of Safety Related and Non-Safety Related Functionality on the Same HW (Mixed Criticality on a Single HW)	639
<i>Real-Time Systems</i>	
Shift-left Testing with VectorCAST & Continuous Integration	639
<i>Vector Informatik</i>	
Batterie-Management-Systeme erfolgreich entwickeln	640
<i>Hitex</i>	
Setting the Bar for Embedded Development with Qt	640
<i>Qt Group</i>	
Introduction High Tech Institute	640
<i>High Tech Institute B.V.</i>	
Understand the Impacts of Changes, and how Best to Maintain Integrity and Sustainability	641
<i>Emenda</i>	
The Challenge of Scalability for Functionally Safe Software Systems	641
<i>Green Hills Software</i>	
Trace Your System with the Smallest Overhead	642
<i>Green Hills Software</i>	
MISRA C and ISO 26262 – What’s New?	642
<i>LDRA</i>	
5 Schritte zum Erfolg bei der Konsolidierung von Mixed-Criticality-Systemen mittels Hypervisor	642
<i>BlackBerry QNX</i>	
Security im Variantenwald	644
<i>Razorcat Development</i>	

Warum sollte ich testen?	644
<i>QA Systems</i>	
Sourcecode besser verstehen durch neue Blickwinkel	645
<i>Willert Software</i>	
Abgeschätzte Timing-Informationen während der Programmierung nutzen	645
<i>Emmtrix Technologies</i>	
Erfolgsfaktoren im Agilen Requirements Engineering	646
<i>IBM</i>	
Model Driven Development: Mit Rhapsody modellbasiert ein Reaktionsspiel entwickeln, implementieren und testen	646
<i>IBM</i>	
When Is the Right Time to Outsource Engineering Services?	646
<i>IMT Information Management Technology</i>	
Kontinuierliche Testautomatisierung für Motorsteuerungssysteme	647
<i>PROTOS Software</i>	
Accelerating Embedded UI Development with a Parallel Development Workflow	648
<i>Crank AMETEK</i>	
Software Architecture	648
<i>MathWorks</i>	
Wie kann ich meine Mikrocontroller-Treiber testen?	649
<i>embeff</i>	
Code-Coverage-Messung mit Testwell CTC++	649
<i>Verifysoft Technology</i>	
Druckbetankung	649
<i>macio</i>	
Firmenverzeichnis: Alle Goldsponsoren und Eventpartner von A bis Z	651

Der Mensch – ein Auslaufmodell? *

Zwischen Transhumanismus und menschenzentriertem Zukunftsbild

Frank Schmiedchen, VDW Vereinigung Deutscher Wissenschaftler e.V.

Die immer deutlicher werdende digitale Weltordnung wirft fundamentale Fragen zu unserem Selbst- und Menschenbild auf, ebenso wie für die Zukunft der Menschheit. Dies alles trifft vor allem in westlichen Gesellschaften auf Bevölkerungen, deren kulturelles, religiöses und gemeinschaftliches Selbstverständnis sich seit Jahrzehnten systematisch abschwächt. Es ist der Menschheit in den letzten 150 Jahren gelungen, zuvor unvorstellbare Fortschritte zu erreichen. Menschen leben erheblich länger und mit höherer Lebensqualität. Erfindergeist und Kapitalismus haben das seit 1870 erreicht, wenn auch verbunden mit verheerenderen Kriegen und fortgesetzter Ausbeutung. Um dem Einzelnen mehr Möglichkeiten zu persönlicher und wirtschaftlicher Entfaltung zu geben, wurden spirituelle, familiäre und gemeinschaftliche Räume, die das Leben sinnvoll eingebettet und sozialen Schutz gewährt haben, zunehmend aufgegeben. Dies führt bereits seit einigen Jahrzehnten vermehrt zu Vereinsamung und psychischen Störungen, was sich seit der breiten Nutzung sozialer Netzwerke noch deutlich verschärft hat.

Der Mensch wächst in seinen Möglichkeiten, indem er Dinge erfindet, die seine Leistungsfähigkeit verbessern. Vor allem im Kapitalismus spielt dabei der Wettbewerbsgedanke eine zentrale Rolle. Menschen empfinden sich in einem permanenten Wettkampf, wer erfolgreicher, klüger, schöner o.a. ist. Dieses Grundmotiv individualisierter Konkurrenz ist heute durch eine potentiell allgegenwärtige digital-soziale Vernetzung zur Quelle eines permanenten Defizitgefühls geworden. Es ist ein subjektiv empfundenes Defizit gegenüber geglaubten oder tatsächlich Konkurrierenden, aber auch gegenüber dem theoretisch maximal Möglichen.

Eine noch junge Form menschlicher Selbstverbesserung stellt die ständige physische Verbindung von Mensch und digitaler Technik dar, um Wissen, Fähigkeiten oder Fertigkeiten zu verbessern, zu unterstützen oder wiederherzustellen. Dies ist die konsequente Weiterentwicklung externer digitaler Werkzeuge insbesondere des Smartphones und der Wearables. Insbesondere Neuro-Verbesserungen können dabei substantielle Auswirkungen auf Bewusstsein und Persönlichkeit haben; auch dadurch, dass Manipulationen durch Hacker möglich sind. Vor allem Neuroimplantate zur Unterstützung Aufgaben übergreifender Fähigkeiten, der Wissensaneignung und Wissensverarbeitung können psychische, kognitive und geistige Veränderungen auslösen und haben deshalb ethische Implikationen. Solche Neuroimplantate sind Mensch-Maschine-Schnittstellen, die menschliche Nerven direkt mit elektronischer Technik verbinden und dem Austausch von elektrischen Signalen zwischen dem Gehirn und den jeweiligen technischen Geräten dienen. Es wird zwischen ableitenden und stimulierenden Systemen unterschieden, wobei die Tendenz zur Kombination beider Funktionen geht.

Ist das nun die geschichtlich zeitgemäße Form menschlichen Strebens nach Selbstverbesserung oder eine neue Qualität, die letztlich das Menschsein als solches in Frage stellt? Eine solche neue Qualität wäre immer dann gegeben, wenn Eingriffe eine Verschmelzung von Technik und Mensch bewirken, in deren Folge sich Personen und Identitäten verändern - bis hin zur Umwandlung in optimierte Kreaturen (transhumane Cyborgs). Zugleich bewirken digitale Neuro-Verbesserungen eine Konvergenz von Mensch und Maschine und legen die Frage nah, inwieweit die Grenzen des Menschseins überschritten werden. Dem liegt auch die tiefergehende Frage zugrunde, ob und auf welcher Ebene es einen unüberwindbaren Unterschied zwischen Mensch und Maschine gibt, und worauf dieser gründet.

Die Diskussion hierzu wird vor allem von und mit Vertretern des Utilitarismus, des Transhumanismus und des technologischen Posthumanismus geführt.

Für Anhänger des Utilitarismus, die sich zum Thema menschlicher Selbstverbesserung äußern, sind alle im Ergebnis nützlichen (digitalen) Verbesserungen des Menschen zwingend anzuwenden, es sei denn, dass sie zwar dem Einzelnen nützen, aber dem Wohlergehen Anderer oder der Allgemeinheit schaden. Ein Unterlassen nützlicher, digitaler Verbesserungen wäre widernatürlich und unethisch. Das menschliche Leben soll in seiner natürlichen Lebensspanne in jeder möglichen Form maximal verbessert und diese Lebensspanne maximal verlängert werden.

Die sich vor allem in den letzten Jahrzehnten im angelsächsischen Raum verbreitende Denkströmung des Transhumanismus ist äußerst vielfältig. Übereinstimmend wollen alle Transhumanisten die menschliche und kosmische Evolution kulturell-technisch beschleunigen und verbessern. Alle aus menschlicher Kreativität entstammenden sozio-technischen Evolutionsschritte werden als natürlich angesehen, auch wenn das Ergebnis biologisch-technischer Synthese eine andere Kreatur wird. Das zugrundeliegende paradoxe Menschenbild sieht den Menschen einerseits als unvollkommen an und betont die Notwendigkeit zur Selbstverbesserung. Andererseits sind es die Menschen, die den Kosmos erwecken können und sollen, und diesem damit erst seinen Sinn geben. Der transzendente, aber auch eugenische Ansatz zielt auf etwas, das jenseits des Menschen liegt, aber von ihm erreicht werden kann. Dieses Menschenbild kommt dem Nietzsche'schen Übermenschen sehr nah und wirbt mit dem verlockenden Angebot: Hat die erste kognitive Revolution den Affen zum Herren der Welt gemacht, so wird die zweite kognitive, transhumanistische Revolution den Menschen zum Herrn der Galaxis erheben. Transhumanisten wollen also die Verbesserung menschlichen Lebens auf einer höheren Evolutionsstufe und das Anthropozän so weiterentwickeln.

Demgegenüber ist die Menschheit für technologische Posthumanisten nur ein notwendiger Zwischenschritt zu höheren nicht-menschlichen, aber mensch-induzierten Intelligenz- oder Lebensformen, die den Kosmos letztlich erwecken werden. Posthumanisten vertreten die Auffassung, dass die (letzte) menschliche Schöpfung (our final invention) in Form der singulären Superintelligenz und deren „Nachkommen“ den Kosmos erwecken werden, nicht aber der Mensch selbst. Hier unterscheidet sich der posthumanistische Ansatz grundlegend von denen der Utilitaristen oder Transhumanisten

und führt zur normativen Forderung der endgültigen und völligen Überwindung des Menschen durch seine technischen Erfindungen, da diese ihm überlegen sind. Damit aber kann der technologische Posthumanismus als eine dem heutigen Menschen gegenüber feindlich gesinnte Ideologie betrachtet werden.

Diesen drei Sichtweisen kann und wird sowohl aus humanistischer als auch aus Sicht aller Religionen die Frage gegenübergestellt, inwieweit die „Unvollkommenheit“ des Menschen und biologischer Prozesse natürlich und sinnvoll ist. Diese Frage fokussiert auf die Unverfügbarkeit und Selbstzwecklichkeit des Lebens. Alle Menschen sind miteinander verbunden und aufeinander verwiesen, wobei jedem Menschen ein nicht relativierbarer Eigenwert zuerkannt ist, den wir als Würde bezeichnen! Diese individuelle Würde ist nicht verhandelbar, sondern absolut und verbietet jedweden Druck zur Selbstverbesserung. Vor allem verbietet sie, Menschen nur in „verbesselter Form“ einen zukünftigen Lebenswert zuzubilligen und gar Maschinen einen höheren Wert zuzuerkennen als Menschen.

Maschinen können letztendlich nicht autonom handeln, entscheiden oder Verantwortung tragen. Ihre „Autonomie“ ist immer abgeleitet. Deshalb müssen die Ziele aller technischen Produkte auf diejenigen Werte hin relativiert werden, die ihnen von Menschen zugewiesen werden. Technik ist in einer solchen Betrachtung rein instrumentell und ihre Dienlichkeit ist essentielle Grundbedingung für ihre Rechtfertigung. Der Mensch bleibt also im Mittelpunkt!

Rund 85% der knapp acht Milliarden Menschen haben nach ihrem eigenen Selbstverständnis einen religiös fundierten Werterahmen. Demographie bedingt wird dieser Anteil (v.a. Muslime und Christen) in den nächsten Jahrzehnten deutlich wachsen. Daher sind Versuche technikorientierter Philosophien mit quasi-religiösem Unterton, den biologischen, nicht-verbesserten Menschen als suboptimal funktionierend oder als Auslaufmodell abzuwerten, weder wünschenswert noch mehrheitsfähig. Demgegenüber ist es klug, weitsichtig und zumindest für noch sehr viele Jahrzehnte dem Willen der überwältigenden Mehrheit der Weltbevölkerung entsprechend, Maschinen weiterhin als dem Menschen dienende Werkzeuge zu gestalten, und jeder Lebensform, vor allem aber uns Menschen, eine qualitativ andere und höhere Wertigkeit zuzubilligen als jedweden menschengeschaffenen Dingen. Das gilt insbesondere auch für weitere Entwicklungen auf dem Gebiet der Künstlichen Intelligenz.

*Quellen und weiterführende Literaturhinweise zu diesem Artikel finden Sie in dem Buch Frank Schmiedchen et al (Hrsg.) (2021): Wie Wir Leben Wollen – Kompendium zu Technikfolgen von Digitalisierung, Vernetzung und Künstlicher Intelligenz, Logos Verlag, Berlin: <https://www.logos-verlag.de/ebooks/OA/978-3-8325-5363-0.pdf>.

Autor

Frank Schmiedchen ist Wirtschaftswissenschaftler und lehrt seit 1992 an verschiedenen, deutschen Hochschulen zu volks- und betriebswirtschaftlichen Themen. Von 1996 bis 1999 leitete er den Fachbereich KMU-Management an der Katholischen Universität Ecuadors (Ambato). Seit 1999 ist er für das Bundesministerium für wirtschaftliche

Zusammenarbeit und Entwicklung mit multilateralen Verhandlungen betraut gewesen, u.a. von 2001 bis 2004 als Diplomat an der Ständigen Vertretung Deutschlands bei der Europäischen Union, und leitete elf Jahre das Programm zum Aufbau lokaler Pharmaproduktion und zu geistigen Eigentumsrechten. Frank Schmiedchen ist Mitglied des wissenschaftlichen Beirates der VDW (2002-2009; seit 2016) und leitet seit 2017 die VDW Studiengruppe Technikfolgenabschätzung der Digitalisierung, die sich mit Fragen der vernetzten Digitalisierung und der Künstlichen Intelligenz befasst.



Wissensgraphen als Superkraft für unser Gehirn

Kurze Time-to-Knowledge als Wettbewerbsvorteil im beginnenden Wissenszeitalter

Marco Schmid, Schmid Elektronik AG

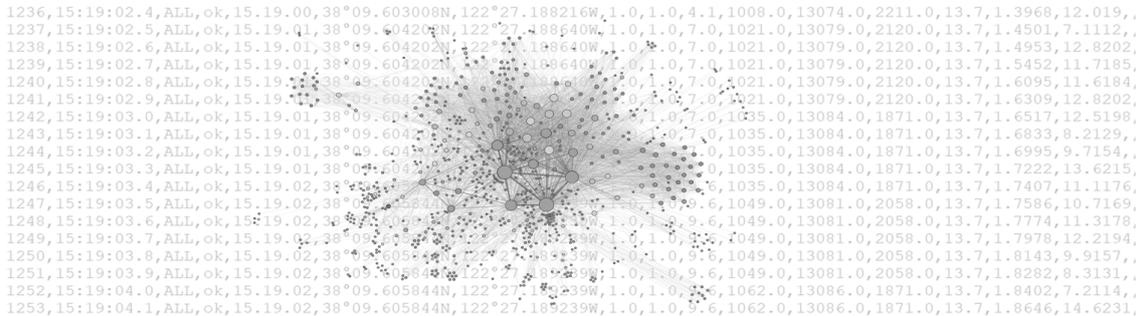


Bild 1 | Dank Raum-, Zeit- und Informationsdimension Wissen aus Daten gewinnen

Es wiederholt sich wie ein Mantra – Daten sind das Gold im Digitalzeitalter, datenzentrierte Produkte und Geschäftsmodelle sind der Schlüssel zum Erfolg. Andererseits leben wir in Umbrüchen und uns überrollt die Komplexität einer Daten- und Informationsflut und verschüttet und blockiert das wirklich Wichtige - unsere Kreativität und Erkenntnis. Die Gegensätze könnten nicht größer sein! Was wäre, wenn wir diese Komplexität zähmen und jegliche Datenflut umgehend in produktives Wissen transformieren könnten?

It repeats itself like a mantra - data is gold in the digital age, data-centric products and business models are the key to success. On the other hand, we are in times of disruption and we are overwhelmed by the complexity of a flood of data and information, burying and blocking what is really important - our creativity and insight. The contrasts could not be greater! What if we could tame this complexity and immediately transform any flood of data into productive knowledge?

Zusammenfassung

Der Schlüssel dazu ist die Superkraft einer neuen Dimension mit holistischem Verständnis vom Wesen der Dinge und ihren oft dynamischen Verbindungen. In Zeiten von steigender Komplexität und Umbrüchen wie gerade jetzt öffnet er das Tor zu relevantem Wissen mit ungeahnten Wettbewerbsvorteilen für Mensch, Team, Firma und Gesellschaft. Ein anschaulicher, praxisorientierter und nützlicher Use-Case aus dem Energie- und Mobilitätsbereich hilft uns, diesen Schlüssel zu verstehen. Wer ihn besitzt, wird die Datenflut beherrschen und komplexe Aufgaben mit heute noch unauflösbaren Netzen vielschichtig verbundener Komponenten zügig, exakt und eindeutig mit höchster Effizienz lösen können. Er wird nicht hilflos in der Datenflut herumstochern, in der Hoffnung, dort auf eine Goldader der Erkenntnis zu stoßen. Sondern er wird automatisch Ruhe, Tiefe, Gelassenheit, Überblick und Kompetenz finden und so zum Katalysator des unvermeidlichen Epochenwandels ins Zeitalter des Wissens.

Der Escaperoom als Labor und Schutzraum

Die erwähnten Herausforderungen der zunehmenden Datenflut, der neuartigen Aufgabenstellungen mit vielen **Unbekannten** und dem Lösen **verwobener Probleme** in Zeiten von **Umbrüchen** führt uns zu neuen Ufern. Dazu gehören **komplexe Systeme** und ein **Denken in Netzwerken**. Ergänzend zu **Raum & Zeit** ist eine weitere **Dimension** gefragt. Es handelt sich hier um die im Titel erwähnte **Superkraft** für unser Gehirn und bietet uns erweiterte Freiheitsgrade und neue Handlungsoptionen.

Obwohl schon seit einiger Zeit an komplexen Systemen und neuen Dimensionen geforscht wird, fehlen derzeit noch immer anerkannte Prinzipien und eine allgemein gültige Theorie und Wissenschaft. Das zwingt uns, bekannte Errungenschaften wie etwa die traditionelle Physik und die allgemeine Systemtheorie zu erweitern. Dazu braucht es Mut, sowohl vom Leser wie auch vom Schreiber dieses Beitrags. Deshalb nutzen wir den **Escaperoom**. Er dient uns erstens als Labor und zweitens als Schutzraum. Als Labor ist er eine Experimentierplattform, die uns gedanklich hilft, vergangene, ausgetretene Pfade zu verlassen und bewußt Neuland zu betreten. Als Schutzraum schottet er uns vom Lärm, den Störungen und dem bedeutungslosen Rauschen der Welt da draußen ab. So können wir uns gemeinsam auf das Wesentliche konzentrieren.

Die Rennstrecke als Gedankengerüst für eine neue Dimension

Als Format für den Escaperoom habe ich aus drei Gründen die Analogie der **Rennstrecke** gewählt:

1. Es handelt sich hier um eine typische Vertreterin eines komplexen Systems, welches gerade einen Umbruch erfährt und aktuell eine neue Dimension als Superkraft benötigt. Die Rennstrecke als Use-Case dient uns also als Gedankengerüst und schlägt die Brücke zwischen Theorie und Praxis. Das Betriebsumfeld dieses Ökorennens ist von Professionalität, Innovation und Communityspirit geprägt und verbindet Menschen aus allen Teilen der Erde mit Spitzentechnologie. Die dahinterstehende Community besteht aus 10'000 hochmotivierten Studierenden aus dem STEM-Bereich (Science, Technology, Engineering, Mathematics), welche jährlich 500 Fachhochschulen und Universitäten aus 50 Ländern vertreten und sich als Rennteams im Wettkampf auf der Rennstrecke messen.
2. Diese Öko-Rennstrecke unterstützt eine nachhaltige Mobilitäts- und Energiezukunft. Konkret schafft der Rekordhalter die Strecke von London nach Rom und zurück mit nur einem (!) Liter Kraftstoff oder 10kWh elektrischer Arbeit. Diese Ergebnisse sind demnach wichtig für unser Leben und haben für die Zukunft dieser Welt eine immense Bedeutung.
3. Last but not least dient die Rennstrecke als „Sandbox“ für den konkreten Geschäftsalltag und lockt uns aus der Komfortzone heraus. Im neuen Normal angekommen gilt es, stabil, schnell, wendig und anpassungsfähig zu sein. Gleichzeitig ist wichtig, eine zukunftsfähige **Vision** vor Augen zu haben, einer klaren **Strategie** zu folgen, diszipliniert **Ziele** zu erreichen und gleichzeitig auf

die eigenen **Energiereserven** zu achten. Genau das vermittelt diese Rennstrecke! Schmid nutzt sie seit Jahren als wertvolle Lernquelle für die Aufbau- und Ablauforganisation, Teamwork, Information und Kommunikation sowie Technologie- und Verfahrensentwicklung im eigenen KMU-Betrieb.

Diese Rennstrecke begleitet meine Beiträge für die ESE-Community seit deren 10-jährigem Jubiläum (2017). Am Ende jeder Rennsaison teilte ich mit ihr in Open-Source-Manier die aus unterschiedlichen Blickwinkeln gelernten Erkenntnisse:

- 2017: Vermitteln von Minimum Viable Products (MVPs) und Microservices [1]
- 2018: Wie sich Familien-KMU dank der Rennstrecke als Versuchslabor neu erfinden und sich im Markt eine Pole-Position sichern [2]
- 2019: Was Teams von Silicon Valley, asiatischer Kampfkunst & KI lernen können, um sich von der Abteilungspyramide in dezentrale Teams zu transformieren [3]

Nun ist es wieder so weit, aber dieses Mal ist es anders als früher. Das hängt direkt mit den globalen Veränderungen in den Jahren 2020 bis 2022 zusammen. Aus bekanntem Grund fanden 2020 und 2021 keine physischen Rennen statt. Also schwenkten wir in diesen zwei Jahren mit den Organisatoren auf „virtuelle“ Rennen um und nutzten dies als „Use-Case“ zum Verstehen der neuen Dimension: aus Renndaten Wissen gewinnen und so die Streckenperformance und Energieeffizienz steigern. In bewährter Manier taten wir das gleiche zuhause in unserer Firma. Im aktuellen Jahr 2022 brachten wir die Dimension in Kontakt mit der Renn- und auch der Geschäftspraxis und teilen nun die Lessons-Learned erneut mit der ESE-Community.

Damit gehen wir an die Startlinie...

Mit neuen Herausforderungen an die Startlinie

Die erwähnte **Datenflut** ist ein Symptom, welches bereits den unausweichlichen Übergang vom Industrie- ins Wissenszeitalter andeutet. Warum findet dieser genau jetzt statt? Einen wichtigen Hinweis dazu lieferte Henning Butz 2018 mit seinem ESE-Vortrag „Durch Digitale Transformation zur Fünften Dimension“ [4]. In unserer westlichen Gesellschaft handle es sich bei diesem Übergang um ein wiederkehrendes Phänomen, geprägt einerseits durch unvorhersehbare **Umbrüche** und andererseits durch erweiterte Freiheitsgrade und neue Handlungsoptionen. Begleitet wird dies durch eine die Gesellschaft nachhaltig verändernde **neue Dimension**. Dabei wirken diese Umbrüche wie auch neue, disruptive Technologien - früher wie heute - als Katalysatoren. Neuronale Netze, Machine Learning sowie Geschäftsmodelle für Digitale Transformation beschleunigen den jetzigen Übergang zur neuen Wissensepoche. Sie entwickeln eine Sprengkraft, welche die Welt in kleinste Teile zerlegt.

Darüber hinaus sehen, spüren und erleben wir seit etwa drei Jahren **Umbrüche** und deren Konsequenzen mit den zunehmenden, oft unerklärlichen Veränderungen, geopolitischen Unruhen, Krisen und Naturkatastrophen (Bild 2). Die Überlagerungen

und oft versteckten Zusammenhänge dieser Phänomene und die Ursachen der Datenflut haben einen gemeinsamen Nenner: **Komplexität!**

Komplexität überfordert uns Menschen, weil unser Gehirn und unsere Sinne nicht dafür ausgelegt sind. Nur schon, um sie verstehen zu können, brauchen wir eine Beschreibungstechnik, also einen „Übersetzer“. Wollen wir sie sogar beherrschen, braucht eine schnelle, einfach verständliche Transformationstechnik. Als Sir Isaac Newton damals die physikalischen Bewegungsgleichungen erfand, stand er vor einem ähnlichen Problem. Er brauchte ein Vokabular und eine mathematische Grundlage für die Zusammenhänge von Raum, Zeit, Massen, Energien und Kräften. So entstand die Infinitesimalrechnung.

Vision/Idee: Was wir heute brauchen, ist das Äquivalente dazu: eine mathematische „Sprache“ als Superkraft für unser Gehirn, um komplexe Systeme und komplexe Probleme mit ihren zahlreichen Komponenten und deren Interaktionen verstehen und beherrschen zu können. Die traditionelle Physik hilft uns da nicht weiter. Auch die moderne Physik mit ihren zehndimensionalen Strings und der Quantentheorie sind das falsche Vokabular, um Komplexität erklärbar zu machen.

Haben wir die Ziellinie des heutigen Rennens überschritten, kennen wir die gewünschte „Sprache“, wir verstehen die neue Dimension und ihre Anwendungsmöglichkeit und können sie im eigenen Alltag anwenden. Zuerst jedoch ist mit einem **neuen Bewusstsein die Pole-Position zu sichern...**

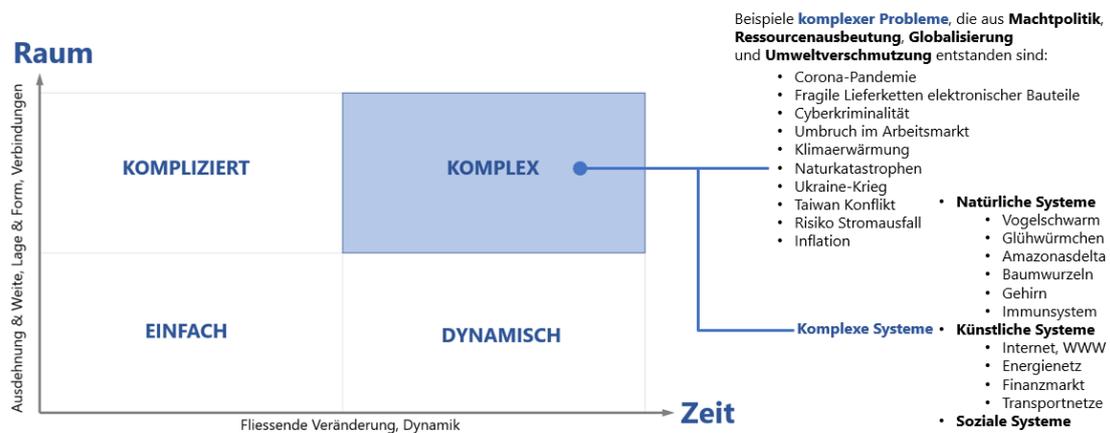


Bild 2 | Seit 2020 entstehen und überlagern sich zunehmend Effekte und Phänomene, die zum Risiko oder zur Chance werden können. Ein Unternehmer muss sie heute genauso im Auge behalten wie konstante Produkt- und Servicequalität sowie Lieferbereitschaft.

Mit neuem Bewusstsein die Pole-Position ergattern

Das Bild 2 zeigt eine angepasste Version von Dave Snowdens Cynefin-Framework, damit wir es im Kontext der Dimensionen besser verstehen. Die durch die Raum- und Zeitdimension aufgespannte Ebene ordnet ein Problem oder ein System entweder als «einfach», «kompliziert», «dynamisch», oder «komplex» ein. Die Ursachen der

Datenflut und der Umbrüche gehören zu letzterem. Die Tabelle 1 zeigt drei typische Gruppen mit je einem Beispiel dazu. Der Begriff «komplex» leitet sich aus dem lateinischen «plectere» ab und bedeutet soviel wie verwoben, vielschichtig, umfassend und zusammenhängend. Das weist bereits auf **Netzwerke** hin.

Seit einiger Zeit widmen sich visionäre Experten diesem Thema und unterstreichen in ihren Werken die Tangenten zwischen Komplexität und Information, Netzwerken und Graphen. Auch eine Verbindung und Ähnlichkeit zwischen Natur, Technik und Sozialem wird hervorgehoben:

- In ihrem empfehlenswerten Buch «Complexity – a Guided Tour» definiert **Melanie Mitchell** vom Santa Fe Institute «Komplexität» wie folgt [5]: «Ein System, in dem große Netze von Komponenten ohne zentrale Steuerung und mit einfachen Funktionsregeln ein komplexes kollektives Verhalten, eine hochentwickelte Informationsverarbeitung und eine Anpassung durch Lernen oder Evolution hervorbringen. Daraus entstehenden nichttriviale und nicht vorhersehbare, selbstorganisierende Verhaltensweisen.» Als Hintergrund und Geschichte sieht sie direkte Verbindungen zur Informationstheorie, Computer- und Datenwissenschaften, Dynamik, Chaos und Evolution (Bild 4).
- **Norbert Wiener** kam zum Schluss, dass die Theorie und Wissenschaft als Fundament für komplexe Systeme in der Verbindung von Biologie und Engineering zu suchen sind. Wir sollten uns weniger auf die traditionelle Physik, sondern stattdessen auf Rückkopplungen, Information, Kommunikation, Regelungen und Zielfunktionale konzentrieren [5].
- **Mark Burgess** ist Physiker und Computerwissenschaftler. In seinem umfassenden Werk «Smart Spacetime» sieht er, genauso wie Henning Butz, einen Zusammenhang zwischen den Dimensionen Raum, Zeit und Information. Interessant sind vor allem die Skalierungseffekte, anschaulich beschrieben anhand der Informationstechnologie. Die Raumdimension skaliert von Atomen zum Universum, die Zeitdimension von Sekundenbruchteilen zu Lichtjahren und die Informationsdimension von Bits zu Bedeutung [6].
- **Albert-László Barabási** veranschaulicht in seinem Werk «Linked» die Verbindung komplexer Systeme zu Netzwerken, die damit quasi zu deren «Bausteinen» werden [7].
- **Paul Newman** unterstreicht, dass alles auf dieser Welt verbunden zu sein scheint und verblüfft mit Ähnlichkeiten technischer, natürlicher und sozialer Netzwerke [8].

	Business	Projekte/Produkte	Rennstrecke
Einfach	Eine ganz bestimmte einfach verständliche Marktleistung, zB ein smarter Sensor im «one-Button-Approach»	Ein klassisches, nach aussen geschlossenes Embedded-System mit Microcontroller & IO	Ein smarter Sensor zur Messung von elektrischer Energie, flüssigem Treibstoff oder Wasserstoffgas
Kompliziert	Ein kombiniertes Geschäftsmodell mit Engineering, Produktion und Produkten aus einer Hand	Ein System mit vielen Komponentn wie zB das kompakte Solarkraftwerk «Sonnenblume» mit über 150 Sensoren & Aktoren an einem I/O-Netzwerk	Der Onboard-Computer des Renn-Telemetriesystems mit vielen Hardwaremodulen und Softwarestack
Dynamisch	Reaktion auf einen Naturschaden wie Feuer oder Wasser	Beispiel: akustisches Messnetzwerk mit 5-10 Knoten zur Vermessung von Pipelineschwingungen 1000m unter dem Meeresspiegel	Ein Rennfahrzeug auf der Rennstrecke, das im Optimum von Performance und Energieeffizienz betrieben wird
Komplex	Das Lösen mehrerer riskanter, externer Umwelt-Effekte, auf die wir keinen Einfluss haben und die überlagert zu einem gefährlichen Geschäftsvorfall führen können.	Die Rennstrecke mit verbundenen, energieeffizienten Fahrzeugen, die sich in mehreren Wettbewerbsformaten miteinander messen	Die zwei Rennformate «Ökomarathon» und «Weltmeisterschaft»

Tabelle 1 | Drei typische Beispiele, die nach den Raum-Zeit-Achsen (Bild 2) in «Einfache», «Komplizierte», «Dynamische» und «Komplexe» Projekte/Produkte eingeteilt werden können.

Motor starten und ab durch Raum & Zeit...

Zwischenfazit: komplexe Systeme wie der hier beschriebene Use-Case der Rennstrecke beinhalten weit mehr als die Summe ihrer Komponenten, wie das bei allgemeinen Systemen der Fall ist. Definiert wird Komplexität durch die Ausprägung der zwei Dimensionen Raum und Zeit. Raum mit der Anzahl Elemente und deren Verbindung. Zeit mit der Dynamik des Systemverhaltens. Die Lösung findet sich nicht in der Physik, sondern bei natürlichen, technischen und sozialen Netzwerken. Das ist die Welt der Informationsdimension und diese liefert die gesuchte mathematische Sprache, damit der Mensch diese neue Dimension verstehen und beherrschen kann.

Nun sind wir im Rennen, fahren durch Raum und Zeit und produzieren Daten. Wir beginnen mit der Frage, was Daten eigentlich sind. Anschliessend stellen wir uns die gleiche Frage, wenn wir mit der neuen Dimension «Information» in die Haarnadelkurve

einlenken und wie aus Daten Wissen gewonnen werden kann. Hier lernen wir die mathematische Sprache für Komplexität kennen: wie kann in einem nichtssagenden Datenfeld Bedeutung beschrieben werden und wie transformiere ich diese, damit ich dank eines neuen Geschäftsmodells einen Nutzen daraus generieren kann? Dann finden wir uns im Use-Case der Rennstrecke bereits auf der Zielgeraden und kombinieren Raum, Zeit und Information zu einem Dimensions-Kontinuum. Nach der Ziellinie befinden wir uns in der Welt des Wissens und schauen uns Beispiel an, die vom Menschen zum Team und der Firma bis zur Gesellschaft skalieren. Wir schliessen mit einem De-briefing des Rennens ab und konzentrieren uns auf die nächsten Schritte.

Dank Daten immer die eine Nasenlänge voraus

Was sind Daten überhaupt? Wie entstehen sie vor Ort? Wie können sie von der physischen Ebene in die Informationsebene und wieder zurück transportiert werden?

Daten sind das Rohöl der modernen Wissensgesellschaft und als Rohstoff an sich wertlos. Erst wenn man die Struktur kennt, entfalten sich die Potentiale. In unserem Anwendungsfall entstehen die Daten in Fahrzeugen auf der Rennstrecke und werden per Telemetrie in die Informationsebene übertragen. Konkret verbindet sich ein Embedded-System über mehrere Sensoren mit dem Motorraum und dem Cockpit und dient als Portal zwischen der physischen und der virtuellen Welt. Sobald die Fahrzeuge ihre Runden drehen, werden die Daten im Sekundentakt an einen IoT-Cloudserver geschickt. Dieser verarbeitet sie und unterhält damit live einen Digitalen Zwilling. Dieser dient einerseits den Technikern, um das Rennszenario zu überwachen. Andererseits zeigt er einem mitfiebernden Publikum auf einer Live-Rangliste und digitaler Streckenkarte an, wie sich das Rennen entfaltet. Nach jedem Rennen werden die Daten analysiert, die Rennperformance und Energieeffizienz optimiert, und zwar von Saison zu Saison, von Event zu Event, von Rennen zu Rennen und von Runde zu Runde (Bild 3).

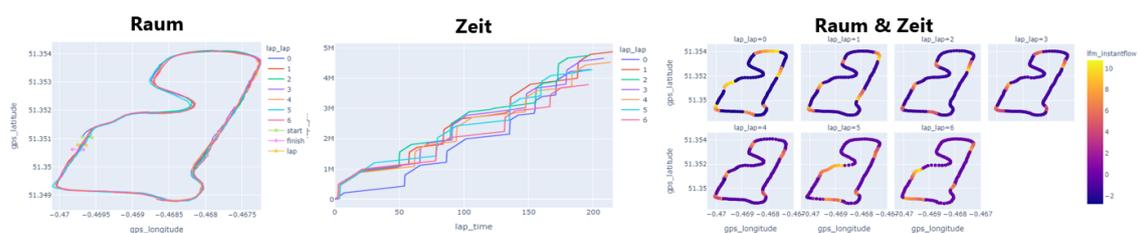


Bild 3 | Analysieren die Teams ihre Renndaten in Raum (links) und Zeit (mitte), gewinnen sie bereits wertvolle Erkenntnisse, ob eine gefahrene Runde energieeffizient war oder nicht. Kombinieren sie Raum mit Zeit (rechts), so gibt's bereits Hinweise, warum die Fahrt energieeffizient war.

Analysen von Sensorsignalen in der Zeitdimension wie etwa der Energieverbrauch in Funktion der Zeit sind uns allen bekannt (Bild 3 Links). Algorithmen und Transformationen wie etwa die Fast-Fourier-Transformation helfen uns, daraus Nutzen zu generieren. Auch Raumsignale wie GPS-Trajektorien sind bekannt, vor allem, wenn sie auf die einzelnen Runden eines Rennens heruntergebrochen werden können (Bild 3

Mitte). Interessant wird's nun, wenn wir die Zeit- und Raumdimension zusammenführen und damit zum Energieverbrauch pro Runde gelangen (Bild 3 Rechts). Kommt jetzt noch die **Informationsdimension** ins Spiel, dann erkennen wir Muster und lernen, warum wir in den einzelnen Runden wieviel Energie verbrauchen. Dieses Wissen, wie einzelne Streckenabschnitte, z.B. Kurven, optimal befahren werden, resultiert in höchste Performance und damit erreichen wir die Haarnadelkurve.

Mit Vollgas in die Haarnadelkurve der Informations-Dimension

An dieser Stelle lernen wir, warum Information ähnlich wie Raum und Zeit die Qualität einer Dimension hat und wie sich aus einer scheinbar unendlichen Datenflut Bedeutung und entscheidungsrelevantes Wissen gewinnen lässt. So verstehen wir, wie die Informationsdimension mit den Dimensionen von Raum und Zeit zusammenspielt und sich damit bei komplexen Problemen und Systemen neue Freiheitsgrade erschließen lassen.

Bild 4 zeigt den Unterschied zwischen einem einfachen und einem komplexen System. Ersteres lässt sich mit traditionellen Methoden wie etwa Reduktionismus beherrschen. Bei Letzteren sind neue Wege wie etwa die Informationsdimension gefragt.

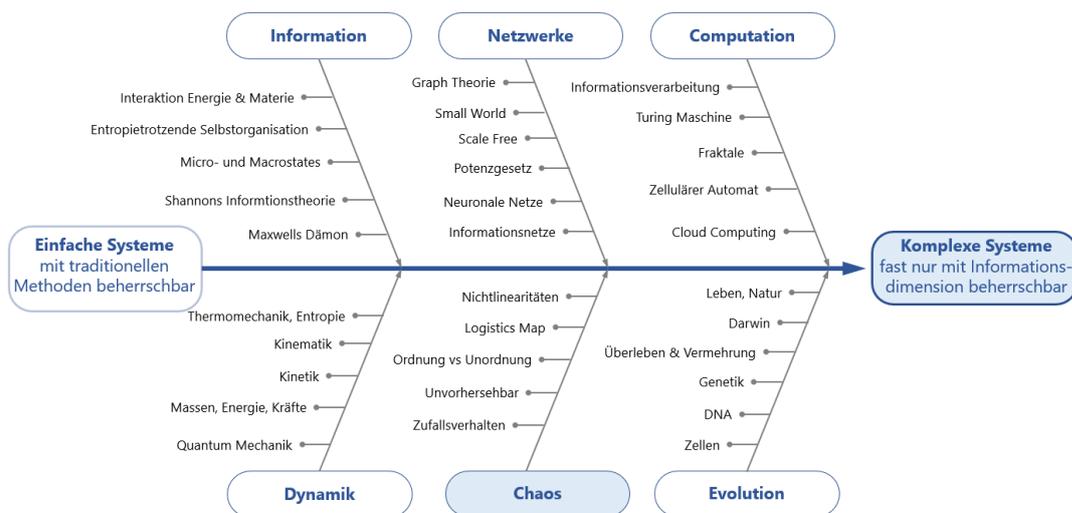


Bild 4 | Hintergrund und Geschichte von sechs Themenbereichen als Fundament zum Beherrschen von Komplexität und der Zusammenhang mit Information und Netzwerken. Zusammenfassung aus [5].

Gerade das Vorhandensein von **Chaos** im System bedeutet, dass eine Vorhersage nicht nur in der Praxis, sondern auch im Prinzip unmöglich ist. Dies trug zusammen mit der Quantenmechanik dazu bei, die optimistische Sichtweise des neunzehnten Jahrhunderts von einem Newtonschen Uhrwerk-Universum, das auf seinem vorhersehbaren Weg tickt, zu hinterfragen und dann zu erweitern (Bild 4).

Dimensionen ähneln physikalischen Feldern. Sie sind unsichtbar und benötigen ein Trägermaterial, das unseren Sinnen meldet: «Da ist was!». In diese Trägermaterialien sind Strukturen (Lage, Form, Dynamik) eingebettet, welche beschrieben werden können und die Dimension erkennbar machen. Konkret heisst das auf der Rennstrecke: GPS-Polarkoordinaten beschreiben die **Lage** und kartesische Koordinaten die **Form** in der Ausdehnung und Weite der Raumdimension der Rennstrecke. Frequenzen beschreiben die **Dynamik** des Rennfahrzeuges in der fließenden Veränderung der Zeitdimension.

Nun nähern wir uns der mathematischen «Sprache», womit sich in der Informationsdimension Bedeutung beschreiben & transformieren und Komplexität beherrschen lässt:

1. **Graphen** beschreiben die Bedeutung, also «The Real Thing» in den Daten. Die mathematische Repräsentation von Graphen sind Matrizen [9].
2. **Graphenalgorithmien** transformieren diese Bedeutungsgraphen in direkten Nutzen. Für die Rennteams heisst das eine Lösung für die gegensätzliche Zielfunktionale: bestmögliche Streckenperformance mit maximaler Geschwindigkeit und gleichzeitig höchster Energieeffizienz erreichen. Damit lässt sich ein klarer Wettbewerbsvorteil gewinnen und das Podest erreichen [10].

Dank dieser Sprache geht Information mit Raum und Zeit eine Einheit ein, indem sie an allen Orten und zu jeder Zeit verfügbar ist. Wie unser Use-Case der Rennstrecke zeigt, kann das resultierende Wissen wiederum in den Dimensionen Raum und Zeit zur kreativen Gestaltung und Manipulation der dort gültigen Strukturgrößen Lage, Form und Dynamik herangezogen werden (Bild 5).

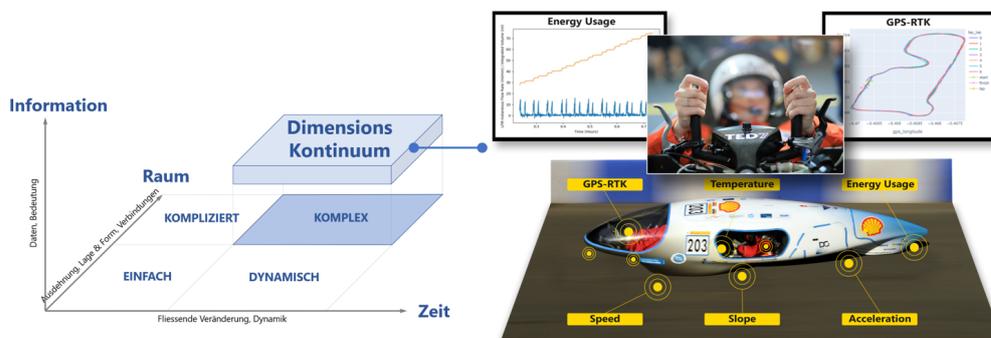


Bild 5 | Zusammenspiel im Dimensionskontinuum in Google-Maps-Manier: Renndaten aus Raum und Zeit werden live in die Informationsebene gespielt, dort transformiert und in Form neuer Stellgrößen zurück in die Realität gespiegelt.

1.Graphen beschreiben Bedeutung in Daten

Graphen im Allgemeinen und Wissensgraphen im Speziellen beschreiben das Wesen von Dingen. Sie bestehen aus Knoten – den Dingen – und Kanten, also den Beziehung zwischen diesen Dingen. Unbewusst kommen wir mit einem konkreten Wissensgraphen

täglich in Kontakt. Wenn wir im Jahr 2022 Google befragen: «wie alt ist...» führt er uns an seinem Wissensgraphen entlang, bringt von sich aus passende Vorschläge und sobald wir «Barack Obama» eintippen, kommt der eindeutige Treffer: 61 Jahre! Wie Wissensgraphen entstehen - manuell oder automatisiert - sehen wir nach der «Ziellinie» anhand von praktischen Beispielen. Auch Neuronale Netze sind (gewichtete) Graphen genauso wie das Internet und das World Wide Web.

Die Geschichte der Graphen geht auf das Jahr 1736 zurück, als der Schweizer Leonhard Euler das Problem der "Sieben Brücken von Königsberg" löste. Es ging um die Frage, ob es möglich ist, alle vier Bereiche einer Stadt zu besuchen, die durch sieben Brücken verbunden sind, und dabei jede Brücke nur einmal zu überqueren. Das war nicht der Fall. Mit der Erkenntnis, dass nur die Verbindungen selbst relevant sind, legte Euler den Grundstein für die Graphentheorie und ihre Mathematik. Wer hat's erfunden 😊 ?

Die Objekte, aus denen ein Graph besteht, werden als **Knoten** oder Scheitelpunkte bezeichnet, und die Verbindungen zwischen ihnen als **Beziehungen**, Links oder Kanten. Man kann sich die Knoten als Substantive in Sätzen vorstellen, und die Beziehungen als Verben, die den Knoten einen Kontext geben. Der einfache Graph links in Bild 6 beschreibt etwa die Story einer Paarbeziehung. Ein Graph kann leicht die reale Welt abbilden, ist "whiteboard-freundlich", also für uns Menschen lesbar und kann dank Matrizenschreibweise auch vom Computer verstanden werden. Die Beschreibung von Bedeutung in Daten ist jedoch nur die halbe Miete. Wir wollen sie nämlich auch verarbeiten, um Erkenntnisse zu gewinnen, die nicht sofort offensichtlich sind. Dies ist die Domäne der Graphenalgorithmen.

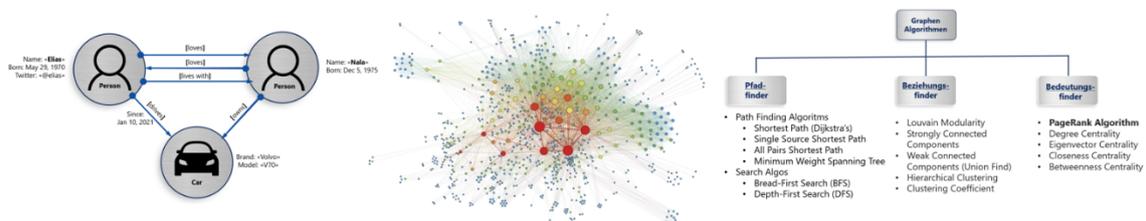


Bild 6 | Links: ein einfacher Wissensgraph. Mitte: ein komplexer Wissensgraph eines sozialen Netzwerkes. Wissensgraphen beschreiben Bedeutung im Trägermaterial «Daten» der Informationsdimension. Das hilft uns, das Wesen der Dinge zu verstehen. Rechts: Graphenalgorithmen gewinnen über eine schnelle Transformationstechnik aus der beschriebenen Bedeutung Nutzen, womit sich die Realität in Raum und Zeit manipulieren lässt.

2.Graphenalgorithmen transformieren diese Bedeutung in Nutzen

Wir unterscheiden zwischen Pfadfindern, Beziehungsfindern und Bedeutungsfindern (Bild 6 rechts). Googles PageRank-Algorithmus ist der «VIP» unter letzteren. Er sucht Webseiten ab, erstellt daraus die Google-Matrix, bestimmt die bedeutendsten Websites im Kontext einer Suche und liefert die für uns relevanten Treffer. Wie wir nach der

«Ziellinie» sehen können, lässt sich ein Pagerank auch ausserhalb von Google nutzen, etwa beim Analysieren und Verstehen des Europäischen Gas-Netzwerks.

Es gibt verschiedene Methoden: Wir können damit Graphen abfragen, grundlegende Statistiken verwenden, Graphen visuell untersuchen oder Graphen in Embedded-Software einbetten. Obwohl es Überschneidungen in der Art und Weise gibt, wie diese Arten eingesetzt werden können, beziehen wir uns beim Begriff Graphenalgorithmen auf die rechnergestützte Transformation von Bedeutung in Daten zu Nutzen. Die Graphen liegen als Matrizen vor, also sind viele dieser Transformationen Matrizenoperationen wie etwa die Eigenvektortransformation.

Graphenalgorithmen bieten einen der wirkungsvollsten Ansätze zur Berechnung vernetzter Daten, da ihre mathematischen Berechnungen speziell auf die Verarbeitung von Beziehungen und die Architektur von Netzwerken ausgerichtet sind. Sie beschreiben Schritte zur Verarbeitung eines Graphen, um dessen allgemeine Eigenschaften oder spezifische Größen zu ermitteln. Auf der Grundlage der Mathematik der Graphentheorie nutzen Graphalgorithmen die Beziehungen zwischen den Knoten und erfassen so die Organisation und Dynamik komplexer Systeme. Netzwerkwissenschaftler nutzen diese Algorithmen, um verborgene Informationen aufzudecken, Hypothesen zu testen und Vorhersagen über das Verhalten zu treffen.

Graphenalgorithmen haben ein weitreichendes Potential, das von der Betrugsprävention über die Optimierung der Anrufweiterleitung bis hin zur Vorhersage der Ausbreitung der Grippe reicht. Wir könnten zum Beispiel bestimmte Knoten bewerten, die Überlastungszustände in einem Stromnetz anzeigen oder wir möchten Gruppierungen im Graphen finden, die auf die Überlastung eines Verkehrssystems hindeuten.

Mit dem Dimensionskontinuum in die Zielgerade

In der für uns Menschen unverständlichen Flut roher Renndaten ist wertvolle Bedeutung verborgen. Und zwar für ganz spezifische Kontexte. Beispiel: wie schaffe ich es mit meinem Fahrzeug, einen Kurvenabschnitt schnell und gleichzeitig energie-effizient zu befahren? Das **bedeutet** einem Rennfahrer sehr viel, es ist sein «The Real Thing». Verfügt er über dieses Wissen, hat er einen matchentscheidenden Wettbewerbsvorteil gegenüber seinen Konkurrenten.

Die **Zielfunktionale** für die **Bedeutung** heißt: maximale Energieeffizienz in Balance mit maximaler Geschwindigkeit. Ein Wissensgraph beschreibt diese Bedeutung in den Daten als Wechselwirkung zwischen den wichtigsten fördernden (+1) und hemmenden (-1) Einflußgrößen. Damit ist ein Rennfahrer an jedem Ort im «Raum» und zu jeder «Zeit» genau «Informiert» und weiß, wie er die Strecke effizient fahren kann (Trajektorie, Geschwindigkeit) und nicht ins Schlingern gerät (Bild 7). Darüber hinaus integriert der Graph weitere Daten: Etwa Fahrzeug-, Strecken- und Wetterdaten.

Dieses Verschmelzen von Raum, Zeit und Information hilft dem Rennfahrer, auf jedem gefahrenen Meter und in jedem Kontext (Startlinie, Steigung, Gefälle, Kurve,

Zielgerade) „Eins“ mit der Rennstrecke zu sein, der Energie Richtung zu geben und das Ziel als Bester zu erreichen.

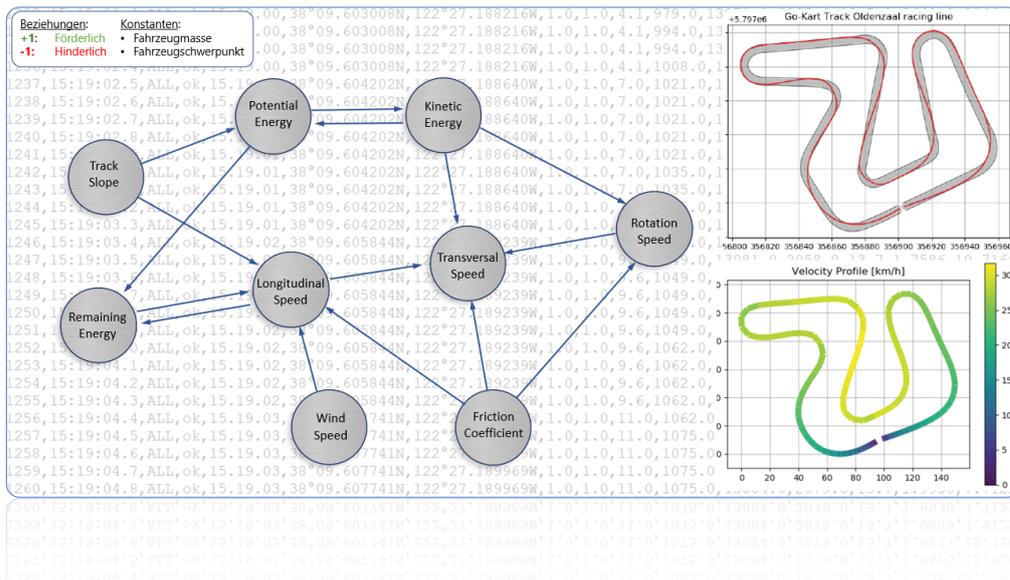


Bild 7 | Wissensgraph und Ergebnis des perfekten Geschwindigkeitsprofils und Rennlinie am Beispiel des konkreten Kontextes einer Kurvenfahrt.

Damit erkennen wir den fundamentalen Unterschied zum traditionellen Vorgehen mit den Newtonschen Kräftebilanzen und den Bewegungsgleichungen der Physik.

Wir nutzen die Informationsdimension und verwenden Wechselwirkungen zwischen Einflussgrößen, um herauszufinden, wo gemäss einem bestimmten Kontext die «Influencer», also neuralgischen Punkte, liegen. Je grösser die Datenmenge und je mehr Knoten und Beziehungen wir einfügen, desto höher ist der Wirkungsgrad.

Bei physikalischen Formeln geht es um lokale Optimierung, bei Graphen und Graphenalgorithmien um globale Optimierung unter Berücksichtigung relevanter Einflussgrößen. Statt physikalische Zusammenhänge zu verwenden, strukturieren wir Bedeutung in einer Datenflut mit einer Zielfunktionale. Das gibt einen ganz neuen Blick auf die Mechanismen dieser Welt, hier im Speziellen auf die Rennstrecke.

Die Ziellinie zur Wissensepoche überschreiten

Nun erreichen wir endlich die Ziellinie und erfahren anhand konkreter Beispiele, wie wir dank der neu gewonnenen Superkraft nun unsere Kreativität freisetzen, unsere menschliche Potentiale entfalten und die Time-to-Knowledge beschleunigen können. Wir erhalten ein ganzheitliches Systemverständnis für das Wesen der Dinge, und wir lernen durch dieses Wissen, nicht nur unseren, sondern allen Energien Richtung und Ziel zu geben, genauso wie es die Rennfahrer in unserem Use-Case tun. Wir dürfen mit der Erfahrung einer alle Erwartungen übertreffenden Effizienz, sowohl bei technischen wie auch bei geschäftlichen Prozessen, rechnen.

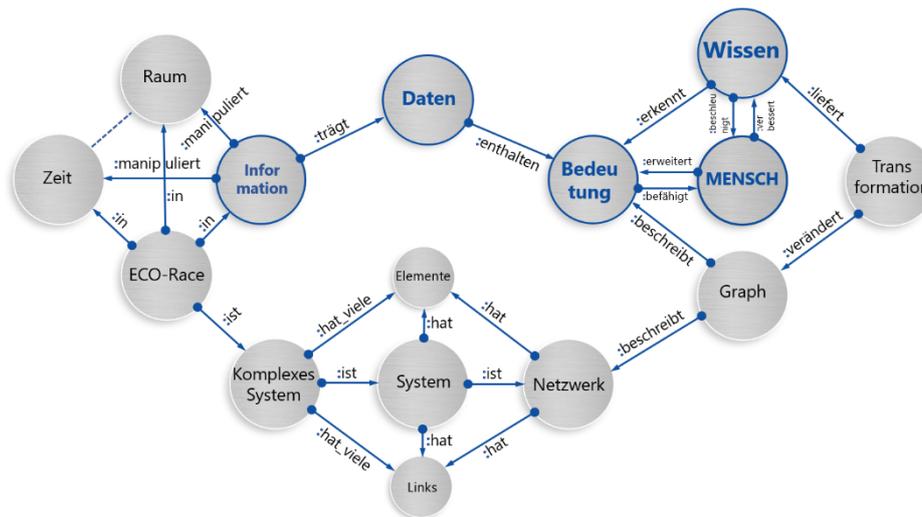


Bild 8 | Das ist der auf der Rennstrecke gefundene Schlüssel zum Tor in einen Raum von Potentialen, deren Grenzen und Chancen noch gar nicht absehbar sind.

Der Schlüssel (Bild 8) zeigt uns, wie wir die gewünschte Superkraft für unser Gehirn gefunden und so einen «göttlichen Blick» erhalten haben: Wir können die Welt von allen Seiten unmittelbar betrachten (Raumdimension), einen Blick in die Zukunft werfen (Zeitdimension) sowie das Wesen der Dinge im Datenraum beschreiben und als Muster erkennen und durch Transformation deren Bedeutung verstehen und produktiv nutzen. Mit dieser erweiterten Wahrnehmung aus der Datenperspektive und dem neuen Freiheitsgrad und Abstraktion der Virtualisierung besteht die Chance, dass sich die anfangs adressierten komplexen Systeme und komplexen Probleme beherrschen lassen.

Relevant in Bild 8 sind vor allem die **Rückkopplungen**, die im Bereich Wissen und Bedeutung den mentalen Zustand von Mensch und Team verbessern. Beispiel Mensch-Empowerment vs. Problemspezifische Bedeutung und vs. Wissen: die Bedeutung befähigt ein zunehmendes menschlich-mentales Empowerment, was im Gegenzug dazu führt, dass sich die Wahrnehmung problemspezifischer Bedeutung (sprich die Menge der erkennbaren Muster) in dem riesigen Datenozean zunehmend erweitert. Das wiederum verbessert die Wissensbasis: je schärfere und je mehr Muster ich erkenne und deren Bedeutung verstehe, desto mehr «weiss» ich, wodurch sich das Mensch-Empowerment beschleunigt.

Nun folgen ein paar praktische Beispiele, wie sich die Welt des Wissens konkret anfühlt: vom Menschen und Team über betriebliche Firmenthemen bis zu den großen Herausforderungen wie das Gasnetz in Europa, die Widerstandsfähigkeit einer Insel gegenüber Klimakatastrophen und zum «World Avatar» mit einem erfolgsversprechenden Lösungsansatz zur Verhinderung des Klimawandels.

- Wissensorganisation als Superkraft für dein eigenes Gehirn:
Warum nicht Wissen in einem zweiten «Gehirn» speichern? Wissen wird in einer Markdown-Sprache schnell und einfach wie in einem WIKI erfaßt und vernetzt. Die vielen Verbindungen funktionieren dann ähnlich wie in unserem Gehirn und Knoten «feuern», wenn's interessant wird. Das wiederum befeuert ganzheitliches Systemdenken und wir erkennen Zusammenhänge und sehen das ganz große Bild. Je grösser dieses Netz wird, desto geringer wird der Aufwand, zu neuen Erkenntnissen zu gelangen und neues Wissen zu entdecken.
- Wie transformiere ich mein Team oder Firma in eine zukunftsfähige Form?
Die Transformation einer Firma oder eines Teams in eine zukunftsfähige Form muß achtsam geschehen, denn hier geht es an Herz und Nieren! Mit einem Wissensgraph identifizierte Schmid Elektronik sämtliche Bereiche und Interessensgruppen sowie deren Beziehungen untereinander und zum Mikro- und Makro-Umfeld. Darin wählten wir die fünf relevanten Bereiche aus und veränderten uns nach dem invertierten Conway-Gesetz von der starren Abteilungspyramide in ein dezentrales, dynamisches Team-Netzwerk. Der Organisations-Wissensgraph diente uns dabei als Roadmap und Kompaß.
- Smartes Produktmanagement und Stabilisieren der Lieferkette
Rund um Produkte gibt es mehrere Datenquellen, die oft in Silos gefangen sind. Dazu gehören etwa Produktdaten mit Dokumentation, Prozessen, Produktdetails, Produkthierarchie mit Stücklisten und Operationsplänen sowie Lieferketten. Erweitert wird das durch Ereignisdaten wie etwa Telemetrie. Ergänzend kommen Organisations- und Kundendaten dazu. Ein Wissensgraph führt zu einer gesamtheitlichen 360° Sicht über die Produktion, Garantiefälle, Kundenfeedback, Qualitätssicherung und Lieferkettenstabilität.
- Wirksame Selbstverteidigung der IT gegen gefährliche Cyberangriffe
Seit der Coronapandemie nahm dieses Risiko im Zuge der beschleunigten Digitalisierung zu. Die bis heute meistens nach bestem Wissen und Gewissen installierten Mechanismen bieten zu wenig Schutz gegen die immer stärkeren Bedrohungen aus den Tiefen des Netzes. «Live Wissensgraphen» sollen uns helfen, kollektives Wissen, das kontinuierlich erweitert wird, anzuzapfen, um jederzeit wirksam gegen Bedrohungen gewappnet zu sein. Der Graph zeigt auf, welche aktuellen Angriffsmuster verwendet werden. Er wird laufend erweitert und damit können wir noch mehr Daten erhalten, noch mehr Wissen extrahieren und aus einem bestimmten Blickwinkel heraus etwa die Trends beim Social Engineering besser verstehen. Je tiefer wir in unsere Daten eintauchen, desto genauere Erklärungen gibt es. Das Ziel ist es, jederzeit eine zuverlässige

Cybersicherheit zu haben und «Out-Of-The-Box» zu denken, denn die Angreifer werden das mit Sicherheit tun!

- Effektive Kundengewinnung über Kleine-Welt-Netzwerke
Eine Eigenschaft der Kleine-Welt-Netzwerke ist, daß wir jeden Menschen auf der Welt über maximal sechs Kontakte erreichen können, indem wir dem Weg des «Freundes unseres Freundes» folgen [7]. Alles ist miteinander verbunden und jeder Mensch auf dieser Welt ist im Durchschnitt über sechs oder weniger soziale Verbindungen vom Anderen entfernt. Das heißt, wenn wir dieser Kette folgen, können wir theoretisch jeden in maximal sechs Schritten erreichen! Zum Beispiel den CEO einer Firma, die wir als Kunden gewinnen wollen. Diese Theorie ist nun dank Wissensgraphen und -algorithmen produktiv nutzbar und nicht nur das: Wissensgraphen enthalten noch viele weitere Kontextattribute, die mit einer Entität, beispielsweise einem Kunden verbunden sind. Es ist zu erwarten, daß dies bei der Neukundengewinnung im Vertrieb neue Wege und Potentiale eröffnet.
- Wertvolle Bedeutungen und nützliche Beziehungen in Texten finden
«Hilfe, ich ertrinke in Information». Wer von uns hat diesen Satz nicht schon gehört oder selbst geäußert, wenn er Dutzende Seiten von Text durchackern muß, um zu neuem Wissen zu kommen. Eine Lösung wäre die Verbindung vom Computer zum Gehirn à la „Matrix“. Das wollen wir aber nicht! Die Alternative: Wissensgraphen als Superkraft. Es gibt bereits intelligente Filter für rechtliche Texte, Zusammenfassungs-Generatoren oder die Möglichkeit, das soziale Netzwerk der Hauptdarsteller in einer längeren Geschichte auf Knopfdruck zu erstellen. Für letzteres gibt's ein gutes Beispiel, wie der Text von Harry Potter online angezapft und daraus die Bedeutung von Harrys sozialem Netz auf Knopfdruck gewonnen werden kann.
- Gezieltes Extrahieren von Wissen aus Online-Enzyklopädiem im Engineering
Ingenieure nutzen Wissensgraphen, um über das API von Wikipedia (Wikidata) gezielt nach gewünschten Themen zu filtern, Wissen zu extrahieren, dieses auf das Wesentliche zu verdichten und so Zusammenhänge besser und schneller zu verstehen. Das verkürzt die Time-To-Knowledge und infolge die Time-To-Market als matchentscheidender Wettbewerbsfaktor bei der Entwicklung neuer Produkte.
- Pfadfinder in der Luftfahrt
Das weltweite Luftverkehrsnetz besteht aus tausenden Flughafenknoten, die hoch konzentrierte Verbindungen zu anderen Flughafenknoten haben. Ein gewaltiges Netzwerk mit vielen Subnetzen! Wissensgraphen können schwerwiegende Ereignisse, Überlastungen und Verspätungen voraussehen, wie es mit traditionellen Ansätzen nie innerhalb der gewünschten Zeit möglich wäre. Graphenalgorithmen zeigen genau hier ihre Stärke, da es sich bei Netzwerken um exponentielle Komplexität handelt. Antworten zu Fragen, ob ich direkt von A nach B fliegen kann oder wie viele Verbindungen nach außen hat Flughafen C, kann mit traditionellen Mitteln wohl gelöst werden, aber schon hier zeigt sich eine dramatische Ineffizienz gegenüber den Graphenalgorithmen. Die folgende

Frage bedeutet jedoch das Ende der traditionellen Fahnenstange. Nehmen wir an, wir planen unseren Sommerurlaub, wollen ab unserem üblichen Flughafen verreisen und haben 5 mögliche Destinationen im Kopf. Wir wollen auf der Reise maximal zweimal umsteigen. Bei 5 oder 10 Flughäfen können traditionelle Ansätze noch mithalten. Bei 1000 Flughäfen werden unsere Großkinder pensioniert sein, bevor der Algorithmus die Lösung ausspuckt. Ein Graphalgorithmus liefert das Ergebnis in Sekundenbruchteilen.

- Die Bedeutung des Gasnetzes in Europa infolge der Ukraine-Invasion
Die Ukraine-Invasion durch Rußland gefolgt von der Reaktion der westlichen Welt wird einen Einfluß auf Europas Energiemix haben. Man will vom russischen Gas weg, obwohl Gas als Übergangsenergie zwischen fossilen Brennstoffen und den Erneuerbaren geplant war. Also gilt es das Gasnetzwerk, in dem Gas von einem Punkt zum anderen fließt, zu verstehen. Die Knoten bestehen aus Quellen, Kompressoren, Speicher und Kraftwerken. Die Beziehungen (Kanten) sind die Gaspipelines. Von beidem sind die GPS-Koordinaten und Energieflüsse bekannt und das Netz läßt sich in einen Wissensgraphen überführen. Wichtige Fragen lassen sich nun dank Graphenalgorithmien schnell, exakt und eindeutig beantworten. Wie viele Knoten gibt es und wie ist die Infrastruktur auf sie verteilt? Ergebnis: es sind über 5000 Knoten, davon sind 310 Kraftwerke, 297 Speicher und 109 Grenzübergänge. Die relevantesten Knoten mit dem grössten Gaskonsum lassen sich mit PageRanking finden. Der Kritischste heisst «LKD_N_40» und befindet sich in Deutschland. Der «Influencer», also der populärste Knoten mit am meisten Verbindungen läßt sich ebenso elegant bestimmen wie die Knoten mit den kürzesten Verbindungen oder lokale Cluster. Auch wird klar, wo die Gas-Verbindungsunkte zwischen den Ländern liegen und das spielt bei der Energieverteilung in Europa eine essentielle Rolle. Dieser Wissensgraph und die Graphenalgorithmien geben nun ein gut verständliches Bild über das Wesen des Europäischen Gasnetzes und kann nun bei den strategischen Schachzügen helfen.
- Steigern der Widerstandsfähigkeit einer Insel gegenüber Klimakatastrophen
Die Insel Dominica leidet immer mehr unter den Konsequenzen des Klimawandels, in dem sie zunehmend heftigen Stürmen ausgesetzt ist. Der Sturm «Maria» im Jahr 2017 zerstörte damals fast 90% der kritischen Infrastruktur der Insel und der größte Teil der Bevölkerung hatte beim Wiederaufbau 4 Monate lang keine Elektrizität im Haus. Dominica ist sehr erfahren, wenn es darum geht, mit extremen Wetterbedingungen umzugehen und einen großen Sturm pro Jahr konnte man wegstecken. Heute gibt es Hunderte von kritischen Wetterbedingungen in unterschiedlichen Eskalationsstufen und das verlangte nach einer deutlichen Verbesserung der eigenen Widerstandsfähigkeit. So entstand das MVP eines Wissensgraphen, der alle kritischen Knoten des Landes wie Kraftwerke, Spitäler, Wasserspeicher und Abwasseranlagen zusammenfügte. Die Beziehungen unter den Knoten zeigte deren Abhängigkeiten und beantwortete Fragen zur Fehlerkette. Muß etwa das Kraftwerk im Nordosten aufgrund einer Flut dort gedrosselt werden, welchen

Impact hat dies auf das Spital im Süden? Der Wissensgraph verband nun diese Silos und das führte zu einem neuen Verständnis der Beziehungen zwischen der kritischen Infrastruktur und nicht nur das. Es ließen sich für jede einzelne Phase und für unterschiedliche Wetterkatastrophen vorbeugende Notfallpläne schmieden, um dann im Falle eines Falles jederzeit und an jedem Ort die richtige Information zu haben und das Richtige zu tun.

- Digitaler Zwilling der Welt als Chance zu nachhaltiger Klimazukunft
Eine Schar Datenwissenschaftler untersucht derzeit, wie die hier gefundene Superkraft zu einem digitalen Zwilling führen kann, der mit einem Wissensgraphen und live Datenquellen eine parallele Energiewelt eines ganzen Landes erschaffen kann. Dieser Zwilling bricht bisherige Datensilos auf, ermöglicht ein domänenübergreifendes Zusammenarbeiten und Zusammenführen kollektiven Wissens und soll damit den Weg zur Energiewende erleichtern.

...

Rennfahrer-Debriefing

Wenn wir verstanden haben, was Information in ihrem Kern ausmacht und auch die Methoden und Verfahren kennen, wie wir an komplexe Problemstellungen herangehen können, werden wir Raum, Zeit und Materie unvergleichlich besser nutzen als heute. Zur Veranschaulichung der Informationsdimension diente die Rennstrecke. Die Beispiele nach der Ziellinie zeigen aber, daß dieses Verfahren ganz allgemein dazu dienen kann, komplexe Probleme und komplexe Systeme zu beherrschen. Und das ohne einen „Chip im Kopf“ oder „Matrix-Stecker“! Sondern mit den fünf Sinnen, über die wir schon jetzt verfügen und mit einer Superkraft für das, was sich zwischen unseren Ohren befindet.

Das kann nun in deinem Geschäftsalltag ungeahnte Innovationen, Kräfte und Potentiale entfalten und dir so das Tor zur Wissenspoche öffnen. Dort setzt du deine Kreativität frei und dir wird sogar ein ganzheitliches Verständnis von Systemen ermöglicht – denn nur wenn aus Daten Wissen entsteht, bekommen unsere, ja alle Energien, Richtung und Ziel. Damit erfüllen wir das elementare Grundprinzip der Magie: Information in Energie und Materie zu übertragen und so Game-Changer schaffen ... „Any sufficiently advanced technology is indistinguishable from magic“, sagte bereits Arthur C. Clarke.

Nun kennst du die neue Superkraft für dein Gehirn. Welches Problem löst du nun damit? Welche Energien wirst du mit deiner Magie entfesseln, um damit den Weg in eine neue, vermutlich freiere, bestimmt aber bessere Welt einzuschlagen?

Literaturhinweise

1. Marco Schmid: Von London nach Rom und zurück mit nur 1 Liter Benzin – wenn Energiebewusstsein dank Software so richtig cool wird, Keynote ESE 2017
2. Marco Schmid: Die Rennstrecke als Versuchslabor für KMU 4.0, Vortrag ESE 2018 (Speaker Award)
3. Marco Schmid: Was Teams vom Silicon Valley, asiatischer Kampfkunst und KI lernen können, Vortrag ESE 2019 (Speaker Award)
4. Henning Butz: Durch Digitale Transformation zur Fünften Dimension, Vortrag ESE 2018
5. Melanie Mitchell: Complexity – a guided tour, Oxford University Press, 2009
6. Mark Burgess: Smart Spacetime: How information challenges our ideas about space, time, and process, χ tAxis press, 2019
7. Albert-László Barabási: Linked, Basic Books, 2002
8. Mark Newman: Networks – 2nd Edition, Oxford University Press, 2018
9. Filippo Menczer: A first course in Network Science, Cambridge University Press, 2020
10. Mark Needham & Amy E.Hodler: Graph Algorithms, O'Reilly Media Inc, 2021

Autor



Marco Schmid, B.Sc. Systemtechnik, leitet Schmid Elektronik AG in CH-9542 Münchwilen.

Der Systemingenieur in mir hat eine Leidenschaft für Technologien wie Embedded-Systems, IOT-Dinge, Minimum Viable Products, Netzwerke und Graphen. Ich betreue gerne Neuland und eine nachhaltige Mobilitäts- und Energiezukunft liegt mir am Herzen. Als Unternehmer genieße ich das

Privileg, das Leadership-Team eines 47-köpfigen Schweizer Familien-KMU mit cooler DNA und pfiffigen Leuten zu coachen. Das Verständnis für entgegengesetzte und aufeinander bezogene Kräfte kam aus meinen früheren Erfahrungen in asiatischen Kampfkünsten. Netzwerke – team-, firmen-, länder- und Kontinent übergreifend – spielen in meinem geschäftlichen Leben eine zentrale Rolle. Sir Richard Branson gehört zu meinen motivierenden Vorbildern, weil er «Game Changer» erschaffen hat, Mensch geblieben ist und MitarbeiterInnen an der ersten Stelle sieht.

Kontakt

Internet: www.schmid-elektronik.ch

E-Mail: marco.schmid@schmid-elektronik.ch

Daten sind nichts – Bedeutung ist alles Dazwischen steht nur eine Transformation

Henning Butz, ehem. Advanced Systems Engineering Solutions – ASES, Jork

Der Ratschlag, „data driven“ vorzugehen, wenn man vor komplexen Entscheidungen mit unzähligen, obskuren Einflussgrößen steht, ist leider nicht zielführend. Er erklärt das Problem zur Lösung und macht so den Entscheidungsträger eher zum Daten-Getriebenen, als zu ihrem Beherrscher. Hier fehlt ein Datendeuter, der nichtssagende Daten in „Bedeutung“ und „Wissen“ transformiert. Er weiß: Daten sind das Substrat der Information und Information ist eine Dimension, so wie Raum und Zeit. Es ist bekannt, dass der Nutzen einer Dimension, sich immer über Transformationen erschließt, so auch bei der Information. Hier wird erklärt, warum Information eine Dimension ist und wie sie funktioniert, wie die Transformation beschaffen sein muss, um Daten bedeutsam zu machen und um Wissen zu gewinnen. Der heute bereits erkennbare Nutzen dieser Technik wird an konkreten Beispielen belegt. Die Potentiale zukünftiger Anwendungen des Informationsparadigmas im Bereich der Naturwissenschaft und Gesellschaft werden abschließend diskutiert.

Einleitung

Eine bekannte Regel besagt: Probleme können nicht auf der gleichen Ebene gelöst werden, auf der sie entstanden sind. Der Rat klingt plausibel und er hilft auch viel, denn er impliziert die wichtige und naheliegende Empfehlung, die Lösung immer auf einer, dem Problem übergeordneten Ebene zu suchen. Daher wird gerne zur Anwendung der Regel die „Problempyramide“ gereicht (Abb. 1), die die Hierarchie der Problemebenen vermittelt. Genau in der Mitte der Pyramide befindet sich die Ebene der *Kommunikation*, wo „Daten“, das Substrat der „Information“, aus abstrakten Werten, Zielen, Macht- und Führungsansprüchen mit jenen aus den Ebenen der operativen Fakten zusammenfließen. Auf dieser speziellen Zwischenebene findet eine „Transformation“ der „Daten“ zu „Bedeutung“ (oder „Wissen“) statt, dergestalt, dass die abstrakten Werte, Ziele, Ansprüche verstanden und zu konkreten Anwendungen operationalisiert werden können. Verständlicherweise folgt die *Transformation von Daten zu Bedeutung* notwendig einem Paradigma, das das gegenwärtige Verständnis der Welt mit ihren möglichen Freiheitsgraden (Handlungsspielräumen) repräsentiert.

Was aber passiert, wenn der Versuch einer Problemlösung von Ebene zu Ebene scheitert und dabei eher mehr Probleme erzeugt, als er beseitigt? Das ist die Situation, wo offenbar das verwendete Transformationsparadigma seine Gültigkeit verliert. Dann ist es an der Zeit, die bestehende Interpretationssemantik des gegebenen Pyramidenkanons von Werten – Daten – Fakten zu verlassen, um ein neues Paradigma zu suchen, das die Bedeutung der Daten neu interpretiert und damit den Lösungsraum „dimensional“ erweitert. Wie dies funktioniert, wird im folgenden an drei Beispielen

erläutert – zwei historischen und einem gegenwärtigen – sowie die Mechanismen und Konsequenzen dieser Schritte in höhere Dimensionen beschrieben.

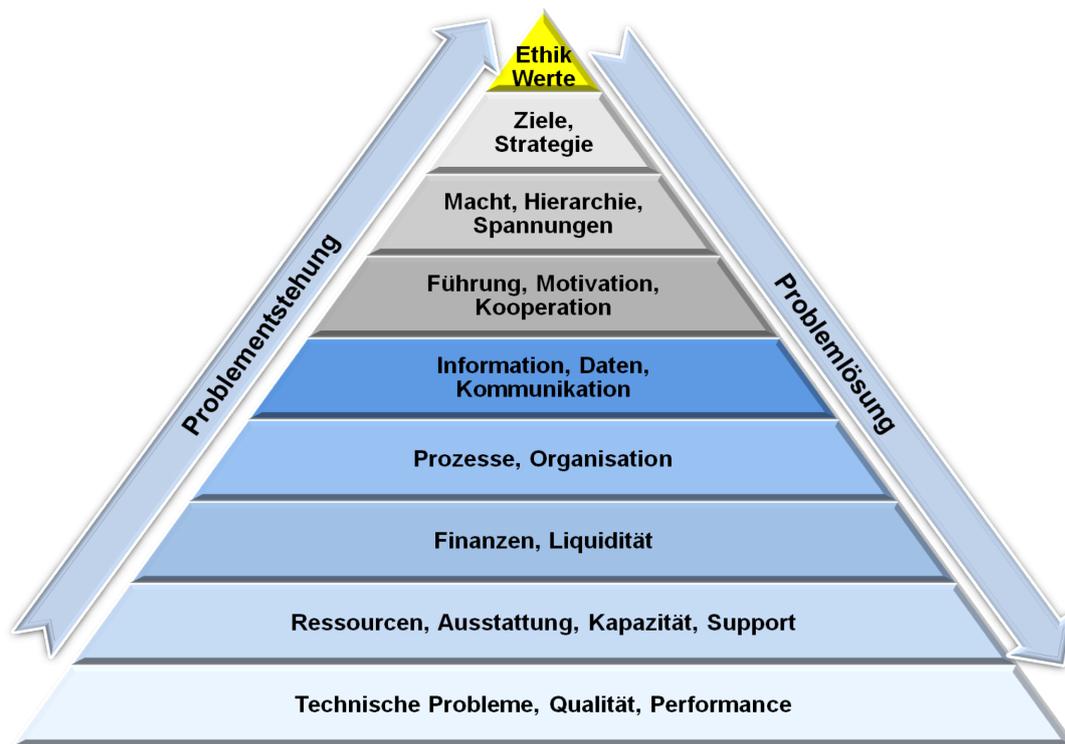


Abb. 1 Pyramide der Problemebenen

Verloren im Raum – der Niedergang der Flächenwirtschaft

Als die Welt noch eine Scheibe war, florierte auf den Territorien des Eurasischen Kontinents sowie an seinen Küsten ein einträglicher Handel. An dessen Spitze stand am Ende des vierzehnten Jahrhunderts ein multinationaler Konzern, der den See- und Landhandel von England bis Russland mit einer ausgeklügelten Logistik zu verbinden wusste: Die Hanse, Abb. 2.

Sie war der „Multi“ des Mittelalters. International vernetzt, reicher als mancher Staat und dementsprechend mächtig. Gegen dieses Schwergewicht zu konkurrieren, war für kleine Handelsunternehmen so gut wie ausgeschlossen. Es sei denn, man löste das Problem auf einer „Hyperebene“ und verlegte seine Handelstätigkeit von der Scheibe auf die Kugel. Dies gelang kleinen „Handels-Startups“ im äußersten Süden Europas an den Küsten Portugals mit Unterstützung der kleinen, innovativen Seefahrtsschule in Sagres. Dort lehrte ein Mathematiker und Geograf vom Niederrhein – Gerhard Mercator – wie die Geografie der Erdkugel geometrisch winkel- oder flächentreu auf eine ebene Seekarte projiziert werden kann. Dem vorausgegangen war die Erkenntnis, dass Positionen im Raum durch orthogonale Koordinaten (Länge, Breite, Höhe, l , b , h) eindeutig bestimmt sind und deren grafisch korrekt verzerrte Abbildung auf eine ebene Fläche (x, y) über eine mathematische Transformation der Koordinaten mittels einer Matrix-Vektor-Multiplikation gemäß Gleichung (1) berechnet werden kann.



Abb. 2 Handelsrouten der Hanse, Seehandel nur entlang der Küsten möglich

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} l \\ b \\ h \end{pmatrix} \quad (1)$$

Die geometrische Bedeutung der Transformationsgleichung (1) ist in Abb. 3 dargestellt.

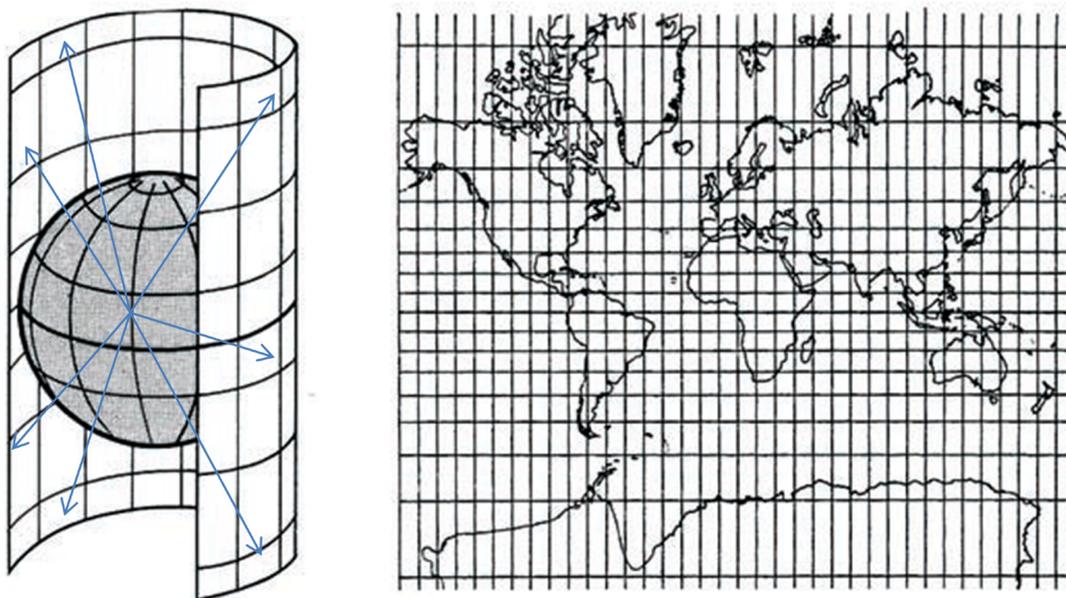


Abb. 3 Mercator-Seekarte: winkeltreue Zylinder-Projektion (Kugel → Fläche)

Mit dieser „Transformationssoftware“ aus Papier war es portugiesischen Kapitänen möglich ihre Karavellen buchstäblich in der Dritten Dimension zu navigieren – unerreichbar auch für die besten Hanse-Koggen. Schon einem punktgenauen Kurs, von

Portugal, quer über den Atlantik, zu einem Zielort in der Karibik, hätten Hanse-Kapitäne mit ihrer beschränkten terrestrischen Navigation – ohne „Mercator-Seekarte“ – nur entlang der Küsten des Europäischen Nordmeeres, Grönlands, Neufundlands, Nordamerikas und Floridas folgen können. Beide Kurse – die Portugiesische Loxodrome sowie die Norddeutsche Küstennavigation – sind in Abb. 4 dargestellt. Vermutlich wäre die Hanse schon auf den mit „?“ markierten Kursen gescheitert.

Selbst wenn die Nautiker der Hanse entlang der Küsten ohne Schiffbruch bis in die Karibik gelangt wären, hätten sie doch hilflos zurückbleiben müssen, sobald der Portugiese erneut die Segel setzt, für einen Kurs, der ihn in direkter Linie, quer über den Atlantik bspw. von Jamaika nach Sierra Leone an der westafrikanischen Küste bringt. Aus der Perspektive der hanseatisch, mittelalterlichen „Scheibenwelt“ hätte sich die portugiesische Karavelle, dank ihrer Mercator Seekarte an Bord – für die Hanse unerreichbar – in die Dritte Dimension davongemacht. Der einfache Trick: Koordinatentransformation.

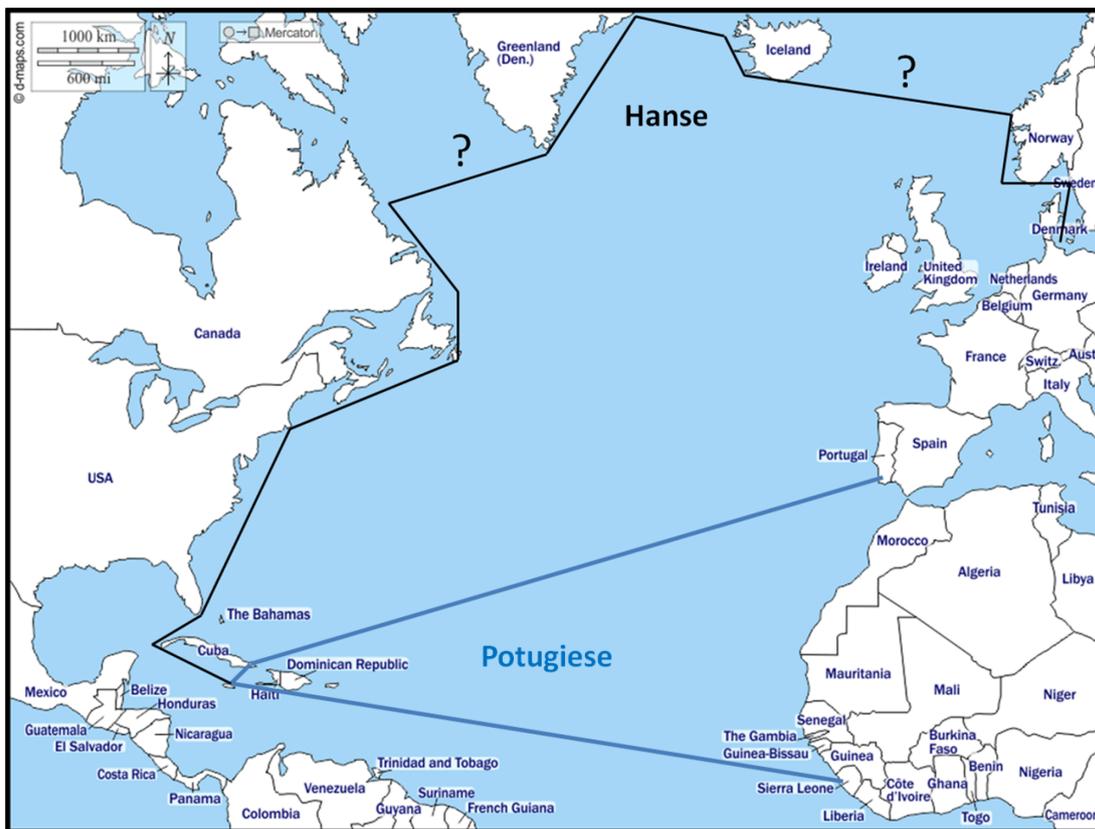


Abb. 4 Freie Navigation auf der Kugel vs. Küstennavigation auf der Scheibe

Die Wirkung dieses Tricks war allerdings gewaltig. Die mächtige Hanse versank in der Bedeutungslosigkeit, während andere Nationen den Handel von der Fläche in den Raum verlegten. Das eröffnete ihnen den Zugang zum Reichtum ferner Länder, ja ganzer neuer Kontinente, den sie in der weltumspannenden Ökonomie des Merkantilismus für sich zu nutzen wussten, deren Produktivkraft einzig auf der Erkenntnis und Beherrschung der Dritten Dimension gründete.

Der Zeittakt zerlegt den Merkantilismus

Mit den direkten Kursverbindungen verkürzen sich die Distanzen zwischen den Handelsniederlassungen. Gleichzeitig schießt ihre Anzahl förmlich in die Höhe. Die Transportmittel werden schneller und größer. Die Wirtschaftsdynamik beschleunigt sich. Die Einführung der Arbeitsteilung in der Warenproduktion erhöht die Produktivität der Betriebe um Faktoren zwischen 200 und 500 (Adam Smith, Der Wohlstand der Nationen) gegenüber der merkantilistischen Manufaktur, der Einsatz von Maschinen (bspw. die Lochkarten gesteuerten Webstühle von Jaquard) noch einmal auf das Doppelte. Der Zeittakt der Maschinen, der Arbeitsschritte und Fahrpläne von Transportmitteln ermöglicht die beliebige Zerlegung dynamischer Vorgänge im Raum und deren Neuordnung zu Beziehungsmustern in der Zeit (Sequenzierung, Parallelisierung, Iterierung, ...). Dies kommt den Zwecken einer optimalen Ressourcennutzung beliebig nahe. Der Schlüssel zu diesem Schritt war die Erkenntnis, dass Vorgänge im Raum eine Dynamik haben, die in der „Zeit-Dimension“ verortet ist. Newton und Leibniz lieferten das mathematische Rüstzeug, um die Dynamik mathematisch zu beschreiben – die Infinitesimalrechnung dx/dt . Dieser Term steht sowohl für die Zerlegung dynamischer Vorgänge im Raum (dx) sowie für die Verbindung der räumlichen Veränderungen mit der fortschreitenden Zeit (dt). Das Differential (dx/dt) repräsentiert die Vereinigung von Raum und Zeit symbolhaft.

Die statische, raumorientierte Welt des Merkantilismus war mit dem Verständnis dynamischer Zeitvorgänge genauso überfordert, wie drei Jahrhunderte vorher die stratifizierte Scheibenwelt des Mittelalters mit der Beherrschung der dritten Raumdimension. Mit den Mitteln, die die drei Raumdimensionen boten war es unmöglich, den Herausforderungen einer sich mit hoher Dynamik bewegenden Welt zu begegnen. So wie der Hanse-Kapitän dem Kurs des Portugiesen in die Dritte Dimension nicht folgen konnte, war es der merkantilistischen Manufaktur unmöglich, mit dem Produktivitätsvorsprung eines – in der Zeitdimension – arbeitsteilig, zeitgetaktet produzierenden Industriebetriebs auch nur annähernd Schritt zu halten. Der von Adam Smith bereits Anfang des achtzehnten Jahrhundert berechnete Produktivitätsunterschied von 1:500 belegt dies quantitativ eindrucksvoll.

Beherrschung der Dynamik

Der dynamisierte Mensch am Wendepunkt von Merkantilismus zur Industriegesellschaft hatte zwar in Ansätzen verstanden, Prozesse in der Zeit(dimension) zu seinem Nutzen zu manipulieren – bspw. durch Arbeitsteilung, kinematische Maschinensteuerungen oder Lochkarten programmierter Webstühle – und damit die starre, homomorphe Produktionsweise der Manufaktur in die Bedeutungslosigkeit verwiesen. Die neu eroberten Freiheitsgrade und Möglichkeiten in der Ausnutzung der Zeitdimension hatten aber auch ihren Preis. Die zunehmende Dynamisierung bereitete Probleme, die man vorher gar nicht kannte. Beschleunigte Wirtschaftsprozesse erzeugten Marktschwankungen mit hoher Amplitude und Frequenz, also Finanz- und Wirtschaftskrisen. Schnell laufende Maschinen zeigten Vibrationen, die zu hohem Verschleiß und Schäden an den Werkstücken führten. Neuartige Baukonstruktionen,

wie bspw. Hängebrücken, gerieten durch schnell passierende Fahrzeuge, Marschkolonnen oder durch Windböen in Resonanz und brachen zusammen, s. Abb. 5.



Abb. 5 Resonanzkatastrophe: Brückeneinsturz

Auch kam es in frühen Energieversorgungsnetzen zu unerklärlichen Pulsationen. Diese Phänomene waren irritierend, kostspielig und gefährlich. Es musste eine Methode her, die Ursachen dafür zu ergründen und diese am besten bereits vor der Realisierung, während der Konstruktion, durch geeignete Maßnahmen zu beseitigen.

Die Lösung des Problems entwickelte sich über mehrere Stufen, die hier nicht weiter interessieren. Von Bedeutung sind vielmehr insbesondere zwei heute gebräuchliche Analyse- und Korrekturmethode, weil sie auf direktem Wege zum eigentlichen Thema dieses Beitrags, der Dualität von Daten und Bedeutung sowie zu der zwischen beiden vermittelnden Transformation führen.

Die erste Methode besteht darin, das Objekt der störenden Resonanzen mittels Bilanzgleichungen zu beschreiben. Bei einem physikalischen System – etwa einer Maschine oder einer Brücke – sind es i.d.R. die Kräftebilanzen zwischen den Konstruktionselementen, bei ökonomischen Systemen eher die Push-Pull-Bilanzen zwischen dem Kapital der Marktteilnehmer. Im weitesten Sinne handelt es sich um Energiebilanzen. Diese Vorgehensweise führt gemeinhin zu einem System gekoppelter Differentialgleichungen (oder Differenzgleichungen), die in linearisierter Form als

$$\begin{aligned}
 dx_1/dt &= a_{11} x_1 + \dots + a_{1n} x_n + b_{11} u_1 + \dots + b_{1m} u_m \\
 &\quad \cdot \quad \cdot \quad \quad \cdot \quad \quad \cdot \\
 &\quad \cdot \quad \cdot \quad \quad \cdot \quad \quad \cdot \\
 &\quad \cdot \quad \cdot \quad \quad \cdot \quad \quad \cdot \\
 dx_n/dt &= a_{n1} x_1 + \dots + a_{nn} x_n + b_{n1} u_1 + \dots + b_{nm} u_m
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

mit x_i , $i = 1, \dots, n$ den Zustandsgrößen des Systems und u_k , $k = 1, \dots, m$, den Steuergrößen des Systems aufgestellt werden. Die Koeffizienten a_{ij} , mit $i = 1, \dots, n$ und $j = 1, \dots, n$ der Zustandsgrößen x_i definieren die Wechselbeziehungen zwischen den Systemzuständen. Sie resultieren aus den Kraftwirkungen der Konstruktionselemente des Systems untereinander und charakterisieren das dynamische Verhalten der Anordnung. Zur mathematischen Behandlung der Gleichungen (2) ist es zweckmäßig, sie in eine Vektorschreibweise umzuformen. Das führt zu der Darstellung

$$\dot{\underline{x}} = \underline{A} \underline{x} + \underline{B} \underline{u} \quad (3)$$

mit

$$\underline{x} = \text{Zustandsvektor} \quad \underline{A} = \text{Systemmatrix (ähnlich Gl. (1))}$$

$$\underline{B} = \text{Steuermatrix und} \quad \underline{u} = \text{Steuervektor}$$

Wie oben beschrieben, charakterisieren die Koeffizienten a_{ij} der Systemmatrix \underline{A} das dynamische Verhalten des betrachteten Systems, also seine Schwingungseigenschaften.

Die Frage war: wie können die kritischen Frequenzen eines Systems nach Möglichkeit schon vor seiner Realisierung ermittelt und ggf. so verändert werden, dass sie dem Ziel der Stabilität, bspw. von Konstruktionen oder Märkten, nicht zuwiderlaufen. Die Antwort befindet sich in der Systemmatrix \underline{A} . Deren Eigenwerte und Eigenvektoren repräsentieren die Schwingungseigenschaften des Systems. Um sie zu ermitteln muss die Gleichung

$$\underline{A} \underline{v}_i = \lambda_i \underline{v}_i, \quad i = 1, \dots, n \quad (4)$$

gelöst werden. Dabei steht \underline{v}_i für die Eigenvektoren der Matrix, während λ_i ihre Eigenwerte repräsentiert. Die Eigenvektoren beschreiben die möglichen Schwingungsmoden der Anordnung, also die Wellen. Die Eigenwerte sind allgemein komplexe Zahlen, deren Imaginärteil für die Frequenz der Modalschwingung steht und ihr Realteil für deren Dämpfung, Abb. 6.

Damit ist die Frage nach der Vorhersage möglicher, störender Schwingungen eines Systementwurfs vollständig beantwortet. Die Aufgabe der Beseitigung, Verschiebung oder Dämpfung unerwünschter Schwingungen wird in der umgekehrten Richtung erledigt: Die Methode besteht darin, die gewünschten Eigenwerte nach Dämpfung und Frequenz (Real- und Imaginärteil) vorzugeben und die Koeffizienten der Systemmatrix, bspw. durch Rückkopplung von Zustandsgrößen des Systems (Druck, Drehzahl, Kapital, ...) so zu verändern, dass sich die Eigenwerte der Matrix in die beabsichtigten Pol-Positionen bewegen. Solche Rückkopplungen werden gemeinhin als Stabilisatoren oder als Regler bezeichnet.

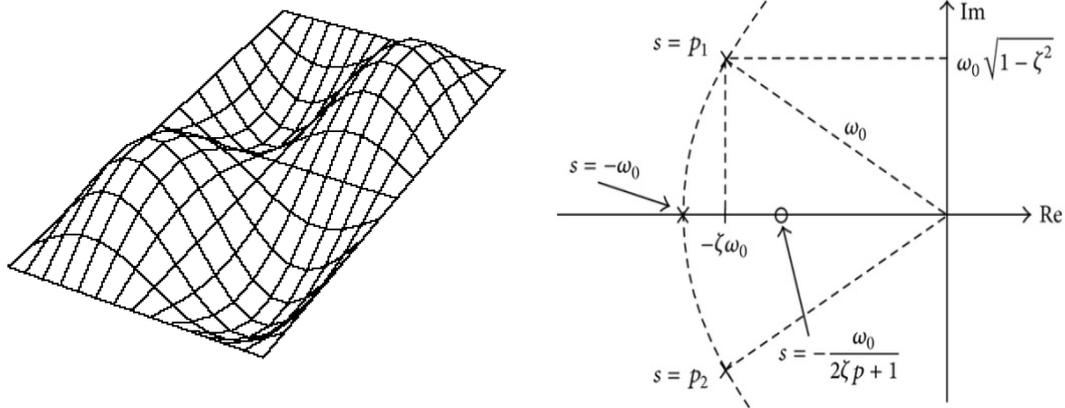


Abb. 6 Modalschwingung eines Konstruktionselements, Poldiagramm der Eigenwerte

Die im Sinne des Themas dieses Beitrags wichtige Schlussfolgerung aus der oben beschriebenen Vorgehensweise ist, dass die Aufdeckung und Manipulation der rätselhaften Dynamik eines Systems mittels einer Vektortransformation von zwar geordneten, aber sonst nichtssagenden „Daten“ – den Zustandskoeffizienten der Systemmatrix \underline{A} – gelingt, die aus einem formalisierten Referenzmodell der Realität gewonnen wurden.

Die hier dargestellten Zusammenhänge sind auch in einer anderen Hinsicht bedeutsam für unsere Überlegungen zur „Daten – Bedeutungs-Transformation“: Denn es existiert noch eine alternative Möglichkeit, die Frage nach den Eigenfrequenzen eines dynamischen Systems unmittelbar aus den zeitdiskret gemessenen Zustandsdaten eines Systems im Wege einer Transformation zu beantworten. Dabei ist es unerheblich, ob es sich bei dem betrachteten System (oder seinem Modell) um eine technische Konstruktion, einen chemischen, einen biologischen Prozess oder um ein Wirtschaftssystem (bspw. Aktienkurse, Konjunkturdaten o.ä.) handelt. Bei ausreichend langer Beobachtung des Objekts enthalten die über die Zeit gemessenen Zustandsdaten-(Felder) implizit alle Schwingungsmoden, zu denen die Anordnung fähig ist. Eine einfache Inaugenscheinnahme der Messwerte präsentiert dem Betrachter allerdings nur ein graues Einerlei von Daten und offenbart die verborgene Eigendynamik nicht. Es bedarf erneut einer Transformation, um den unspezifischen Datenfeldern ihre spezifische Bedeutung für die konkrete Problemstellung: „Spektralanalyse zur Resonanzfrüherkennung“ zu entnehmen. Für die dazu notwendige Identifikation der Eigenfrequenzen ist die „schnelle Fourier Transformation (Fast Fourier Transformation, FFT) die gängige Methode. Insbesondere ist sie geeignet, um mit Hilfe von Digitalrechnern in scheinbar unbedeutenden Datenfeldern verborgene Schwingungen aufzuspüren. Die FFT liefert als Ergebnis das Spektrum der eingelagerten Frequenzen mit signifikanten Resonanzstellen, die die Lage der Eigenfrequenzen markieren, Abb. 7.

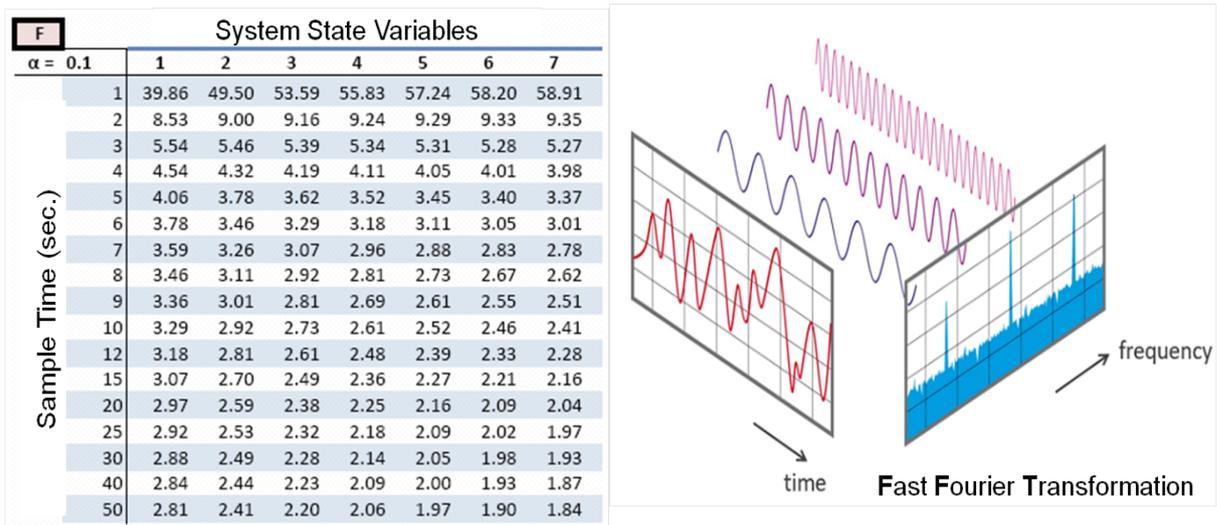


Abb.7 Identifikation verborgener Schwingungen in Datenfeldern dynamischer Systeme

Mehr liefert die FFT Methode allerdings nicht. Die Schwingungsmoden selbst sowie ihre Dämpfungen bleiben in den Daten verborgen.

Die beiden skizzierten Transformations-Alternativen zur Extraktion der Eigenfrequenzen eines Systems aus scheinbar unzusammenhängenden, inhaltsleeren Daten des gleichen Objekts sind sehr aufschlussreich hinsichtlich der Aussagequalität und des Nutzens, also der Bedeutung für den Fragesteller, die die beiden unterschiedlichen Herangehensweisen hervorbringen: Während die Transformation von Datensätzen, die dem formalisierten Referenzmodell des Analyseobjekts entstammen – also die Koeffizienten der Systemmatrix – ein vollständiges Bild der gesuchten Modalschwingungen, samt charakteristischer Frequenz und Dämpfung vermittelt, liefert die Transformation schierer Messdaten ohne Referenz zu einem Kontextmodell ihrer Herkunft, lediglich die singuläre Darstellung der spektralen Fequenzverteilung, ohne weitere Angaben zu den zugrunde liegenden Schwingungsformen und Dämpfungen. Für weitergehende Maßnahmen, wie bspw. die Manipulation der Systemdynamik oder die Systemstabilisierung, sind diese Ergebnisse nur bedingt geeignet.

Allerdings zeigt die Analogie der Methoden, dass die Nutzung der Potentiale einer höheren Dimension – sei es die des *Raumes* oder die der *Zeit* – sich in beiden Fällen über eine geeignete Transformation erschließt. So wie die Koordinatentransformation eines geometrischen *Raum-Modells* von Positionen und Formen auf der Erdkugel in ein winkeltreues, ebenes Seekartenformat die Beherrschung der *dritten Raumdimension* ermöglicht, befähigt die Frequenztransformation des *Dynamik-Modells* eines Systems zur Zerlegung und Manipulation dynamischer Vorgänge in der *Zeitdimension*.

Die Tatsache, dass auch aus *Daten* „an sich“, also dem „Substrat“ unspezifischer Information, durch eine geeignete Transformation, bspw. FFT, die darin verborgene Bedeutung entschlüsselt werden kann, legt den Schluss nahe, dass A) neben Raum und Zeit, auch *Information eine Dimension* ist und B) Daten, die einem *formalisierten Kontextmodell* entstammen, durch Transformation nicht nur Bedeutung beigemessen,

sondern diese darüber hinaus auch skaliert und zur Interpretation oder Manipulation von Vorgängen in der Informationsdimension sowie in der RaumZeit genutzt werden kann. Dass dies bereits heute exakt in dieser Form praktiziert wird, soll im folgenden gezeigt werden.

Auf der Suche nach „Bedeutung“ im Ozean der Daten im Netz

Wer früher eine Wissenslücke schließen wollte, griff zum Lexikon und suchte anhand von Schlagworten, die die offene Frage umschrieben, nach der Antwort. Heute könnte man diese Schlagworte in den Browser eines PC's stellen und die Maschine in den Tiefen des „allwissenden“ Internet nach der Antwort suchen lassen. Das Ergebnis dieser Vorgehensweise wäre allerdings ebenso erschreckend, wie unbrauchbar, Die Suchmaschine lieferte einfach nur alle „Treffer“ zurück, die irgendwie zu den eingegebenen Schlagworten passen. Das sind nicht selten Millionen. Im Sinne des Dimensionsmodells der Information hat die Suchanfrage ein unübersichtliches, weitgehend unspezifisches Datenfeld zurückgeliefert, das zwar Unmengen an „Bedeutung“ enthalten mag (sicherlich auch Teile der gesuchten), aber nutzlos ist, solange kein Filter existiert, das die gesuchte Antwort in der Datenflut selektiert. Nach dem oben abgeleiteten Transformationsmechanismus – Daten zu Bedeutung – wäre die dazu notwendige Bedingung, den Beziehungskontext des Problems, d.h. der Fragestellung, in einem Modell zu strukturieren und die Relationen so zu formalisieren, dass diese in eine Matrixanordnung (Kontextmatrix) überführt werden können. Die Antwort auf die Problemstellung sollte, wenn die Hypothese stimmt, über eine Eigenvektortransformation der „Kontext-Matrix“ ermittelt werden können.

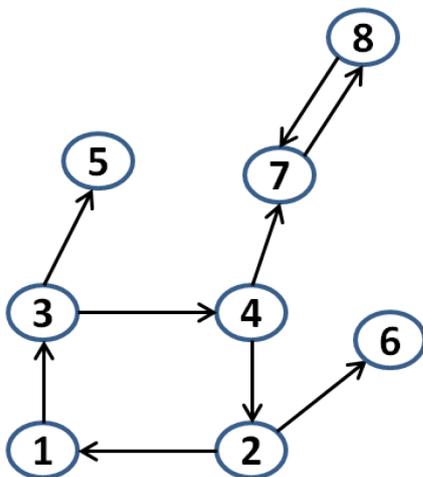


Abb. 8 Gerichteter Graph einer Google Suchanfrage.

Genau nach diesem Prinzip arbeitet der Google PageRank Mechanismus: die Treffer der Suchanfrage, d.h. die gefundenen Websites, werden bezüglich ihrer wechselseitigen Verweise ausgewertet. Die festgestellten Referenzen werden in einem Graphen so formalisiert, dass die Knoten den Treffern (Websites) entsprechen und die Kanten die jeweils bestehenden Referenzierungen zwischen den Sites wiedergeben. Dabei werden nur Verweise *auf* Sites als Kanten dargestellt und nicht solche, die lediglich *von* Sites

wegverweisen. Dieser Formalismus ist beispielhaft für acht Treffer in Abb. 8 dargestellt (Ref.: Wikipedia).

Die PageRank-Matrix berechnet sich nach der Vorschrift

$$\underline{P} = d \left(\underline{L} + \frac{1}{n} \underline{w} \underline{1}^T \right) + (1 - d) \frac{1}{n} \underline{1} \underline{1}^T, \quad (5)$$

die so gewählt ist, dass das Ergebnis als eine ergodische Markov-Verteilung (Zufallsprozess) interpretiert werden kann, also unabhängig ist vom Anfangszustand, was bei Zufallstreffern durch Suchanfragen im Datenpool des Internet als gegeben angenommen werden kann. Die Komponenten der PageRank Matrix leiten sich aus den Bindungen des Graphen ab. Die Matrixkoeffizienten von \underline{L} werden aus der Kantenvielfalt pro Knoten nach der folgenden Vorschrift berechnet.

$$\underline{L} = \begin{pmatrix} l_{11} & \dots & l_{1n} \\ \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \dots & \cdot \\ l_{n1} & \dots & l_{nn} \end{pmatrix} \quad \text{mit } l_{ij} = \begin{cases} 1/c_i, & \text{wenn Knotenausgang} > 0 \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

und c_i = Ausgangszahl des Knoten. Für die Komponenten des Vektors \underline{w} gilt:

$$\underline{w} = [w_1, \dots, w_n], \quad \text{mit } w_i = \begin{cases} 1 & \text{wenn } c_i = 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Der Vektor \underline{w} verhindert, dass der Markovprozess in ausgangslosen Knoten (hier im Beispiel Knoten 5 und 6) stecken bleibt. Der Vektor $\underline{1}$ ist der Einsvektor $[1, 1, 1, \dots, 1]$, sodass $\underline{1} \underline{1}^T$ die Einsmatrix

$$[\underline{1} \ \dots \ \underline{1}] \begin{bmatrix} \underline{1} \\ \vdots \\ \underline{1} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \underline{1} & \dots & \underline{1} \\ \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \dots & \cdot \\ \underline{1} & \dots & \underline{1} \end{pmatrix}$$

ergibt. Der Faktor d ist ein Dämpfungsfaktor, $d < 1$ (hier $d = 0,8$). Er bestimmt die Konvergenzeigenschaften von \underline{P} . Da die PageRank Matrix \underline{P} als Transitionsmatrix einer ergodischen Markov-Verteilung interpretiert wird, kann als gesichert angenommen werden, dass eine stationäre Verteilung \underline{P}_S , mit

$$\underline{P}_S = \lim_{k \rightarrow \infty} (\underline{P})^k$$

existiert, deren Zeilen alle identisch den Eigenvektor „ \underline{x} “ der Matrix \underline{P} zum Eigenwert 1 reproduzieren. Dessen Komponenten repräsentieren die stationäre Treffer-Wahrscheinlichkeit eines jeden Knoten des in Abb. 8 dargestellten Graphen. Das

entspricht der individuellen Bedeutung jeder gefundenen WebSite für die Google-Anfrage. Um die Suchergebnisse mit der höchsten Signifikanz herauszufinden, reicht es daher aus, den Eigenvektor der PageRank Matrix zum Eigenwert „1“ über das Gleichungssystem

$$\underline{P} \underline{x} = 1 \underline{x} \quad (6)$$

zu bestimmen. Die Komponenten des Eigenvektors \underline{x} mit dem größten Betrag identifizieren die Treffer, die der Suchanfrage mit der höchsten Wahrscheinlichkeit (Signifikanz) entsprechen. Für das in Abb. 8 gewählte Beispiel ergäbe sich mit

$$\underline{L} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad \text{und } \underline{w} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0]^T$$

sowie

$$\underline{P} = 1/40 \begin{pmatrix} 1 & 1 & 33 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 17 & 1 & 1 & 1 & 1 & 17 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 17 & 17 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 17 & 1 & 1 & 1 & 1 & 17 & 1 \\ 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 \\ 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 33 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 33 & 1 \end{pmatrix}$$

der Eigenvektor

$$\underline{x} = [0.0675, 0.0701, 0.0934, 0.0768, 0.0768, 0.0675, 0.2825, 0.2654]^T$$

Die Treffer (Websites) 7 und 8 besitzen damit die höchste Relevanz, gemessen an den Erwartungen der gestellten Suchanfrage. Das Kontextmodell (Google-Graph) der semantischen Treffer, in Kombination mit einer Eigenvektortransformation der Kontext-Matrix (PageRank \underline{P}), ermöglicht somit eine Skalierung der Bedeutung von semantischen Mustern in einem ungeordneten Datenfeld in der Informationsdimension. Mit dem gleichen Verfahren wäre es auch möglich, aus den unzähligen E-Mails, die ein durchschnittliches Postfach täglich füllen, in Sekundenschnelle nur jene zu isolieren / priorisieren, die für eine aktuell bearbeitete Aufgabe gerade relevant sind.

Das Google Suchverfahren zeigt eine frappierende Übereinstimmung mit den Prozeduren, zur Projektion von Raumgeometrien auf ebene Flächen sowie zur Bestimmung der Eigenschwingungen eines dynamischen Systems:

- Aufstellen eines Bindungsmodells der charakterisierenden Elemente einer Kontextstruktur
- Übertragung der Bindungen in ein Matrixformat
- Basis-, bzw. Eigenvektortransformation des Systems
- Ergebnis.

Es liegt daher nahe, auch für andere Anwendungsfälle bei der Suche nach „Bedeutung“ in umfangreichen Datenfeldern in der gleichen Weise vorzugehen. Dies soll an einem weiteren Anwendungsbeispiel aus dem Gebiet der Strategieoptimierung, mit den Zielfunktionen Energie- und Zeitminimierung, dargestellt werden.

Die Energiewende findet in der Fünften Dimension statt

Ein bedeutender, aber wenig bekannter Demonstrator für das Energiesparpotential durch Daten → Bedeutungstransformation, ist der ECO-Marathon im Rahmen der Shell Challenge,

[2022 Programme \(makethefuture.shell\)](http://makethefuture.shell)

Bei diesem Wettrennen treten regelmäßig Teams aus aller Welt mit innovativen Fahrzeug- und Antriebstechnologien gegeneinander an. Das Ziel ist, eine Distanz von London nach Rom in kürzester Zeit mit minimalem Energieverbrauch zurückzulegen. Die Besten benötigen nicht mehr, als 25 bis 33 kWh für die gesamte Strecke, also ein Äquivalent von 2 bis 3 Litern Dieselkraftstoff. Wie ist das möglich? Einerseits natürlich durch den extremen Leichtbau der Fahrzeuge sowie die maximale Effizienz ihrer Antriebe. Dies alleine erklärt die verschwindend geringen Verbrauchswerte aber nicht, denn der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik gilt auch beim Eco-Marathon Rennen.

Die Ursache des minimalen Energiekonsums liegt in der Strategie, alle Daten der Streckenbeschaffenheit, des Geländes, des Fahrzeugzustandes sowie der meteorologischen Bedingungen, samt der freien Energien (Wind, Gefälle, ..) in kurzen Abständen zu erfassen, in der Cloud zu verarbeiten und den Fahrzeugen für eine zeit- und energieminimale Fahrzeugführung interpretierbar zu präsentieren. Auch hier werden wieder Datenfelder durch funktionale Prozesse in kontextrelevante Bedeutung, d.h. „*Wissen*“ transformiert. Im Ergebnis entstehen bedeutende Effizienz- und Nutzegewinne in einem thermodynamisch bereits nachweislich maximal effizienten System. Vergleichbare Resultate im Bereich der Prozessoptimierung (PDM / PLM, smart factory etc.) lassen vermuten, dass durch Hinzufügen von „*Wissen*“, das aus kontextbezogenen Datenfeldern transformiert wird, grundsätzlich die Effizienz und der Nutzen, bzw. die Produktivität eines bereits optimierten Systems noch einmal signifikant gesteigert werden kann. Dieser Vorgang findet zunächst ausschließlich in der Informationsdimension statt und wirkt sich anschließend in der RaumZeit aus..

Die erstaunlichen Ergebnisse des Eco-Marathons zeigen eindrucksvoll das beachtliche Potential der Energieeinsparung, das durch eine vollständige und präzise, situationsbezogene Dateninterpretation gehoben werden kann. Es übersteigt den Gewinn, der durch Verbesserung maschineller Wirkungsgrade erzielt wird, leicht um ein Vielfaches. Im historischen Vergleich korrespondieren diese Ergebnisse exakt mit den Erfahrungen vergangener Generationen, denen es gelang, am Wendepunkt zweier Epochen die Freiheitsgrade einer neuen Dimension zur Überwindung scheinbar „überdimensionaler“ Hindernisse mit Leichtigkeit und unerreichbarer Effizienz zu nutzen. Warum die Beherrschung einer „höheren“ Dimension zu scheinbar „magischen“ Leistungen befähigt, soll zum Abschluss anhand eines, um die Informationsdimension erweiterten, physikalischen Weltmodells erläutert werden.

Das Tor zur „Meta-Physik“ steht in der Informationsdimension

Der Konstruktion eines meta-physikalischen Weltmodells liegt immer die Frage zugrunde: „Was steckt hinter den Naturgesetzen, welcher Mechanismus erzeugt sie?“ Bezogen auf das hier behandelte Thema der Informationsdimension lautet die gleiche Frage in etwas abgewandelter Form: „Ist es möglich, einen Automaten zu definieren, der so programmiert werden kann, dass seine Algorithmen die physikalischen Grundgesetze, bspw. die Impuls- und Energieerhaltungssätze ausprägen?“

Eine mögliche Antwort ergibt sich aus der folgenden Überlegung: wenn man die RaumZeit, d.h. unseren Kosmos, als ein diskretes Kontinuum unterstellt, entsteht das Modell eines „Zellulären Automaten“. Dessen Zellen repräsentieren die Elementarteilchen der Materie, die im diskreten Zeittakt des Automaten ihr Verhalten nach vorgegebenen „Spielregeln“, d.h. *Algorithmen*, verändern. Vergleichbar dem

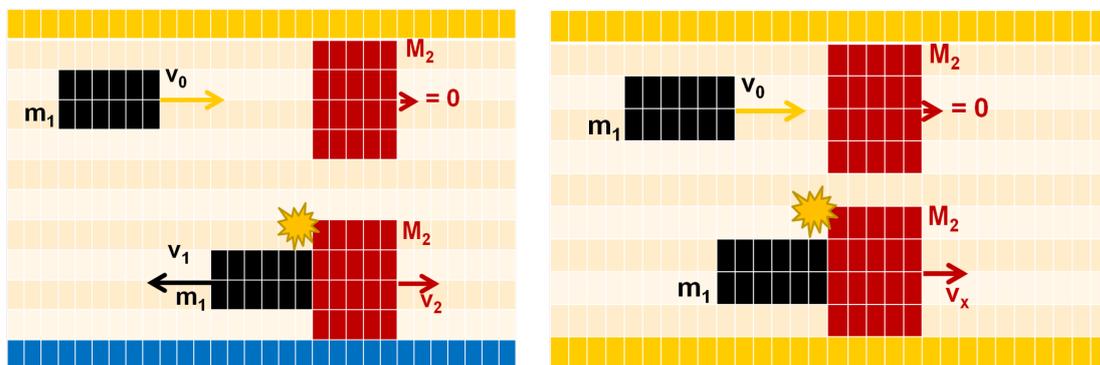


Abb. 9 elastischer (links) und unelastischer Stoß (rechts) im zellulären Automaten

Brettspiel „GO“ mit wechselnden Regeln. Ein solcher Automat lässt sich in der Tat so programmieren, dass seine Zellen Verhaltensmuster entwickeln, die sich in Übereinstimmung mit den gültigen Grundgesetzen der Physik befinden. Der Stoß zweier Massen im Raum (elastisch / unelastisch) ist ein geeignetes Beispiel, um das Automatenmodell der Physik zu erläutern. Beide Vorgänge sind in der Abbildung 9, der Einfachheit halber, als ebenes Problem dargestellt.

Die Zustandsänderungen beider Massen vor und nach dem Stoß müssen den Gesetzen der Impuls- und Energieerhaltung gehorchen. Die Algorithmen, die den dargestellten Automaten das korrekte Verhalten einprägen, lauten (ohne Herleitung) für den unelastischen, bzw. elastischen Stoß:

Unelastischer Stoß

INITIALIZE: $dv \ll v_0; \varepsilon = 0; V = 0$
 START: WHILE $\varepsilon \geq 0$ DO
 $V = V + dv$
 $m_1 * (v_0 - V) - M_2 * V = \varepsilon$
 End: OUTPUT ($V_E = V$)

$$\vec{V}_E = \frac{m_1 * \vec{v}_0}{m_1 + M_2}$$

Elastischer Stoß

INITIALIZE: $dv \ll v_0; \varepsilon = 0; V_2 = V = 0$
 START: WHILE $\varepsilon \geq 0$ DO
 $V = V + dv$
 $V_1 = V - v_0$
 $m_1 * (v_0 - V_1) - M_2 * V = \varepsilon$
 End: OUTPUT ($V_2 = V; V_1$)

$$\vec{V}_1 = \frac{(m_1 - M_2)}{m_1 + M_2} \vec{v}_0 \quad \vec{V}_2 = \frac{2 * m_1}{m_1 + M_2} \vec{v}_0$$

Beide Algorithmen unterscheiden sich nur in einer Anweisung: die Berechnung der Geschwindigkeitsbilanz

$$V_1 = V - V_0 .$$

Die Rekursion der Geschwindigkeitsberechnung unmittelbar nach dem Stoß, ist in beiden Fällen, bis auf die Variable V_1 , identisch. Das ist auch logisch, denn sie steht für das elementare Grundgesetz des Kosmos: *Actio = Re-Actio*. Die Impuls- und Energieerhaltung steckt in der Rekursion, die so lange ausgeführt wird, bis die Kräfte auf beiden Seiten im Gleichgewicht sind (bis auf einen beliebig kleinen Restwert ε). Dabei verändern sich die Geschwindigkeitsvektoren iterativ so, dass sie die in der

Realität beobachteten Beträge und Richtungen annehmen, sobald das Kraftgleichgewicht erreicht ist. Die Frage ist: *wo werden die Algorithmen berechnet?*

Da die Algorithmen immer, überall und gleichzeitig alle Stoßvorgänge steuern müssen, die sich in der RaumZeit des Kosmos ereignen, können sie nur in einer der RaumZeit übergeordneten Dimension eingebettet sein, die mit der RaumZeit zu einem RaumZeitInformation-Kontinuum verschränkt ist. Für das Modell des (ebenen, zweidimensionalen) Zellulären Automaten ist dieser Sachverhalt in Abb. 10 grafisch veranschaulicht.

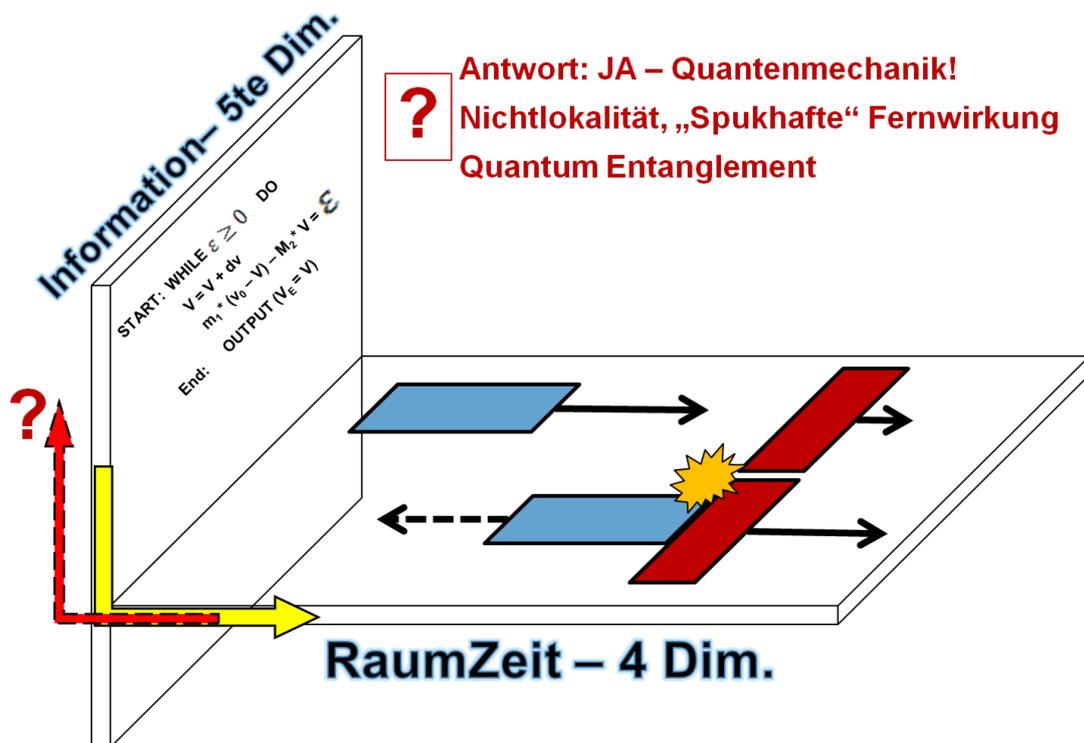


Abb. 10 Orientierung der Informationsdimension zur RaumZeit

Die Informationsdimension erstreckt sich in eine Richtung, die orthogonal zur Ebene der RaumZeit des Automaten orientiert ist. Man könnte sie auch in Ebenen über der RaumZeit verorten, was physikalisch in etwa das gleiche bedeutet. Die Grafik in Abb. 10 stellt den Wirkfluss zwischen Algorithmus und Automat nur unidirektional von der Informationsdimension in die RaumZeit dar. Das entspricht der oben aufgestellten Hypothese des Ursprungs der Naturgesetze aus Hintergrundalgorithmen. Es stellt sich jedoch die Frage, ob die Verbindung zwischen der RaumZeit und der Informationsdimension auch in der umgekehrten Richtung funktioniert und was dann passiert. Der zweite Teil der Frage lässt sich unmittelbar beantworten: wenn es möglich wäre, eine Anweisung oder einen Parameter in einem Algorithmus in der Informationsdimension zu verändern, liefen unmittelbar anschließend, ohne Zeitverzug, alle Vorgänge in der RaumZeit, die mit dem manipulierten Algorithmus verbunden sind, nach einem veränderten Gesetz ab, das der Modifikation des Algorithmus in der Informationsdimension entspricht.

„Spukhafte Fernwirkungen“ öffnen das Tor zur Meta-Physik ein wenig

Diese Überlegung ist keine Fiktion. Es gibt in der Quantenphysik eine Beobachtung, die den Schluss nahelegt, dass ein solcher Eingriff in die Algorithmik einer der RaumZeit übergeordneten Dimension tatsächlich stattfindet. Es handelt sich um das Phänomen der „Nichtlokalität“ verschränkter Quanten. Das Experiment zeigt, dass korrelierte Elementarteilchen, die auseinander hervorgegangen sind (bspw. zwei Elektronen Spin up / down oder vertikal / horizontal polarisierte Photonen), voneinander „wissen“, d.h. den Zustand des anderen „kennen“ und den eignen sofort anpassen, sobald sich der Zustand des anderen verändert (bspw. durch eine Messung). Dieser, an sich schon sonderbare Effekt, ist aber nicht das Phänomen, das der Physik bis heute Rätsel aufgibt. Der unerklärliche Teil des Experiments betrifft die Tatsache, dass der dazu notwendige Informationsaustausch zwischen den Teilchen „sofort“, also – soweit messbar – erheblich schneller als mit Lichtgeschwindigkeit stattfindet. Dieses Ergebnis widerspricht der Grundlage der Relativitätstheorie. Zur Erklärung werden deshalb diverse Hypothesen bemüht: bspw. die Existenz „unbekannter, hyperschneller“ Elementarteilchen, die Tachyonen, oder die Vermutung, dass die korrelierten Quanten ggf. gar nicht getrennt, sondern systemisch verbunden sind (obwohl sie sich nachweislich weit entfernt voneinander befinden). Den Grad der Glaubwürdigkeit solcher Hypothesen vermittelt anschaulich die von Einstein geprägte Bezeichnung: *Spukhafte Fernwirkung!* Wer bis hierhin mitgedacht hat, wird aber sofort erkennen, dass die Erklärungsnot verschwindet, sobald der Suchraum für die Lösung des Problems aus der RaumZeit in ein, um eine weitere Dimension erweitertes RaumZeitInformation-Kontinuum verlagert wird. Unter der Annahme, dass die Messung an einem der beiden „verschränkten“ Elementarteilchen eine Veränderung im „Algorithmus“ in der Informationsdimension bewirkt, der die Eigenschaften beider Quanten „steuert“, ergibt sich zwingend, dass die Wirkung der Modifikation instantan in beiden Elementarteilchen auftreten MUSS, denn in der Informationsdimension ist die Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit bedeutungslos. Die „Spukhafte Fernwirkung“ ist aufgrund der Eigenschaft von Dimensionen, alles Geschehen im Kosmos homogen und unausgesetzt zu durchdringen, sogar definitiv notwendig. Das Ergebnis der Nichtlokalität korrelierter Quanten ist im Modell eines RaumZeitInformation-Kontinuums schlüssig. Es demonstriert das Wesen und Wirken der Informationsdimension, ja aller Dimensionen, in anschaulicher Weise. Denn auch eine Modifikation, bspw. der Skalen des Raumes oder der Zeit, würde alle Positionen und Formen der Körper oder ihre Dynamik im Kosmos unmittelbar verändern.

An dieser Stelle endet die Reise durch die Dimensionen mit ihrer Bedeutung für die Erweiterung des menschlichen Bewusstseins, als Voraussetzung zur Erschließung ungeahnter Freiheitsgrade des Handelns und der Erkenntnis. Den Abschluss bilden zehn Schlussfolgerungen als Essenz des Voranstehenden und zur Orientierung des Vektors, der auf die Lehren für die Zukunft ausgerichtet ist.

1. Am Ende einer Epoche steht eine Gesellschaft immer vor Problemen, die mit den Mitteln, bzw. im Raum der bekannten Dimensionen nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand gelöst werden können
2. Dieser Zustand ist ein Zeichen, dass es an der Zeit ist, die Lösung in einer anderen, einer „höheren“ Dimension zu suchen
3. Wer diese Dimension erkennt und Mittel findet, sie zu beherrschen, reduziert den Aufwand der Problemlösung auf ein Minimum. Der Mensch in der höheren Dimension ist den Zurückgebliebenen um Größenordnungen überlegen, in mancher Hinsicht sogar unerreichbar
4. Die Erschließung höherer Dimensionen folgte in der Vergangenheit immer dem Weg über (mathematische) Transformationen, die das Wesen und Wirken der Dimension sichtbar und beherrschbar machen
5. Auch wir befinden uns gegenwärtig offenbar wieder am Ende einer Epoche. Die nächste Dimension ist vermutlich „Information“
6. Die Anzeichen deuten darauf hin, dass erneut Transformationen zur Entschlüsselung und Beherrschung der „Informationsdimension“ führen werden
7. Die hilflosen Lösungsstrategien der Zurückgebliebenen, den Herausforderungen und Bedrohungen von Datenüberflutung, Cyberattacken und Künstlicher Intelligenz durch die „Hybridisierung“ des Menschen zum „Cyborg“ zu begegnen, kann der informierte Mensch getrost ignorieren. Der wissende Mensch wird formale Methoden finden, komplexe Datenfelder zu entschlüsseln, Cyberangriffe abzuwehren und die Semantik der KI zu verstehen. Der Cyborg ist eine unnötige, inhumane Entwicklung. Der Mensch kann menschlich bleiben.
8. Auch das Problem endlicher Ressourcen wird sich durch ein tieferes Verständnis präziser Entschlüsselung von Datenfeldern erledigen (SHELL Challenge)
9. Wenn es gelingt, die Hypothese vom algorithmischen Ursprung der Naturgesetze zu verifizieren, folgt notwendig der Schritt aus der RaumZeit in ein RaumZeitInformation-Kontinuum. Konsequenterweise entsteht daraus ein neues Paradigma der Physik: die kybernetische Meta-Physik
10. In letzter Konsequenz stellt sich die Frage, ob eine meta-physikalische Kybernetik auch gezielte, reversible Eingriffe aus der RaumZeit in die Algorithmen der kybernetischen Ebene zulässt. Sollte ein Schlüssel dazu existieren und gefunden werden, erweitert sich der Gestaltungsspielraum der Naturwissenschaft und Technik ins Unermessliche. Dem, der den Schlüssel besitzt, eröffnen sich buchstäblich meta-physische oder gar magische Optionen. Es lohnt sich, darüber nachzudenken!

Autor

Henning Butz, ehem. Advanced Systems Engineering Solutions – ASES, Jork, arbeitete international als selbständiger Berater und Interim-Manager im Engineering komplexer, sicherheitskritischer Systeme. Neben seinen Aufgaben in internationalen Luftfahrtvorhaben, beriet er auch luftfahrtfremde Branchen: Auto-, Bahn-, Prozessindustrie, Verteidigung sowie CAE-Software und Logistik bei der Einführung, Geschäftsentwicklung und Realisierung neuer Systemtechnologien, einschließlich der erforderlichen Methoden, Werkzeuge und Prozesse. 25 Jahre war Henning Butz in diversen Funktionen und Leitungsebenen im Systems-Engineering bei Airbus in Hamburg und Bremen beschäftigt. Henning Butz hat Physik, Elektrotechnik und Systemtechnik in Bochum und Karlsruhe studiert. Ende 2021 hat Henning seine Geschäftstätigkeit eingestellt, um sich in den aktiven Ruhestand zurückzuziehen. Dies gibt ihm die Zeit, um an der Entwicklung neuer Verfahren zur formalen Validation komplexer cyber-physischer Systeme sowie an einer Theorie der Kybernetischen Physik zu arbeiten.



Kontakt

E-Mail: henningbutz@web.de

Event-basierte Softwarearchitektur für Embedded Systems

Betrachtung der Vor- und Nachteile sowie eine mögliche Implementation

Matthias Menzi, IMT AG

Viele wichtige Entscheidungen zu einem Embedded-Projekt werden bereits bei der Auswahl der idealen Softwarearchitektur getroffen. Dieser Beitrag betrachtet die Verwendung von eventbasierter Softwarearchitektur im Kontext von Embedded Systems, welche bei IMT seit vielen Jahren und zahlreichen Entwicklungsprojekten verwendet wird. Dabei werden die Vorteile vorgestellt, aber auch die Grenzen des Ansatzes dargelegt.

Einleitung

Mit der Entwicklung der verschiedenen Programmiersprachen haben sich auch verschiedenste Softwarearchitekturen entwickelt, welche jede für ihre eigenen Anwendungsfälle optimierte Eigenschaften aufweist. Für die eventbasierte Architektur sind das die nachfolgend aufgelisteten:

- Limitierte Ressourcen
- Echtzeitfähigkeit
- Sicherheit
- Zuverlässigkeit
- Wartbarkeit

Alle diese Eigenschaften stimmen mit den Anforderungen überein, welche von Embedded Systems oft gefordert werden oder vorhanden sind, weshalb sich die Verwendung von eventbasierter Software in Embedded Systems anbietet.

Wieso ist es wichtig, den richtigen Architekturstil zu wählen?

Viele wichtige Entscheidungen in einem Embedded-Projekt werden bereits bei der Auswahl des Architekturstils gemacht. Diese beeinflussen das Projekt über die ganze Lebensdauer und können sogar über Erfolg oder Misserfolg entscheiden. Wenn eine Applikation sehr zeitkritisch ist, ist es möglicherweise nicht ideal, einen «Layered Architecture Style» zu verwenden da das Durchleiten durch die verschiedenen Layer relativ zeitintensiv sein kann. Eine eventbasierte Architektur dürfte hier besser geeignet sein.

Die eventbasierte Softwarearchitektur

Eine eventbasierte Architektur antwortet auf Events im Softwaresystem und unterscheidet sich somit von anderen Stilen, welche auf Anfragen antworten. Ein Event ist ein wesentliches Ereignis oder eine Veränderung des Zustandes des Systems in Software oder Hardware. Mögliche Auslöser für einen Event können externe Ereignisse wie zum Beispiel User Inputs (Mausklick, Tastendruck), veränderte Peripherien (Sensorausgänge, Endschalter etc.) oder Veränderungen des Systems selbst (komplettes

Laden eines Programmes etc.) sein. Solche Veränderungen werden dem System oft durch Hardwareinterrupts mitgeteilt. Weiter kann ein System selbst Events generieren. Dies kann zum Beispiel ein abgelaufener Timer sein.

Ein eventbasiertes System beinhaltet «Event Producer» und «Event Consumer». Der Event Producer erstellt einen Event und registriert ihm im System. Er weiß weder, an welchen Consumer der Event verschickt wird, noch wie dieser damit umgeht. Der Event Consumer wiederum verarbeitet einen oder mehrere Events und löst eine Reaktion aus, ohne zu wissen, woher der Event kommt. Das Interface zwischen Producer und Consumer kann mit dem Publish/Subscribe Pattern umgesetzt werden. Dieser zentrale Teil der Software wird «Event Channel» genannt. Er kennt alle Arten von Events im System und ermöglicht es Consumern, sich für diese zu registrieren. Wenn ein Producer einen Event ausgelöst, wird dieser dem Event Channel übergeben. Der Event Channel wiederum informiert alle Consumer, welche für den Event registriert sind über diesen.

Dieser Ansatz eines eventbasierten Systems kann mit unterschiedlichen Programmiersprachen umgesetzt werden und ist weitgehend unabhängig von der eingesetzten Technologie

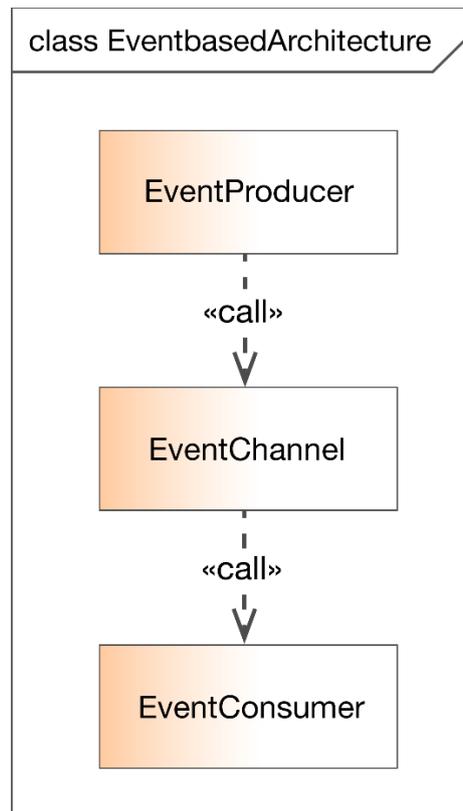


Abbildung 1: Beispiel Klassendiagramm einer eventbasierten Architektur

Qualitätseigenschaften

Wie bereits erwähnt beeinflusst die gewählte Architektur die Qualität der Software. Gemäß ISO 25010 wird die Qualität einer Software durch folgende Eigenschaften definiert:

- Übertragbarkeit
- Wartbarkeit
- Zuverlässigkeit
- Sicherheit
- Effizienz
- Kompatibilität
- Funktionale Eignung
- Benutzbarkeit

Davon beeinflusst eine eventbasierte Architektur hauptsächlich die Eigenschaften Zuverlässigkeit, Sicherheit, Effizienz, Wartbarkeit und Übertragbarkeit. Die Benutzbarkeit eines Softwaresystems wird hauptsächlich vom Design des Benutzerinterfaces beeinflusst, während die Funktionale Eignung weitgehend unabhängig vom Architekturstil ist und mit anderen Mittel nachgewiesen werden muss.

Zuverlässigkeit:

Die eventbasierte Architektur ist ein bewährter Stil mit hoher Fehlertoleranz. Verantwortlichkeiten werden sauber getrennt. Aus diesen Gründen wird die eventbasierte Architektur auch oft in High-level Anwendungen wie Cloud Computing verwendet. Dort wird sie allerdings meistens unter dem Namen Microservices verwendet.

Durch das asynchrone Verarbeiten der Events entsteht eine hohe Komplexität. Aus diesem Grund muss der Code, welcher für die Synchronisation zuständig ist, sehr gut getestet werden. Sie soll nicht im funktionalen Teil der Anwendung geschehen. Idealerweise wird dieser Teil durch einen wiederverwendbaren Scheduler umgesetzt.

Effizienz:

Durch den eventbasierten Ansatz arbeitet das System nur, wenn ein Event auftritt. In der übrigen Zeit kann das System in den Ruhezustand versetzt werden, um Energie zu sparen.

Das Erstellen, Verteilen und Verarbeiten der Events im System benötigt zusätzliche Ressourcen (Rechenzeit, Speicher).

Übertragbarkeit:

Die eventbasierte Architektur begünstigt eine lose Kopplung da die Event Consumer nichts vom Producer wissen muss. Dadurch können einzelne Teile der Software unabhängig voneinander implementiert und getestet werden. Außerdem ist die Software

leicht erweiterbar. Richtig umgesetzt sind die Consumer hardwareunabhängig umgesetzt, was die Portierung auf eine neue Plattform erleichtert.

Die Wartbarkeit der Software kann kompliziert werden, da die Abhängigkeiten in dem verteilten System nicht immer offensichtlich sind. Das erhöht das Risiko von ungewollten Änderungen in der Funktionalität. Aus diesem Grund sollte ein modelbasierter Ansatz gewählt werden. Die Benutzung eines Codegenerators kann außerdem verhindern, dass das Model und der Sourcecode auseinanderlaufen.

Eventbasierte Architektur in Embedded Systems

Eine eventbasierte Architektur in erster Linie folgende Eigenschaften:

- Effizienz
- Sicherheit
- Zuverlässigkeit
- Wartbarkeit
- Übertragbarkeit

In Embedded Systems gibt es häufig Anforderungen und Einschränkungen in folgenden Gebieten:

- Limitierte Ressourcen
- Real-Time Anforderungen
- Sicherheit
- Zuverlässigkeit
- Wartbarkeit

Die hohe Überschneidung zwischen den Charakteristiken der eventbasierten Architektur und den Anforderungen von Embedded Systems untermauern die Aussage vom Anfang des Beitrages. Die eventbasierte Architektur ist oft verwendet in der Entwicklung von Embedded Systems, da sie insbesondere bei deren speziellen Anforderungen ihr volles Potential zeigt.

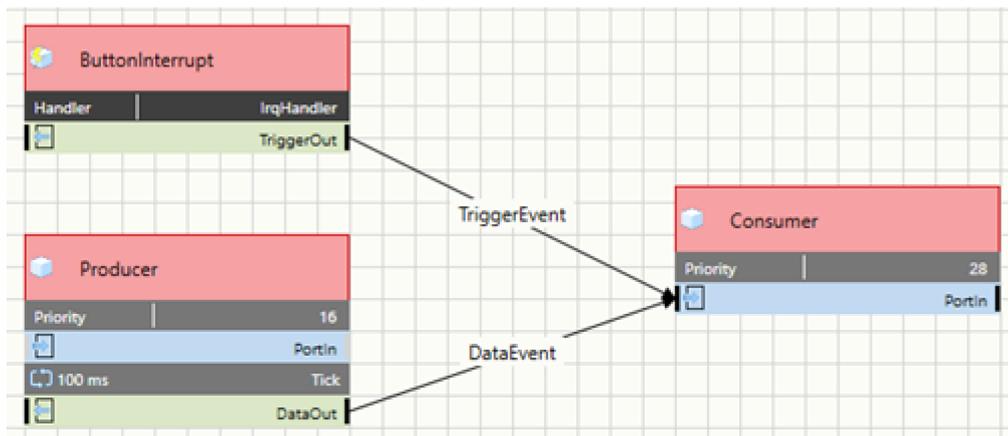
Limitationen

Wie jeder Architekturstil hat auch der eventbasierte seine Limitierungen. Diese können insbesondere in großen und komplexen Systemen auftreten. In solchen Fällen können komplizierte Event-Strukturen entstehen, welche nicht offensichtliche oder sogar zyklische Abhängigkeiten enthalten. Bei einem komplexen System kann zudem eine hohe Anzahl an Events auftauchen, welche vom System verarbeitet werden müssen, ohne dieses zu überlasten. Um solche komplexen Systeme zu vereinfachen, können möglicherweise mehrere Architekturstile kombiniert werden. Zum Beispiel kann zusätzlich zum eventbasierten Stil ein komponentenorientierter Stil verwendet werden. Damit kann eine bessere Strukturierung der Software erreicht werden, ohne auf die Vorteile des eventbasierten Stils verzichten zu müssen. In dieser Kombination läuft die Kommunikation zwischen Komponenten weiterhin mittels Events.

Eventbasierte Architektur bei IMT

Bei IMT verwenden wir die eventbasierte Architektur seit über 20 Jahren. Wir sind von den Vorteilen überzeugt, uns aber auch den Nachteilen bewusst. Um die Vorteile ausschöpfen und die Nachteile minimieren zu können, haben wir zunächst die DATAFLOW Runtime entwickelt, welche die anspruchsvolle Aufgabe des Event Channels übernimmt sowie die Schnittstellen für Producer und Consumer bereitstellt. Die Funktionalität der Software wird in sogenannten Active Parts umgesetzt. Diese Konstrukte orientieren sich am Active Object Design Pattern und können sowohl als Event Producer als auch als Event Consumer auftreten.

Später wurde der DATAFLOW Designer entwickelt. Dieser erlaubt es, die Softwarearchitektur grafisch zu entwerfen und mittels Codegenerator in Sourcecode zu übersetzen. Dieses Tool erleichtert das Erstellen der Softwarearchitektur und hält diese mit dem Sourcecode synchron.



Autor

Matthias Menzi arbeitet als Software Engineer bei der Firma IMT AG in Buchs. Der vorwiegende Arbeitsbereich ist dabei die Entwicklung von Embedded Systems für Produkte der Medizintechnik oder der Funktionalen Sicherheit. Dabei hat er Projekte von der Spezifikation bis zur Validierung betreut.

Matthias Menzi studierte Elektrotechnik an der Fachhochschule Rapperswil HSR (heute OST) sowie Mikroelektronik an der HSR sowie der Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW. In seiner gut 10-jährigen beruflichen Laufbahn arbeitete er sowohl in der Hardware- als auch in der hardwarenahen Softwareentwicklung.

Kontakt

Internet: www.imt.ch

E-Mail: menzi@imt.ch

Architecture Decision Records

Leichtgewichtige Dokumentation macht Spaß!

Sebastian Höller, intive automotive GmbH

Architekturdokumentation veraltet schnell, liefert keinen Mehrwert, spiegelt nicht den Stand des Codes wider und Entscheidungen lassen sich nicht nachvollziehen. Sicherlich haben Sie diese oder ähnliche Erfahrungen in Ihren Projekten gemacht. Mit der Methode „Architecture Decision Records“ (ADR) lassen sich Architekturentscheidungen nachvollziehbar und kontinuierlich dokumentieren. Wie ADR allein oder zusammen mit einer bestehenden Softwarearchitektur-Vorlage genutzt werden können und welche Herausforderungen sich in der Praxis ergeben, ist Inhalt dieses Vortrags.

Herausforderungen bei der Architekturdokumentation in der Praxis

Neben der aktuellen oder der angestrebten Softwarearchitektur sollte auch der Weg dahin nachvollziehbar dokumentiert werden. Das sind die vielen einzelnen Entscheidungen, welche es auf dem Weg zum Ziel zu treffen gilt. Warum hat unser Entwicklerteam vor x Monaten so und nicht anders entschieden? Warum ist die eingesetzte Bibliothek oder eine Nachbarkomponente so und nicht anders zu benutzen? Bereits getroffene Entscheidungen nachvollziehen zu können ist insbesondere wichtig für die weitere Entwicklung einer Software. In eingebetteten Systemen haben auch die Entscheidungen auf Systemebene oder in den Domänen Elektronik und Mechanik Einfluss auf weitere Softwareentscheidungen. Dokumentieren und pflegen Sie solche Entscheidungen in diversen Dateiformaten im Code Repository oder separat? Nutzten sie ein Wiki, ein Requirements-Engineering- oder UML-Tool dafür? Im unübersichtlichsten und in der Praxis häufig anzutreffenden Fall vielleicht sogar eine Kombination davon? Wie wissen Sie, ob eine Entscheidung noch gültig ist oder ob diese bereits durch eine nachfolgende Entscheidung überholt ist? Ein strukturiertes Vorgehen, um Entscheidungen wiederauffindbar zu dokumentieren und die zeitliche Entwicklung nachvollziehen zu können ist für einen professionellen Softwareentwicklungsprozess unerlässlich.

Struktur ist Trumpf: Die Vorteile von Schablonen und Vorlagen bei der Architekturdokumentation nutzen

In Nachbardisziplinen der Softwarearchitektur sind eine Vielzahl von Schablonen und Formulierungshilfen im Einsatz. Messbare und überprüfbare (Projekt-)Ziele werden mit Hilfe der SMART-Vorlage definiert: Specific, Measurable, Achievable, Resonable und Time-bound. Product Owner formulieren User Stories mit Hilfe von „Value Statements“: Als {Nutzer} möchte ich {Funktion}, damit / um / weil {Wert}. Requirement Engineers benutzen Satzschablonen zur Formulierung von einzelnen Anforderungen. Wenn es um Design Patterns geht, denken viele Softwareentwickler direkt an das „Gang-of-Four-Buch“ [1], bei dem die einzelnen Patterns mit Hilfe einer immer gleichen Gliederung erläutert werden.

Für die Dokumentation von Architekturentscheidungen, einem wesentlichen Arbeitsergebnis von Softwarearchitekten, existiert aus Sicht des Autors kein weitverbreiteter und branchenübergreifender Standard wie in den aufgeführten Beispielen. Eine feste Gliederung zur Dokumentation von Architekturentscheidungen ist sinnvoll. Auch für die Verwaltung von Architekturentscheidungen, welche voneinander abhängig sind, sollte ein klares Vorgehen selbstverständlich sein. Zuletzt sollte klar sein, wie Architekturentscheidungen mit der statischen Sicht und der Laufzeitsicht der Bestandteile einer Softwarearchitektur verknüpft sind.

Aufbau eines Architecture Decision Records

Die ADR-Methode geht auf einen Blog-Beitrag von Michael Nygard [2] aus dem Jahr 2011 zurück. Neu ist nicht die Idee Entscheidungen an sich festzuhalten, sondern die praktische Umsetzung. Der Fokus liegt auf der getroffenen Entscheidung und den Konsequenzen der Entscheidung. Der Weg dahin, etwa der Vergleich der Lösungsmöglichkeiten ist weniger im Vordergrund. Die Architekturentscheidungen liegen in fortlaufend nummerierten Dateien in einer einfachen Textauszeichnungssprache wie Markdown vor. Die ADR sollten dabei im selben Repository wie der Quellcode vorhanden sein. Das entspricht einem Docs-as-Code Ansatz, auch wenn das 2011 noch nicht unbedingt so genannt wurde. Ein einzelner ADR in der Datei kurze-zusammenfassung-0001.md hat folgende Gliederung und Inhalte:

```
# ADR 1: Zusammenfassung in einem kurzen Satz

## Kontext
Wertneutrale Beschreibung der technologischen, politischen,
sozialen und projektspezifischen Einflussfaktoren.

## Entscheidung
Beschreibung der Entscheidung in ganzen Aktivsätzen („Wir
werden...“) unter Berücksichtigung aller Einflussfaktoren.

## Status
Entwurf oder akzeptiert. Wenn ein später erstellter ADR
eine Entscheidung verändert, sollte der Status in veraltet
mit einer Referenz zum neuen ADR geändert werden.

## Konsequenzen
Beschreibung aller positiven, neutralen und negativen
Folgen die sich aus der Entscheidung ergeben.
```

Umsetzung mit Bedacht

Jede Entscheidung kann kommende Entscheidungen beeinflussen. Neue Entscheidungen können alte Entscheidungen obsolet machen. Jede einzelne Entscheidung liegt in Form eines ADR in einer Datei vor. Daher müssen nach einer Entscheidung und dem Anlegen eines neuen ADR ein oder mehrere frühere ADR angepasst und möglicherweise als